



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년08월21일
(11) 등록번호 10-1769886
(24) 등록일자 2017년08월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/304 (2006.01) *H01L 21/66* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2012-7032822
- (22) 출원일자(국제) 2011년04월26일
심사청구일자 2016년04월26일
- (85) 번역문제출일자 2012년12월14일
- (65) 공개번호 10-2013-0079441
- (43) 공개일자 2013년07월10일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2011/033998
- (87) 국제공개번호 WO 2011/146208
국제공개일자 2011년11월24일
- (30) 우선권주장
12/781,644 2010년05월17일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020080042895 A
US20100105288 A1
US20100056023 A1
US20070224915 A1

- (73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050
- (72) 발명자
챈, 준
미국 94087 캘리포니아 씨니베일 더블린 웨이 575
갈레트슨, 찰스 씨.
미국 95126 캘리포니아 새너제이 헤스터 애비뉴 1384
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
특허법인 남앤드남

전체 청구항 수 : 총 18 항

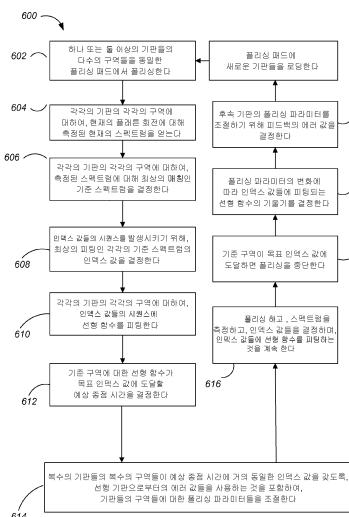
심사관 : 김정진

(54) 발명의 명칭 화학적 기계적 폴리싱 레이트를 교정하기 위한 피드백

(57) 요약

복수의 구역들을 가진 기판이 폴리싱되고 스펙트럼들이 측정된다. 각각의 구역에 대하여, 측정된 스펙트럼에 최상의 매칭인 기준 스펙트럼들과 연관된 인덱스 값들의 시퀀스에 제 1 선형 함수가 피팅된다. 제 1 선형 함수에 기초하여, 기준 구역이 목표 인덱스 값에 도달할 예상 시간이 결정되고, 하나 이상의 조절 가능한 구역에 대하여, 조절 가능한 구역이 조절이 없는 것보다 상기 예상 시간에 목표 인덱스에 더 근접하게 되도록, 폴리싱 파라미터의 조절이 계산된다. 조절은 선행 기판에 대해 계산된 피드백 에러에 기초하여 계산된다. 후속 기판에 대한 피드백 에러는 폴리싱 파라미터가 조절된 후에 측정된 스펙트럼들에 대하여 최상의 매칭인 기준 스펙트럼들과 연관된 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된 제 2 선형 함수에 기초하여 계산된다.

대 표 도 - 도14



(72) 발명자

다한다파니, 시바쿠마르

미국 95136 캘리포니아 새너제이 화이트 차펠 애비뉴 494

데이비드, 제프리 드류

미국 95125 캘리포니아 새너제이 마르쿠스 애비뉴 2208

리, 해리, 큐.

미국 94024 캘리포니아 로스 알토스 벤 로 드라이브 1501

명세서

청구범위

청구항 1

폴리싱을 제어하기 위한 명령어들이 프로그램으로 기록된 컴퓨터 관독 가능한 기록매체에 있어서,

상기 명령어들은 컴퓨터로 하여금,

목표 인덱스 값을 저장하는 단계;

폴리싱 동안 기판 상 복수의 구역들의 각 구역으로부터 스펙트럼들의 시퀀스를 인-시츄 모니터링 시스템으로부터 수신하는 단계;

각각의 구역에 대한 스펙트럼들의 시퀀스에서 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 기준 스펙트럼들의 라이브러리로부터 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 결정하는 단계;

각각의 구역에 대한 각각의 최상의 매칭 기준 스펙트럼에 대하여, 인덱스 값들의 시퀀스를 발생시키기 위해 인덱스 값을 결정하는 단계;

각각의 구역에 대하여, 제 1 선형 함수를 상기 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅하는 단계;

상기 복수의 구역들로부터의 기준 구역에 대하여, 상기 기준 구역이 상기 목표 인덱스 값에 도달할 예상 시간을 상기 기준 구역의 제 1 선형 함수에 기초하여 결정하는 단계;

적어도 하나의 조절가능한 구역에 대하여, 상기 조절가능한 구역의 폴리싱 레이트를 조절하기 위해, 상기 조절 가능한 구역이 그러한 조절이 없는 것보다 상기 예상 시간에 상기 목표 인덱스에 더 근접하게 되도록 상기 조절 가능한 구역에 대한 폴리싱 파라미터에 대해 조절을 계산하는 단계로서, 상기 계산은 선행 기판에 대해 계산된 피드백 에러에 기초하여 상기 조절을 계산하는 단계를 포함하는, 상기 폴리싱 파라미터에 대해 조절을 계산하는 단계;

상기 폴리싱 파라미터의 조절 후에, 각각의 구역에 대하여, 상기 스펙트럼들의 시퀀스를 수신하고, 기준 스펙트럼들의 라이브러리로부터 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 결정하며, 상기 폴리싱 파라미터의 조절 후에 얻어진 인덱스 값들의 제 2 시퀀스를 발생시키기 위해 인덱스 값을 결정하는 것을 계속하는 단계;

각각의 기판의 상기 적어도 하나의 조절가능한 구역에 대하여, 제 2 선형 함수를 상기 인덱스 값들의 제 2 시퀀스에 피팅하는 단계; 및

상기 제 2 선형 함수와 목표 기울기에 기초하여 상기 적어도 하나의 조절가능한 구역에 대해 후속 기판에 대한 피드백 에러를 계산하는 단계

를 수행하도록 하는,

컴퓨터 관독 가능한 기록매체.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 명령어들은,

각각의 조절가능한 구역에 대하여, 상기 조절가능한 구역이 상기 목표 인덱스에 도달할 시간을 결정하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 더 포함하는,

컴퓨터 관독 가능한 기록매체.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 명령어들은,

상기 적어도 하나의 조절가능한 구역에 대한 폴리싱 파라미터를 조절하는 단계를 수행하도록 하는 명령어들을 더 포함하며, 이에 의해, 상기 적어도 하나의 조절가능한 구역은 그러한 조절이 없는 것보다 상기 예상 시간에 상기 목표 인덱스에 더 근접하게 되는,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 폴리싱 파라미터를 조절하는 단계를 수행하게 하는 명령어들은 상기 조절가능한 구역에 대한 목표 기울기를 계산하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 포함하는,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 명령어들은,

상기 조절가능한 구역에 대한 상기 제 1 선형 함수가 상기 예상 시간에 도달하는 예상 인덱스를 상기 조절가능한 구역에 대해 계산하는 단계를 수행하도록 하는 명령어들을 더 포함하는,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

구역에 대해 상기 목표 기울기(SD)를 계산하는 단계를 수행하게 하는 명령어들은 $SD = (IT-I)/(TE-T0)$ 를 계산하게 하는 명령어들을 포함하며, 여기서, T0는 상기 폴리싱 파라미터가 변화될 시간이고, TE는 예상 종점 시간이며, IT는 상기 목표 인덱스이고, I는 시간(T0)에서 상기 구역의 인덱스 값인,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제 1 선형 함수를 결정하는 단계를 수행하게 하는 명령어들은 시간(T0) 전의 시간 동안 상기 제 1 선형 함수에 대한 기울기(S)를 결정하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 포함하는,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 폴리싱 파라미터를 조절하는 단계를 수행하게 하는 명령어들은 조절된 압력($P_{adj} = (P_{new} - P_{old}) * err + P_{new}$)을 계산하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 포함하며, 여기서, err는 피드백 에러이고, $P_{new} = P_{old} * SD / S$ 이며, Pold는 시간(T0) 전에 상기 조절가능한 구역에 인가된 압력인,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 명령어들은,

상기 제 2 선형 함수로부터 실제 기울기(S')를 결정하는 단계를 수행하게 하는 명령어를 더 포함하며, 상기 피

드백 에러(err)는 $\text{err} = [(SD - S') / SD]$ 로서 계산되는,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 제 2 선형 함수로부터 실제 기울기(S')를 결정하는 단계와 상기 조절가능한 구역의 상기 목표 기울기(SD)가 상기 폴리싱 파라미터에 대한 조절 전 상기 조절가능한 구역의 기울기(S)보다 큰지의 여부를 결정하는 단계를 수행하게 하는 명령어를 더 포함하며, 상기 피드백 에러(err)는 $SD > S$ 이면 $\text{err} = [(SD - S') / SD]$ 로서 계산되고, 상기 피드백 에러(err)는 $SD < S$ 이면 $\text{err} = [(S' - SD) / SD]$ 로서 계산되는,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 피드백 에러(err)는 복수의 선행 기판들로부터의 상기 조절가능한 구역의 피드백 에러들의 누적으로부터 계산되는,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 12

제 5 항에 있어서,

구역에 대해 상기 목표 기울기(SD)를 계산하는 단계를 수행하게 하는 명령어들은 $SD = (IT_{adj} - I) / (TE - T_0)$ 를 계산하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 포함하며, 여기서, T_0 는 상기 폴리싱 파라미터가 변화될 시간이고, TE 는 예상 종점 시간이며, IT_{adj} 는 조절된 목표 인덱스이고, I 는 시간(T_0)에서 상기 구역의 인덱스 값인,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 폴리싱 파라미터를 조절하는 단계를 수행하게 하는 명령어들은 새로운 압력($P_{new} = P_{old} * SD / S$)을 계산하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 포함하며, 여기서, P_{old} 는 시간(T_0) 전에 상기 구역에 인가된 압력이고, 기울기(S)는 시간(T_0) 전의 시간 동안 상기 제 1 선형 함수인,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 명령어들은,

상기 폴리싱 파라미터가 변할 때 상기 시간(T_0)에서의 시작 인덱스(SI)를 계산하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 더 포함하는,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 조절된 목표 인덱스(IT_{adj})는 $IT_{adj} = SI + (IT - SI) * (1 + err)$ 로서 계산되며, IT 는 상기 목표 인덱스이고, SI 는 상기 시작 인덱스인,

컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 명령어들은,

종점 시간(TE')에서 상기 조절가능한 구역이 도달하는 실제 인덱스(AI)를 결정하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 더 포함하며, 상기 실제 인덱스(AI)를 결정하는 단계를 수행하게 하는 명령어들은 상기 종점 시간(TE')에서 제 2 함수의 값을 계산하는 단계를 수행하게 하는 명령어들을 포함하고, 상기 피드백 에러(err)는 $err = [(IT - AI) / (IT - SI)]$ 로서 계산되며, 여기서, AI는 상기 실제 인덱스이고, SI는 상기 시작 인덱스이며, IT는 상기 목표 인덱스인,

컴퓨터 관독 가능한 기록매체.

청구항 17

폴리싱을 제어하기 위해 컴퓨터에서 구현되는 방법으로서,

복수의 구역들을 가진 기판을 폴리싱하는 단계로서, 각각의 구역의 폴리싱 레이트가 독립적으로 가변하는 폴리싱 파라미터에 의해 독립적으로 제어가능한, 상기 기판 폴리싱 단계;

목표 인덱스 값을 저장하는 단계;

폴리싱 동안에 인-시츄 모니터링 시스템으로 각각의 구역으로부터 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하는 단계;

각각의 구역에 대한 스펙트럼들의 시퀀스에서 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 기준 스펙트럼들의 라이브러리로부터 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 결정하는 단계;

각각의 구역에 대한 각각의 최상의 매칭 기준 스펙트럼에 대하여, 인덱스 값을 시퀀스를 발생시키기 위해 인덱스 값을 결정하는 단계;

각각의 구역에 대하여, 제 1 선형 함수를 상기 인덱스 값을 시퀀스에 피팅하는 단계;

상기 복수의 구역들로부터의 기준 구역에 대하여, 상기 기준 구역이 상기 목표 인덱스 값에 도달할 예상 시간을 상기 기준 구역의 제 1 선형 함수에 기초하여 결정하는 단계;

적어도 하나의 조절가능한 구역에 대하여, 상기 조절가능한 구역의 폴리싱 레이트를 조절하기 위해, 상기 조절 가능한 구역이 그러한 조절이 없는 것보다 상기 예상 시간에 상기 목표 인덱스에 더 근접하게 되도록 상기 조절 가능한 구역에 대한 폴리싱 파라미터에 대해 조절을 계산하는 단계로서, 상기 계산은 선행 기판에 대해 계산된 피드백 에러에 기초하여 상기 조절을 계산하는 단계를 포함하는, 상기 폴리싱 파라미터에 대해 조절을 계산하는 단계;

상기 폴리싱 파라미터의 조절 후에, 각각의 구역에 대하여, 상기 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하고, 기준 스펙트럼들의 라이브러리로부터 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 결정하며, 상기 폴리싱 파라미터의 조절 후에 얻어진 인덱스 값을 제 2 시퀀스를 발생시키기 위해 인덱스 값을 결정하는 것을 계속하는 단계;

각각의 기판의 상기 적어도 하나의 조절가능한 구역에 대하여, 제 2 선형 함수를 상기 인덱스 값을 제 2 시퀀스에 피팅하는 단계; 및

상기 제 2 선형 함수와 목표 기울기에 기초하여 상기 적어도 하나의 조절가능한 구역에 대해 후속 기판에 대한 피드백 에러를 계산하는 단계

를 포함하는, 컴퓨터에서 구현되는 방법.

청구항 18

폴리싱 시스템으로서,

폴리싱 패드를 지지하기 위한 지지대;

기판과 상기 폴리싱 패드를 접촉된 상태로 유지시키는 캐리어 헤드;

상기 지지대와 상기 캐리어 헤드 간 상대적인 움직임을 발생시키는 모터;

폴리싱 동안 상기 기판 상의 복수의 구역들의 각 구역으로부터 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하기 위한 인-시츄 모니터링 시스템; 및

컨트롤러;

를 포함하고,

상기 컨트롤러는,

목표 인덱스 값을 저장하고;

상기 각 구역에 대한 스펙트럼들의 시퀀스를 상기 인-시츄 모니터링 시스템으로부터 수신하고;

각 구역에 대한 스펙트럼들에서 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 기준 스펙트럼들의 라이브러리로부터 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 결정하고;

각 구역에 대한 각각의 최상의 매칭 기준 스펙트럼에 대하여, 인덱스 값들의 시퀀스를 발생시키기 위해 인덱스 값을 결정하고;

각 구역에 대하여, 제 1 선형 함수를 상기 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅시키고;

상기 복수의 구역들로부터의 기준 구역에 대하여, 상기 기준 구역이 상기 목표 인덱스 값에 도달할 예상 시간을 상기 기준 구역의 제 1 선형 함수에 기초하여 결정하고;

적어도 하나의 조절가능한 구역에 대하여, 상기 조절가능한 구역의 폴리싱 레이트를 조절하기 위해, 상기 조절 가능한 구역이 그러한 조절이 없는 것보다 상기 예상 시간에 상기 목표 인덱스에 더 근접하게 되도록 상기 조절 가능한 구역에 대한 폴리싱 파라미터에 대해 조절을 계산 — 상기 계산은 선행 기판에 대해 계산된 피드백 에러에 기초하여 상기 조절을 계산하는 것을 포함함 — 하고;

상기 폴리싱 파라미터의 조절 후에, 각각의 구역에 대하여, 상기 스펙트럼들의 시퀀스를 수신하고, 기준 스펙트럼들의 라이브러리로부터 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 결정하며, 상기 폴리싱 파라미터의 조절 후에 얻어진 인덱스 값들의 제 2 시퀀스를 발생시키기 위해 인덱스 값을 결정하는 것을 계속하고;

각각의 기판의 상기 적어도 하나의 조절가능한 구역에 대하여, 제 2 선형 함수를 상기 인덱스 값들의 제 2 시퀀스에 피팅시키고; 그리고

상기 제 2 선형 함수와 목표 기울기에 기초하여 상기 적어도 하나의 조절가능한 구역에 대해 후속 기판에 대한 피드백 에러를 계산하는,

폴리싱 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 일반적으로 화학적 기계적 폴리싱 동안에 폴리싱 레이트 교정들에 영향을 미치는 피드백에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

집적회로는 통상적으로 실리콘 웨이퍼 상에 전도성, 반도체성, 또는 절연성 층들의 순차적 증착에 의해 기판상에 형성된다. 하나의 제조 단계는 비평면형 표면 위에서의 충진층(filler layer)의 증착과 충진층의 평탄화를 수반한다. 특정 응용예들에 있어서, 충진층은 패턴화된 층의 상부 표면이 노출될 때까지 평탄화된다. 절연층의 트렌치들 또는 홀들을 충진시키기 위해, 예를 들어, 전도성 충진층이 패턴화된 절연층 상에 증착될 수 있다. 평탄화 이후, 절연층의 융기된 패턴 사이에 남아있는 전도층의 부분들이 기판상의 박막 회로들 사이에 전도성 경로들을 제공하는 라인들, 플러그들 및 비아들을 형성한다. 산화물 폴리싱과 같은 다른 응용예들에 있어서, 충진층은 비평면형 표면 전체에 걸쳐 미리 결정된 두께가 남을 때까지 평탄화된다. 게다가, 기판 표면의 평탄화는 포토리소그래피를 위해 일반적으로 요구된다.

[0003]

화학적 기계적 폴리싱(CMP)은 허용되는 하나의 평탄화 방법이다. 통상적으로, 이러한 평탄화 방법은 캐리어 해

드 상에 기판이 장착되는 것을 요구한다. 통상적으로, 기판의 노출면이 내구성이 있는 거친면(roughened surface)을 구비한 회전하는 폴리싱 패드에 대해 위치된다. 캐리어 헤드는 기판을 폴리싱 패드에 대해 가압하기 위해 기판 상에 제어가능한 부하를 제공한다. 연마 입자들을 구비한 슬러리와 같은 폴리싱 액체가 통상적으로 폴리싱 패드의 표면에 공급된다.

[0004] CMP에서의 한가지 문제점은, 원하는 프로파일을 달성하기 위하여, 예컨대, 원하는(desired) 평탄도 또는 두께로 기판 층이 평탄화되도록, 또는 원하는 양의 재료가 제거되도록, 적절한 폴리싱 레이트(polishing rate)를 사용하는 것이다. 기판 층의 초기 두께, 슬러리 조성, 폴리싱 패드 상태, 폴리싱 패드와 기판 사이의 상대 속도, 및 기판 상의 부하의 변화들은 기판 전체에 걸쳐서 그리고 기판별로 재료 제거율의 변화들을 유발할 수 있다. 이러한 변화들은 제거량과 폴리싱 종점에 도달하기 위해 요구되는 시간의 변화들을 유발할 수 있다. 따라서, 폴리싱 종점을 단지 폴리싱 시간의 함수만으로 결정하거나, 단지 일정한 압력을 인가함으로써 원하는 프로파일을 달성하는 것이 가능하지 않을 수 있다.

[0005] 몇몇 시스템들에서, 폴리싱 동안에, 예컨대, 폴리싱 패드의 윈도우를 통하여, 기판이 광학적으로 인-시츄(in-situ) 모니터링된다. 그러나, 기존의 광 모니터링 기술들은 반도체 소자 제조사들의 증가하는 요구를 만족시키지 않을 수 있다.

발명의 내용

[0006] 일 양태에서, 컴퓨터 구현 방법은, 복수의 구역들을 가진 기판을 폴리싱하는 단계로서, 각각의 구역의 폴리싱 레이트가 독립적으로 가변하는 폴리싱 파라미터에 의해 독립적으로 제어가능한, 상기 기판 폴리싱 단계, 목표 인덱스 값을 저장하는 단계, 폴리싱 동안에 인-시츄 모니터링 시스템으로 각각의 구역으로부터 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하는 단계, 각각의 구역의 스펙트럼들의 시퀀스에서 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 기준 스펙트럼들의 라이브러리로부터 최상의 매칭(matching) 기준 스펙트럼을 결정하는 단계, 각각의 구역에 대한 각각의 최상의 매칭 기준 스펙트럼에 대하여, 인덱스 값들의 시퀀스를 발생시키기 위해 인덱스 값을 결정하는 단계, 각각의 구역에 대하여, 제 1 선형 함수를 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅(fitting)하는 단계, 복수의 구역들로부터의 기준 구역에 대하여, 기준 구역이 목표 인덱스 값에 도달할 예상 시간을 기준 구역의 제 1 선형 함수에 기초하여 결정하는 단계, 및 하나 이상의 조절가능한 구역에 대하여, 조절가능한 구역의 폴리싱 레이트를 조절하기 위해, 조절가능한 구역이 그러한 조절이 없는 것보다 예상 시간에 목표 인덱스에 더 근접하게 되도록 조절가능한 구역의 폴리싱 파라미터의 조절을 계산하는 단계로서, 계산은 선행 기판에 대해 계산된 피드백 에러에 기초하여 조절을 계산하는 단계를 포함하는, 상기 폴리싱 파라미터의 조절을 계산하는 단계, 폴리싱 파라미터의 조절 후에, 각각의 구역에 대하여, 계속 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하고, 기준 스펙트럼들의 라이브러리로부터 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 결정하며, 그리고 폴리싱 파라미터의 조절 후에 얻어진 인덱스 값들의 제 2 시퀀스를 발생시키기 위해 인덱스 값을 결정하는 단계, 각각의 기판의 하나 이상의 조절가능한 구역에 대하여, 제 2 선형 함수를 인덱스 값들의 제 2 시퀀스에 피팅하는 단계, 및 제 2 선형 함수와 원하는 기울기에 기초하여 하나 이상의 조절가능한 구역에 대해 후속 기판의 피드백 에러를 계산하는 단계를 포함한다. 한편, 이 때 '원하는 기울기'란 사용자가 달성하고자 하는 기울기, 즉 사용자가 목표로 하는 기울기로 이해되며, 본 상세한 설명에서는 '원하는 기울기'와 '목표 기울기'를 같은 의미로 사용할 수 있음을 이해한다.

[0007] 구현예들은 이하의 특징들 중 하나 또는 둘 이상의 특징들을 포함할 수 있다. 폴리싱 파라미터는 폴리싱 장치의 캐리어 헤드의 압력일 수 있다. 각각의 조절가능한 구역에 대하여, 조절가능한 구역이 목표 인덱스에 도달할 시간이 결정될 수 있다. 하나 이상의 조절가능한 구역에 대한 폴리싱 파라미터가 조절될 수 있어서 하나 이상의 조절가능한 구역은 그러한 조절이 없는 것보다 예상 시간에 목표 인덱스에 더 근접하게 된다. 폴리싱 파라미터를 조절하는 단계는 조절가능한 구역에 대한 원하는 기울기를 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 조절가능한 구역에 대한 선형 함수가 예상 시간에 도달하는 예상 인덱스가 조절가능한 구역에 대해 계산될 수 있다. 구역에 대해 원하는 기울기(SD)를 계산하는 단계는 $SD = (IT - I) / (TE - T_0)$ 를 계산하는 단계를 포함할 수 있으며, 여기서, T_0 는 폴리싱 파라미터가 변화될 시간이고, TE 는 예상 종점 시간이며, IT 는 목표 인덱스이고, I 는 시간(T_0)에서 구역의 인덱스 값이다. 제 1 선형 함수를 결정하는 단계는 시간(T_0) 전의 시간 동안 제 1 선형 함수에 대한 기울기(S)를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 폴리싱 파라미터를 조절하는 단계는 조절된 압력($P_{adj} = (P_{new} - P_{old}) * err + P_{new}$)을 계산하는 단계를 포함할 수 있으며, 여기서, err 은 피드백 에러이고, $P_{new} = P_{old} * SD / S$ 이며, P_{old} 는 시간(T_0) 전에 구역에 인가된 압력이다. 제 2 선형 함수로부터 실제 기울기(S')가 결정될 수 있다. 피드백 에러(err)는 $err = [(SD - S') / SD]$ 로서 계산된다. 폴리싱 파라미터에 대한 조절 전에, 조절가능한 구역의 원하는 기울기(SD)가 조절가능한 구역의 기울기(S)보다 큰지의 여부가 결정될 수 있다. 피드

백 에러(err)는, $SD > S$ 이면, $err = [(SD - S') / SD]$ 로서 계산될 수 있고, 피드백 에러(err)는, $SD < S$ 이면, $err = [(S' - SD) / SD]$ 로서 계산될 수 있다. 피드백 에러(err)는 복수의 선행 기관들로부터의 조절가능한 구역의 피드백 에러들의 누적으로부터 계산될 수 있다. 구역에 대해 원하는 기울기(SD)를 계산하는 단계는 $SD = (IT_{adj-I}) / (TE - T_0)$ 를 계산하는 단계를 포함할 수 있으며, 여기서, T_0 는 폴리싱 파라미터가 변화될 시간이고, TE는 예상 종점 시간이며, IT_{adj} 는 조절된 목표 인덱스이고, I는 시간(T_0)에서 조절가능한 구역의 인덱스 값이다. 폴리싱 파라미터를 조절하는 단계는 새로운 압력($P_{new} = P_{old} * SD / S$)을 계산하는 단계를 포함할 수 있으며, 여기서, P_{old} 는 시간(T_0) 전에 구역에 인가된 압력이고, 기울기(S)는 시간(T_0) 전의 시간 동안 제 1 선형 함수이다. 폴리싱 파라미터가 변할 때 시간(T_0)에서의 시작 인덱스(SI)가 계산될 수 있다. 조절된 목표 인덱스(IT_{adj})는 $IT_{adj} = SI + (IT - SI) * (1 + err)$ 로서 계산될 수 있으며, IT는 목표 인덱스이고, SI는 시작 인덱스이다. 종점 시간(TE')에 조절가능한 구역이 도달하는 실제 인덱스(AI)가 결정될 수 있다. 실제 인덱스(AI)를 결정하는 단계는 종점 시간(TE')에서 제 2 함수의 값을 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 에러(err)는 $err = [(IT - AI) / (IT - SI)]$ 로서 계산될 수 있으며, 여기서, AI는 실제 인덱스이고, SI는 시작 인덱스이며, IT는 목표 인덱스이다.

[0008] 다른 양태들에서, 이 방법들을 실시하기 위하여, 폴리싱 시스템들과 컴퓨터로 판독가능한 매체에 유형적으로 구현된(tangibly embodied) 컴퓨터 프로그램 제품들이 제공된다.

[0009] 특정 구현예들은 이하의 장점들 중 하나 또는 둘 이상의 장점들을 가질 수 있다. 동일한 플래튼 상의 모든 기관들이 거의 동일한 시간에 종료되면, 기관을 물로 너무 일찍 린싱(rinse)함으로써 초래되는 스크래치들 또는 기관을 시기적절한 방법으로 린싱하지 못하여 초래되는 부식과 같은 결함들을 피할 수 있다. 다수의 기관들에 걸쳐서 폴리싱 시간들을 균등화(equalizing)하는 것은 또한 처리량을 개선시킬 수 있다. 기관 내의 상이한 구역들에 대한 폴리싱 시간들을 균등화하는 것은 또한 웨이퍼내 불균일성(WINU)을 저감할 수 있으며, 즉, 기관 층 균일성을 개선시킬 수 있다. 예컨대, 프로세스 드리프트, 예컨대 폴리싱 패드의 마모 또는 폴리싱 온도의 변화를 보상함으로써, 피드백은 웨이퍼내 웨이퍼 불균일성(WINU)을 저감할 수 있다.

[0010] 하나 또는 둘 이상의 구현예들의 세부 사항들이 이하의 발명의 상세한 설명과 첨부 도면들에 개시되어 있다. 다른 특징들, 양태들 및 장점들이 발명의 상세한 설명, 도면들 및 특허청구범위로부터 명확해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 2개의 폴리싱 헤드들을 가진 폴리싱 장치의 예의 개략적인 단면도를 도시한다.

도 2는 다수의 구역들을 가진 기관의 개략적인 평면도를 도시한다.

도 3a는 폴리싱 패드의 평면도를 도시하고 제 1 기관 상에서 인-시츄 측정들이 실시되는 위치들을 나타낸다.

도 3b는 폴리싱 패드의 평면도를 도시하고 제 2 기관 상에서 인-시츄 측정들이 실시되는 위치들을 나타낸다.

도 4는 인-시츄 광 모니터링 시스템으로부터 측정된 스펙트럼을 도시한다.

도 5는 기준 스펙트럼들의 라이브러리를 도시한다.

도 6은 인덱스 트레이스(trace)를 도시한다.

도 7은 상이한 기관들의 상이한 구역들에 대한 복수의 인덱스 트레이스들을 도시한다.

도 8은 기준 구역의 인덱스 트레이스가 목표 인덱스에 도달하는 시간에 기초하여 복수의 조절가능한 구역들에 대한 복수의 원하는 기울기들의 계산을 도시한다.

도 9는 기준 구역의 인덱스 트레이스가 목표 인덱스에 도달하는 시간에 기초하여 복수의 조절가능한 구역들에 대한 복수의 원하는 기울기들의 계산을 도시한다.

도 10은, 상이한 구역들이 상이한 목표 인덱스들을 가진, 상이한 기관들의 상이한 구역들에 대한 복수의 인덱스 트레이스들을 도시한다.

도 11은 기준 구역의 인덱스 트레이스가 목표 인덱스에 도달하는 시간에 기초한 종점의 계산을 도시한다.

도 12a 내지 도 12d는 에러 피드백을 발생시키는 목적으로 네가지 상황들에서 실제 기울기들에 대한 원하는 기울기의 비교를 도시한다.

도 13은 조절가능한 구역에 의해 도달되는 실제 인덱스에 대한 목표 인덱스의 비교를 도시한다.

도 14은 복수의 구역들이 목표 시간에 거의 동일한 두께를 갖도록 복수의 기판들에서 복수의 구역들의 폴리싱 레이트를 조절하기 위한 예시적 프로세스의 흐름도이다.

여러 도면들에서 유사한 참조번호들과 명칭들은 유사한 요소들을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012]

다수의 기판들이 동시에, 예컨대, 동일한 폴리싱 패드 상에서 폴리싱되는 경우, 기판들 간의 폴리싱 레이트 차이들은 기판들이 상이한 시간에 그들의 목표 두께에 도달하는 결과를 초래할 수 있다. 한편, 기판들에 대한 폴리싱이 동일한 시간에 중단되면, 일부는 원하는 두께가 아닐 것이다. 다른 한편으로, 기판들에 대한 폴리싱이 상이한 시간에 중단되면, 일부 기판들이 결합들을 가질 수 있으며, 폴리싱 장치는 더 낮은 처리량으로 작동하는 것이 된다.

[0013]

인-시츄 측정으로부터 각각의 기판의 각각의 구역에 대한 폴리싱 레이트를 결정함으로써, 목표 두께에 대한 예상 종점 시간 또는 목표 종점 시간에 대한 예상 두께가 각각의 기판의 각각의 구역에 대해 결정될 수 있으며, 하나 이상의 기판의 하나 이상의 구역에 대한 폴리싱 레이트가 기판들이 종점 조건들에 더 근접하도록 조절될 수 있다. "종점 조건들에 더 근접"한다는 것은 기판들의 구역들이 그러한 조절이 없는 것보다 동일한 시간에 더 근접하여 그들의 목표 두께에 도달하거나, 또는 기판들이 동일한 시간에 폴리싱을 중단하면, 기판들의 구역들이 그러한 조절이 없는 것보다 동일한 두께에 더 근접할 것임을 의미한다.

[0014]

도 1은 폴리싱 장치(100)의 예를 도시하고 있다. 폴리싱 장치(100)는 폴리싱 패드(110)가 위치되는 회전가능한 디스크형 플래튼(120)을 포함한다. 플래튼은 축(125)을 중심으로 회전하도록 작동 가능하다. 예컨대, 플래튼(120)을 회전시키기 위해 모터(121)가 구동 샤프트(124)를 회전시킬 수 있다. 폴리싱 패드(110)는, 예컨대, 접착제층에 의해 플래튼(120)에 탈착가능하게 고정될 수 있다. 폴리싱 패드(110)는 외측의 폴리싱층(112)과 연성의 배면층(114)을 구비한 2층 폴리싱 패드일 수 있다.

[0015]

폴리싱 장치(100)는 조합형 슬러리/린스 아암(130)을 포함할 수 있다. 폴리싱 동안에, 아암(130)은 슬러리와 같은 폴리싱 액체(132)를 폴리싱 패드(110)로 분배하도록 작동될 수 있다. 단지 하나의 슬러리/린스 아암(130)이 도시되어 있으나, 캐리어 헤드당 하나 또는 둘 이상의 전용 슬러리 아암들과 같은 추가적인 노즐들이 사용될 수 있다. 폴리싱 장치는 폴리싱 패드(110)를 일관된 거친 상태로 유지하기 위해 폴리싱 패드(110)를 마멸시키는 폴리싱 패드 컨디셔너를 또한 포함할 수 있다.

[0016]

본 실시예에서, 폴리싱 장치(100)는 2개의(또는 2개 또는 3개 이상의) 캐리어 헤드(140)들을 포함한다. 각각의 캐리어 헤드(140)는 폴리싱 패드(110)에 대하여 기판(10)을 유지하도록(예컨대, 하나의 캐리어 헤드에서 제 1 기판(10a)을 유지하고 다른 캐리어 헤드에서 제 2 기판(10b)을 유지하도록) 작동 가능하다. 각각의 캐리어 헤드(140)는 각각의 개별 기판과 연관된, 예컨대, 압력 등의 폴리싱 파라미터들의 독립된 제어를 가질 수 있다.

[0017]

특히, 각각의 캐리어 헤드(140)는 가요성 멤브레인(144) 아래에 기판(10)을 유지하기 위해 유지 링(142)을 포함할 수 있다. 각각의 캐리어 헤드(140)는 멤브레인에 의해 규정되는 복수의 독립적으로 제어가능한 가압식 챔버들, 예컨대, 3개의 챔버(146a 내지 146c)들을 또한 포함할 수 있으며, 이 챔버들은 가요성 멤브레인(144)과 그에 따른 기판(10)(도 2 참조) 상의 연관된 구역(148a 내지 148c)에 대해 독립적으로 제어가능한 압력들을 인가할 수 있다. 도 2를 참조하면, 중앙 구역(148a)은 실질적으로 원형일 수 있으며, 나머지 구역(148b 내지 148e)들은 중앙 구역(148a)을 중심으로 한 동심원적인 환형 구역들일 수 있다. 도시의 편의를 위해 도 1 및 도 2에는 단지 3개의 챔버들만 도시되어 있으나, 2개의 챔버들, 또는 4개 또는 5개 이상의 챔버들, 예컨대, 5개의 챔버들이 있을 수 있다.

[0018]

도 1을 다시 참조하면, 각각의 캐리어 헤드(140)는 지지 구조물(150), 예컨대, 캐러셀(carousel)로부터 현수되어 있으며, 캐리어 헤드가 축(155)을 중심으로 회전할 수 있도록 구동 샤프트(152)에 의해 캐리어 헤드 회전 모터(154)에 연결되어 있다. 선택적으로, 각각의 캐리어 헤드(140)는, 예컨대, 캐러셀(150) 상의 슬라이더들 상에서; 또는 캐러셀 자체의 회전 진동에 의해, 측방향으로 진동할 수 있다. 작동시, 플래튼은 그 중심축(125)을 중심으로 회전하게 되며, 각각의 캐리어 헤드는 그 중심축(155)을 중심으로 회전하며 폴리싱 패드의 상면을 가로질러 측방향으로 이동하게 된다.

[0019]

단지 2개의 캐리어 헤드(140)들만 도시되어 있으나, 폴리싱 패드(110)의 표면적이 효율적으로 사용될 수 있도록, 더 많은 캐리어 헤드들이 추가적인 기판들을 유지하기 위해 제공될 수 있다. 따라서, 동시 폴리싱 프로세스를 위해 기판들을 유지하도록 구성된 캐리어 헤드 조립체들의 수는, 적어도 부분적으로, 폴리싱 패드

(110)의 표면적에 기초할 수 있다.

[0020] 폴리싱 장치는 하기된 바와 같이 폴리싱 레이트의 조절 또는 폴리싱 레이트의 조절 여부를 결정하기 위해 사용될 수 있는 인-시츄 모니터링 시스템(160)을 또한 포함한다. 인-시츄 모니터링 시스템(160)은 광 모니터링 시스템, 예컨대, 분광 모니터링 시스템 또는 와전류 모니터링 시스템을 포함할 수 있다.

[0021] 일 실시예에서, 모니터링 시스템(160)은 광 모니터링 시스템이다. 폴리싱 패드를 통한 광 액세스가 통공(즉, 패드를 관통하는 흘) 또는 솔리드 윈도우(118)를 포함함으로써 제공된다. 몇몇 실시예에서, 솔리드 윈도우가 플래튼(120) 상에 지지되어 폴리싱 패드의 통공 속으로 돌출할 수도 있으나, 솔리드 윈도우(118)는, 예컨대, 폴리싱 패드의 통공을 충진하는 플러그로서 폴리싱 패드(110)에 고정될 수 있으며, 예컨대, 폴리싱 패드에 몰딩되거나 접착식으로 고정될 수 있다.

[0022] 광 모니터링 시스템(160)은 광원(162), 광검출기(164) 및 원격 컨트롤러(190), 예컨대, 컴퓨터와 광원(162) 및 광검출기(164) 간에 신호들을 송수신하기 위한 회로(166)를 포함할 수 있다. 광원(162)으로부터 폴리싱 패드의 광 액세스로 빛을 전송하고, 기판(10)으로부터 반사된 빛을 검출기(164)로 전송하기 위해, 하나 또는 둘 이상의 광 섬유들이 사용될 수 있다. 예를 들면, 광원(162)으로부터 기판(10)으로 그리고 검출기(164)로 다시 빛을 전송하기 위해 분기된 광 섬유(170)가 사용될 수 있다. 분기된 광 섬유는 광 액세스 근처에서 위치된 본선(172)과, 광원(162)과 검출기(164)에 각각 연결된 2개의 지선(174, 176)들을 포함할 수 있다.

[0023] 몇몇 구현예들에서, 플래튼의 상부 표면은 분기된 섬유의 본선(172)의 일단을 유지하고 있는 광 헤드(168)가 안으로 결합되는 리세스(128)를 포함할 수 있다. 광 헤드(168)는 본선(172)의 상부와 솔리드 윈도우(118) 사이의 수직 거리를 조절하기 위한 기구를 포함할 수 있다.

[0024] 회로(166)의 출력은 구동 샤프트(124)의 회전식 커플러(129), 예컨대, 슬립 링을 통과하여 광 모니터링 시스템 용 컨트롤러(190)까지 전송되는 디지털 전자 신호일 수 있다. 마찬가지로, 광원은 컨트롤러(190)로부터 회전식 커플러(129)를 통해 광 모니터링 시스템(160)으로 전송되는 디지털 전자 신호들의 제어 명령들에 응답하여 턴온 또는 턴오프될 수 있다. 대안적으로, 회로(166)는 무선 신호에 의해 컨트롤러(190)와 통신할 수 있다.

[0025] 광원(162)은 백색광을 방출하도록 작동 가능할 수 있다. 일 구현예에서, 방출된 백색광은 200 내지 800nm의 파장을 가진 빛을 포함한다. 적당한 광원은 제논 램프 또는 제논 수은 램프이다.

[0026] 광 검출기(164)는 분광계일 수 있다. 분광계는 전자기 스펙트럼의 일부에 걸쳐 빛의 강도를 측정하기 위한 광학 장비이다. 적당한 분광계는 격자 분광계이다. 분광계의 전형적인 출력은 파장(또는 주파수)의 함수로서의 빛의 강도이다.

[0027] 전술한 바와 같이, 광원(162)과 광 검출기(164)는 이들의 동작을 제어하고 이들의 신호들을 수신하도록 작동 가능한 컴퓨팅 장치, 예컨대, 컨트롤러(190)에 연결될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 폴리싱 장치 근처에 위치된 마이크로프로세서, 예컨대, 프로그램가능한 컴퓨터를 포함할 수 있다. 제어와 관련하여, 컴퓨팅 장치는, 예컨대, 광원의 활성화를 플래튼(120)의 회전과 동조시킬 수 있다.

[0028] 몇몇 구현예들에서, 인-시츄 모니터링 시스템(160)의 광원(162)과 검출기(164)는 플래튼(120) 내부에 설치되어 플래튼과 함께 회전한다. 이 경우, 플래튼의 운동은 센서가 각각의 기판을 가로질러 스캐닝하도록 할 것이다. 특히, 플래튼(120)이 회전할 때, 제어기(190)는 각각의 기판(10)이 광 액세스 위를 지나기 직전에 시작하여 지난 직후에 종료되는 일련의 플래시를 광원(162)이 방출하도록 할 수 있다. 대안적으로, 컴퓨팅 장치는 각각의 기판(10)이 광 액세스 위를 지나기 직전에 시작하여 지난 직후에 종료되는 빛을 연속적으로 광원(162)이 방출하도록 할 수 있다. 어느 경우에서나, 검출기로부터의 신호가 샘플링 주파수에서 스펙트럼을 측정값들을 발생시키기 위해 샘플링 주기 동안 통합될 수 있다.

[0029] 작동시, 컨트롤러(190)는, 예컨대, 검출기의 타임 프레임 또는 광원의 특정 플래시에 대하여 광 검출기에 의해 수신되는 빛의 스펙트럼을 설명하는 정보를 반송하는 신호를 수신할 수 있다. 따라서, 이 스펙트럼이 폴리싱 동안에 인-시츄 측정된 스펙트럼이다.

[0030] 도 3a에 도시된 바와 같이, 검출기가 플래튼에 설치되면, (화살표(204)로 표시된) 플래튼의 회전으로 인하여, 윈도우(108)가 하나의 캐리어 헤드(예컨대, 제 1 기판(10a)을 유지하고 있는 캐리어 헤드) 아래를 지날 때, 샘플링 주파수에서 스펙트럼을 측정들을 행하는 광 모니터링 시스템은 제 1 기판(10a)을 가로지르는 원호의 위치(201)들에서 스펙트럼들 측정들이 이루어지도록 할 것이다. 예컨대, 각각의 지점(201a 내지 201k)들은 제 1 기판(10a)의 모니터링 시스템에 의한 스펙트럼 측정 위치를 나타낸다(지점들의 수는 예시적이며, 샘플링 주파수에

따라 도시된 것보다 더 많거나 더 적은 측정이 이루어질 수 있다). 도시된 바와 같이, 플래튼이 1회전하는 동안, 기판(10a) 상의 상이한 반경들로부터 스펙트럼들이 얻어진다. 즉, 일부 스펙트럼들은 기판(10a)의 중심에 더 가까운 위치들로부터 얻어지고, 일부는 에지에 더 가까운 위치들에서 얻어진다. 마찬가지로, 도 3b에 도시된 바와 같이, 플래튼의 회전으로 인하여, 원도우가 다른 캐리어 헤드(예컨대, 제 2 기판(10b)을 유지하고 있는 캐리어 헤드) 아래를 지날 때, 샘플링 주파수에서 스펙트럼들 측정들을 행하는 광 모니터링 시스템은 제 2 기판(10b)을 가로지르는 원호를 따르는 위치(202)들에서 스펙트럼들 측정들이 이루어지도록 할 것이다.

[0031] 따라서, 플래튼의 임의의 특정한 회전에 대하여, 타이밍과 모터 인코더 정보에 기초하여, 컨트롤러는 어느 기판, 예컨대, 어느 기판(10a 또는 10b)이 측정된 스펙트럼의 소스인지를 결정할 수 있다. 게다가, 기판, 예컨대, 기판(10a 또는 10b)을 가로지르는 광 모니터링 시스템의 임의의 특정한 스캐닝에 대하여, 타이밍, 모터 인코더 정보, 및 유지링 및/또는 기판의 에지의 광학적 검출에 기초하여, 컨트롤러(190)는 스캐닝으로부터 각각의 측정된 스펙트럼에 대한 (스캐닝되고 있는 특정 기판(10a 또는 10b)의 중심에 대한) 반경 방향 위치를 계산할 수 있다. 또한, 폴리싱 시스템은, 스펙트럼이 측정된 기판과 기판 상의 위치를 결정하기 위한 추가적인 데이터를 제공하기 위해, 회전식 위치 센서, 예컨대, 플래튼의 에지에 부착되어 고정식 광 단속기를 통과할 플랜지를 포함할 수 있다. 따라서, 컨트롤러는 측정된 다양한 스펙트럼들과 기판(10a, 10b)들에서의 제어 가능한 구역(148b 내지 148e)(도 2 참조)들을 연관시킬 수 있다. 몇몇 구현예들에서, 스펙트럼의 측정 시간이 반경 방향 위치의 정확한 계산을 위한 대안으로서 사용될 수 있다.

[0032] 플래튼이 다수회 회전하는 동안, 각각의 기판의 각각의 구역에 대하여, 시간의 흐름에 따른 스펙트럼들의 시퀀스가 얻어질 수 있다. 임의의 특정 이론에 한정되지 않고, 기판(10)으로부터 반사된 빛의 스펙트럼은 최외곽 층의 두께 변화로 인하여 폴리싱이 진행될수록(예컨대, 기판을 가로질러 1회 스위핑하는 동안이 아니라, 플래튼이 다수회 회전하는 동안) 발달하고, 따라서 시간에 따라 변하는 스펙트럼들의 시퀀스를 산출한다. 게다가, 층 스택의 특정 두께들에 의해 특정 스펙트럼이 나타난다.

[0033] 몇몇 구현예들에서, 컨트롤러는, 예컨대, 컴퓨팅 장치는 다수의 기준 스펙트럼들에 대하여 측정된 스펙트럼을 비교하고 어느 기준 스펙트럼이 최상의 매칭을 제공하는지를 결정하도록 프로그램될 수 있다. 특히, 컨트롤러는 각각의 기판의 각각의 구역으로부터 측정된 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 스펙트럼을 다수의 기준 스펙트럼들에 대해 비교하여 각각의 기판의 각각의 구역에 대한 최상의 매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스를 발생시키도록 프로그램될 수 있다.

[0034] 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 기준 스펙트럼은 기판의 폴리싱에 앞서 발생된 미리 규정된 스펙트럼이다. 기준 스펙트럼은 미리 규정된 연관성, 즉, 폴리싱 작업 전에 규정된 연관성을 가질 수 있으며, 실제 폴리싱 레이트가 예상 폴리싱 레이트를 따를 것이라 가정하여, 스펙트럼이 나타날 것으로 예상되는 폴리싱 프로세스에서의 시간을 나타내는 값을 갖는다. 대안적으로, 또는 부가적으로, 기준 스펙트럼은 최외곽 층의 두께와 같은 기판 특성 값과 미리 규정된 연관성을 가질 수 있다.

[0035] 기준 스펙트럼은 경험적으로, 예를 들면, 테스트 기판으로부터 스펙트럼들을 측정함으로써, 발생될 수 있으며, 예컨대, 테스트 기판은 공지된 초기 층 두께들을 갖는다. 예컨대, 복수의 기준 스펙트럼들을 발생시키기 위해, 소자 웨이퍼들의 폴리싱 동안에 사용되는 것과 동일한 폴리싱 파라미터들을 사용하여 셋-업 기판이 폴리싱되면서, 스펙트럼들의 시퀀스가 수집된다. 각각의 스펙트럼에 대하여, 스펙트럼이 수집되었던 폴리싱 프로세스에서의 시간을 나타내는 값이 기록된다. 예컨대, 값은 경과 시간이거나, 또는 플래튼 회전수일 수 있다. 목표 두께가 달성되는 때에 기판으로부터 반사되는 빛의 스펙트럼이 얻어질 수 있도록 기판이 오버폴리싱, 즉, 원하는 두께를 지나 폴리싱될 수 있다.

[0036] 각각의 스펙트럼을 기판 특성 값, 예컨대, 최외곽 층의 두께와 연관시키기 위하여, 제품 기판과 동일한 패턴을 가진 "셋-업" 기판의 특성들과 초기 스펙트럼들이 메트롤로지 스테이션에서 폴리싱 전에 측정될 수 있다. 또한, 그와 동일한 메트롤로지 스테이션 또는 상이한 메트롤로지 스테이션에서 최종 스펙트럼과 특성이 폴리싱 후에 측정될 수 있다. 초기 스펙트럼들과 최종 스펙트럼들 간의 스펙트럼들에 대한 특성들이 보간법에 의해, 예컨대, 테스트 기판의 스펙트럼들이 측정되었던 경과 시간에 기초하여 선형 보간법에 의해 결정될 수 있다.

[0037] 경험적으로 결정되는 것에 부가하여, 기준 스펙트럼들 중 일부 또는 전부가 이론적으로, 예컨대, 기판 층들의 광학적 모델을 사용하여, 계산될 수 있다. 예컨대, 광학적 모델은 주어진 외곽 층 두께(D)의 기준 스펙트럼을 계산하기 위해 사용될 수 있다. 기준 스펙트럼이 수집될 폴리싱 프로세스에서의 시간을 나타내는 값이, 예컨대, 외곽 층이 균일한 폴리싱 레이트로 제거되는 것으로 가정함으로써 계산될 수 있다. 예컨대, 특정 기준 스펙트럼에 대한 시간(Ts)은 시작 두께(D0)와 균일한 폴리싱 레이트(R)를 가정함으로써 간단히 계산될 수 있다

($T_s = (D_0 - D)/R$). 다른 예로서, 광학적 모델을 위해 사용된 두께(D)에 기초하여 폴리싱전 및 폴리싱후 두께(D1 또는 D2)들에 대한(또는 메트로로지 스테이션에서 측정된 다른 두께들에 대한) 측정 시간(T1, T2)들 간의 선형 보간법이 실시될 수 있다($T_s = T_2 - T_1 * (D_1 - D)/(D_1 - D_2)$).

[0038] 도 4 및 도 5를 참조하면, 측정된 스펙트럼(300)(도 4 참조)은 하나 또는 둘 이상의 라이브러리(310)(도 5 참조)들로부터의 기준 스펙트럼(320)에 대해 비교될 수 있다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 기준 스펙트럼들의 라이브러리는 특성을 공통으로 공유하는 기판들을 나타내는 기준 스펙트럼들의 수집체이다. 그러나, 단일의 라이브러리에서 공유된 특성은 기준 스펙트럼들의 다수의 라이브러리들에 걸쳐서 달라질 수 있다. 예컨대, 2개의 상이한 라이브러리들은 2개의 상이한 하부 두께들을 가진 기판들을 나타내는 기준 스펙트럼들을 포함할 수 있다. 기준 스펙트럼들의 주어진 라이브러리에 대하여, (웨이퍼 패턴, 하부 층 두께 또는 층 조성에서의 차이들과 같은) 다른 요인들 이외에, 상부 층 두께의 변화들이 스펙트럼 강도들에서의 차이들의 주요 원인일 수 있다.

[0039] 상이한 기판 특성(예컨대, 하부 층 두께들 또는 층 조성)들을 가진 다수의 "셋-업" 기판들을 폴리싱하고, 전술한 바와 같이 스펙트럼들을 수집함으로써, 상이한 라이브러리(310)들에 대한 기준 스펙트럼(320)이 발생될 수 있으며; 하나의 셋-업 기판으로부터의 스펙트럼들이 제 1 라이브러리를 제공할 수 있고, 상이한 하부 층 두께를 가진 다른 기판으로부터의 스펙트럼들이 제 2 라이브러리를 제공할 수 있다. 대안적으로, 또는 부가적으로, 상이한 라이브러리들에 대한 기준 스펙트럼들은 이론적으로 계산될 수 있으며, 예컨대, 제 1 라이브러리에 대한 스펙트럼들은 제 1 두께를 가진 하부 층을 구비한 광학적 모델을 사용하여 계산될 수 있고, 제 2 라이브러리에 대한 스펙트럼들은 상이한 하나의 두께를 가진 하부 층을 구비한 광학적 모델을 사용하여 계산될 수 있다.

[0040] 몇몇 구현예들에서, 각각의 기준 스펙트럼(320)에는 인덱스 값(330)이 할당된다. 일반적으로, 각각의 라이브러리(310)는 많은 기준 스펙트럼(320)들을 포함할 수 있으며, 기판의 예상 폴리싱 시간 동안 각각의 플래튼 회전에 대하여 예컨대, 하나 또는 둘 이상, 예컨대, 정확하게 하나의 기준 스펙트럼들을 포함할 수 있다. 이 인덱스(330)는 값일 수 있으며, 예컨대, 기준 스펙트럼(320)이 관찰될 것으로 예상되는 폴리싱 프로세스에서의 시간을 나타내는 숫자일 수 있다. 특정 라이브러리에서의 각각의 스펙트럼이 고유의 인덱스 값을 갖도록 스펙트럼들이 인덱싱될 수 있다. 스펙트럼들이 측정된 순서대로 인덱스 값들이 시퀀싱되도록 인덱싱이 실시될 수 있다. 인덱스 값은 폴리싱이 진행될수록 단조롭게 변하도록, 예컨대, 증가하거나 감소하도록 선택될 수 있다. 특히, 기준 스펙트럼들의 인덱스 값들은, (폴리싱 레이트가 라이브러리에서 기준 스펙트럼들을 발생시키기 위해 사용되는 모델 또는 테스트 기판의 것을 따르는 것으로 가정하여) 이들이 플래튼 회전수 또는 시간의 선형 함수를 형성하도록, 선택될 수 있다. 예컨대, 인덱스 값은, 기준 스펙트럼들이 테스트 기판에 대해 측정되었거나 광학적 모델에서 나타나게 될 플래튼 회전수에 비례할 수 있으며, 예컨대, 동일할 수 있다. 따라서, 각각의 인덱스 값은 정수일 수 있다. 인덱스 수는 연관된 스펙트럼이 나타나게 될 예상 플래튼 회전을 나타낼 수 있다.

[0041] 기준 스펙트럼들과 그들의 연관된 인덱스 값들은 기준 라이브러리에 저장될 수 있다. 예컨대, 각각의 기준 스펙트럼(320)과 그의 연관된 인덱스 값(330)이 데이터베이스(350)의 레코드(340)에 저장될 수 있다. 기준 스펙트럼들의 기준 라이브러리들의 데이터베이스(350)는 폴리싱 장치의 컴퓨팅 장치의 메모리에 구현될 수 있다.

[0042] 전술한 바와 같이, 각각의 기판의 각각의 구역에 대하여, 측정된 스펙트럼들의 시퀀스 또는 그 구역과 기판에 기초하여, 컨트롤러(190)는 최상의 매칭 스펙트럼들의 시퀀스를 발생시키도록 프로그램될 수 있다. 측정된 스펙트럼을 특정 라이브러리로부터의 기준 스펙트럼들에 비교함으로써, 최상의 매칭 기준 스펙트럼이 결정될 수 있다.

[0043] 몇몇 구현예들에서, 최상의 매칭 기준 스펙트럼은, 각각의 기준 스펙트럼들에 대하여, 측정된 스펙트럼과 기준 스펙트럼 사이의 차이들의 제곱의 합을 계산함으로써 결정될 수 있다. 차이들의 제곱의 최저 합을 가진 기준 스펙트럼이 최상의 피팅(best fit)을 갖는다. 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 찾기 위한 다른 기술들도 가능하다.

[0044] 컴퓨터 프로세싱을 줄이기 위해 적용될 수 있는 방법은 스펙트럼들을 매칭시키기 위해 검색되는 라이브러리의 부분을 한정하는 것이다. 라이브러리는 통상적으로 기판을 폴리싱할 때 얻어질 것보다 더 넓은 범위의 스펙트럼들을 포함한다. 기판 폴리싱 동안에, 라이브러리 검색은 라이브러리 스펙트럼들의 미리 결정된 범위로 한정된다. 몇몇 구현예들에서, 폴리싱되고 있는 기판의 현재 회전 인덱스(N)가 결정된다. 예컨대, 초기 플래튼 회전에서, 라이브러리의 모든 기준 스펙트럼들을 검색함으로써, N이 결정될 수 있다. 후속하는 회전 동안에 얻어진 스펙트럼들에 대하여, N의 자유도 범위 내에서 라이브러리가 검색된다. 즉, 1회전 동안에 인덱스 수가 N인 것으로 밝혀지면, X회 회전한 이후인 후속하는 회전 동안에, 자유도는 Y이며, 검색될 범위는 (N+X)-Y 내지

(N+X)+Y이다.

[0045] 오직 단일 기관의 단일 구역의 결과들을 도시하고 있는 도 6을 참조하면, 시퀀스에서 최상의 매칭 스펙트럼들의 각각의 인덱스 값은 인덱스 값(212)들의 시간에 따라 변하는 시퀀스를 발생시키도록 결정될 수 있다. 이 인덱스 값들의 시퀀스를 인덱스 트레이스(210)라 칭할 수 있다. 몇몇 구현예들에서, 인덱스 트레이스는 정확하게 하나의 라이브러리로부터의 기준 스펙트럼들에 대해 각각 측정된 스펙트럼을 비교함으로써 발생된다. 일반적으로, 인덱스 트레이스(210)는 기관 아래의 광 모니터링 시스템의 스위프당 하나의, 예컨대, 정확하게 하나의 인덱스 값을 포함할 수 있다.

[0046] 광 모니터링 시스템의 단일의 스위프에서 특정 기관 및 구역에 대해 측정된 다수의 스펙트럼들("현재 스펙트럼들"이라 함)들이 있는 주어진 인덱스 트레이스(210)에 대하여, 하나 또는 둘 이상의, 예컨대, 정확하게 하나의 라이브러리의 기준 스펙트럼들과 각각의 현재 스펙트럼들 사이에 최상의 매칭이 결정될 수 있다. 몇몇 구현예들에서, 각각 선택된 현재 스펙트럼들은 선택된 라이브러리 또는 라이브러리들의 각각의 기준 스펙트럼들에 대해 비교된다. 현재 스펙트럼들(e, f, g)과 기준 스펙트럼들(E, F, G)이 주어지면, 예컨대, 다음과 같은 각각의 현재 및 기준 스펙트럼들의 조합들에 대해 매칭 계수가 계산될 수 있다: e와 E, e와 F, e와 G, f와 E, f와 F, f와 G, g와 E, g와 F, g와 G. 최상의 매칭을 나타내는 매칭 계수는, 예컨대, 가장 작은 매칭 계수는 최상의 매칭 기준 스펙트럼과 그에 따른 인덱스 값을 결정한다. 대안적으로, 몇몇 구현예들에서, 현재 스펙트럼들이 조합될 수 있으며, 예컨대, 평균화될 수 있으며, 그로 인해 조합된 스펙트럼이 최상의 매칭과 그에 따른 인덱스 값을 결정하기 위해 기준 스펙트럼들에 대해 비교된다.

[0047] 몇몇 구현예들에서, 몇몇 기관들의 적어도 일부 구역들에 대하여, 복수의 인덱스 트레이스들이 발생될 수 있다. 주어진 기관의 주어진 구역에 대하여, 각각의 관심 기준 라이브러리(reference library of interest)에 대해 인덱스 트레이스가 발생될 수 있다. 즉, 주어진 기관의 주어진 구역에 각각의 관심 기준 라이브러리에 대하여, 측정된 스펙트럼들의 시퀀스에서 각각 측정된 스펙트럼이 주어진 라이브러리로부터의 기준 스펙트럼들에 비교되고, 최상의 매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스가 결정되며, 최상의 매칭 기준 스펙트럼들의 시퀀스의 인덱스 값들이 주어진 라이브러리에 대한 인덱스 트레이스를 제공한다.

[0048] 요약하면, 각각의 인덱스 트레이스는 인덱스 값(212)들의 시퀀스(210)를 포함하고, 시퀀스의 각각의 특정 인덱스 값(212)은 측정된 스펙트럼에 가장 가까운 피팅인(closest fit) 기준 스펙트럼의 인덱스를 주어진 라이브러리로부터 선택함으로써 발생된다. 인덱스 트레이스(210)의 각각의 인덱스에 대한 시간 값은 측정된 스펙트럼이 측정된 시간과 동일할 수 있다.

[0049] 도 7을 참조하면, 복수의 인덱스 트레이스들이 도시되어 있다. 전술한 바와 같이, 인덱스 트레이스는 각각의 기관의 각각의 구역에 대해 발생될 수 있다. 예컨대, (중공의 원들로 표시된) 인덱스 값(212)들의 제 1 시퀀스(210)가 제 1 기관의 제 1 구역에 대해 발생될 수 있으며, (중실의 원들로 표시된) 인덱스 값(222)들의 제 2 시퀀스(220)가 제 1 기관의 제 2 구역에 대해 발생될 수 있고, (중공의 정사각형들로 표시된) 인덱스 값(232)들의 제 3 시퀀스(230)가 제 2 기관의 제 1 구역에 대해 발생될 수 있으며, (중실의 정사각형들로 표시된) 인덱스 값(242)들의 제 4 시퀀스(240)가 제 2 기관의 제 2 구역에 대해 발생될 수 있다.

[0050] 도 7에 도시된 바와 같이, 각각의 기관 인덱스 트레이스에 대하여, 공지된 차수의 다항 함수, 예컨대, 1차 함수(예컨대, 라인)가, 예컨대, 로버스트 라인(robust line) 피팅을 사용하여, 연관된 구역과 웨이퍼의 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된다. 예컨대, 제 1 라인(214)은 제 1 기관의 제 1 구역의 인덱스 값(212)들에 피팅될 수 있고, 제 2 라인(224)은 제 1 기관의 제 2 구역의 인덱스 값(222)들에 피팅될 수 있으며, 제 3 라인(234)은 제 2 기관의 제 1 구역의 인덱스 값(232)들에 피팅될 수 있고, 제 4 라인(244)은 제 2 기관의 제 2 구역의 인덱스 값(242)들에 피팅될 수 있다. 인덱스 값들에 대한 라인의 피팅은 라인이 시작 인덱스 값, 예컨대, 영(0)을 지나는 x-축 교차 시간(T)과 라인의 기울기(S)의 계산을 포함할 수 있다. 함수는 $I(t)=S \cdot (t-T)$ 의 형태로 표현될 수 있으며, 여기에서 t는 시간이다. x-축 교차 시간(T)은 음의 값을 가질 수 있으며, 기관 층의 시작 두께가 예상보다 작다는 것을 의미한다. 따라서, 제 1 라인(214)은 제 1 기울기(S1)와 제 1 x-축 교차 시간(T1)을 가질 수 있으며, 제 2 라인(224)은 제 2 기울기(S2)와 제 2 x-축 교차 시간(T2)을 가질 수 있고, 제 3 라인(234)은 제 3 기울기(S3)와 제 3 x-축 교차 시간(T3)을 가질 수 있으며, 제 4 라인(244)은 제 4 기울기(S4)와 제 4 x-축 교차 시간(T4)을 가질 수 있다.

[0051] 폴리싱 프로세스 동안 몇몇 시점에서, 예컨대, 시간(T0)에서, 기관의 구역의 폴리싱 레이트를 조절하기 위해 하나 이상의 기관의 하나 이상의 구역에 대한, 예컨대, 모든 기관의 하나 이상의 구역에 대한 폴리싱 파라미터가 폴리싱 종점 시간에, 복수의 기관들의 복수의 구역들이 그러한 조절이 없는 것보다 그들의 목표 두께에 근접하

게 되도록 조절된다. 몇몇 실시예들에서, 복수의 기판들의 각각의 구역은 종점 시간에 거의 동일한 두께를 가질 수 있다.

[0052] 도 8을 참조하면, 몇몇 구현예들에서, 하나의 기판의 하나의 구역이 기준 구역으로서 선택되며, 기준 구역이 목표 인덱스(IT)에 도달할 예상 종점 시간(TE)이 결정된다. 다른 구역 및/또는 다른 기판이 선택될 수 있으나, 예컨대, 도 8에 도시된 바와 같이, 제 1 기판의 제 1 구역이 기준 구역으로서 선택된다. 목표 두께(IT)는 폴리싱 작업 전에 사용자에 의해 설정되고 저장된다.

[0053] 기준 구역이 목표 인덱스에 도달하게 될 예상 시간을 결정하기 위해, 목표 인덱스(IT)와 기준 구역의 라인, 예컨대, 라인(214)의 교점이 계산될 수 있다. 폴리싱 레이트가 나머지 폴리싱 프로세스를 거치면서 예상 폴리싱 레이트를 벗어나지 않는 것으로 가정하면, 그런 다음에 인덱스 값들의 시퀀스는 실질적으로 선형적인 진행을 유지하여야 한다. 따라서, 예상 종점 시간(TE)이 목표 인덱스(IT), 예컨대, $IT=S \cdot (TE-T)$ 에 대해 라인의 단순한 선형 보간법으로서 계산될 수 있다. 따라서, 제 3 라인(234)과 연관된, 제 2 기판의 제 1 구역이 기준 구역으로서 선택된 도 8의 예에서, $IT=S_1 \cdot (TE-T_1)$, 즉, $TE=IT/S_1-T_1$ 이다.

[0054] (다른 기판들의 구역들을 포함하는) 기준 구역 이외인, 하나 또는 둘 이상의 구역들, 예컨대, 모든 구역들은 조절가능한 구역들로서 규정될 수 있다. 조절가능한 구역들의 라인들이 만나는 장소에서, 예상 종점 시간(TE)은 조절가능한 구역들의 예상 종점을 규정한다. 따라서, 각각의 조절가능한 구역의 선형 함수는, 예컨대, 도 8의 라인(224, 234, 244)들은 연관된 구역의 예상 종점 시간(ET)에 얻어진 인덱스(예컨대, EI2, EI3, EI4)를 추론하기 위해 사용될 수 있다. 예컨대, 제 2 라인(224)은 제 1 기판의 제 2 구역의 예상 종점 시간(ET)에서의 예상 인덱스(EI2)를 추론하기 위해 사용될 수 있으며, 제 3 라인(234)은 제 2 기판의 제 1 구역의 예상 종점 시간(ET)에서의 예상 인덱스(EI3)를 추론하기 위해 사용될 수 있고, 제 4 라인은 제 2 기판의 제 2 구역의 예상 종점 시간(ET)에서의 예상 인덱스(EI4)를 추론하기 위해 사용될 수 있다.

[0055] 도 8에 도시된 바와 같이, 시간(T0) 이후에 임의의 기판들의 임의의 구역들의 폴리싱 레이트에 대한 조절이 이루어지지 않으면, 종점이 모든 기판에 대해 동시에 강제될 경우, 각각의 기판이 상이한 두께를 가질 수 있거나, 각각의 기판이 상이한 종점 시간을 가질 수 있을 것이다(이는 결합들과 처리량의 손실을 초래할 수 있으므로 바람직하지 않다). 여기서, 예컨대, (라인(224)으로 도시된) 제 1 기판의 제 2 구역은 제 1 기판의 제 1 구역의 예상 인덱스보다 더 작은 예상 인덱스(EI2)(그리고 따라서 더 작은 두께)에서 종점을 가질 것이다. 마찬가지로, (라인(234)으로 도시된) 제 2 기판의 제 1 구역은 제 1 기판의 제 1 구역보다 더 작은 예상 인덱스(EI3)(그리고 따라서 더 작은 두께)에서 종점을 가질 것이다. (라인(244)으로 도시된) 제 2 기판의 제 2 구역은 제 1 기판의 제 1 구역보다 더 큰 예상 인덱스(EI4)(그리고 따라서 더 큰 두께)에서 종점을 가질 것이다.

[0056] 도 8에 도시된 바와 같이, 목표 인덱스는 상이한 기판들에 대하여 상이한 시간들에 도달하게 될 것이고(또는, 마찬가지로, 조절가능한 구역들이 기준 구역의 예상 종점 시간에 상이한 예상 인덱스들을 가질 것이고), 폴리싱 레이트가 상향으로 또는 하향으로 조절될 수 있으며, 이에 따라, 기판들은 그러한 조절이 없는 것보다 동일한 시간에 더 근접하여, 예컨대, 거의 동일한 시간에 목표 인덱스(및 그에 따라 목표 두께)에 도달하게 되거나, 그러한 조절이 없는 것보다 목표 시간에 동일한 인덱스 값(및 그에 따라 동일한 두께)에 더 근접할 것이며, 예컨대, 거의 동일한 인덱스 값(및 그에 따라 거의 동일한 두께)에 근접하게 될 것이다.

[0057] 따라서, 도 8의 예에서, 시간(T0)에서 시작하여, 제 1 기판의 제 2 구역에 대한 하나 이상의 폴리싱 파라미터가 구역의 폴리싱 레이트가 증가되도록(그리고 그 결과로서 인덱스 트레이스(220)의 기울기가 증가되도록) 변형된다. 또한, 이 예에서, 제 2 기판의 제 1 구역에 대한 하나 이상의 폴리싱 파라미터가 구역의 폴리싱 레이트가 증가되도록(그리고 그 결과로서 인덱스 트레이스(230)의 기울기가 증가되도록) 변형된다. 마찬가지로, 이 예에서, 제 2 기판의 제 2 구역에 대한 하나 이상의 폴리싱 파라미터가 구역의 폴리싱 레이트가 감소되도록(그리고 그 결과로서 인덱스 트레이스(240)의 기울기가 감소되도록) 변형된다. 그 결과, 양 기판들의 양 구역들이 대략 동일한 시간에 목표 인덱스(그리고 따라서 목표 두께)에 도달하게 될 것이다(또는, 양 기판들의 폴리싱이 동일한 시간에 중단되면, 양 기판들의 양 구역들이 대략 동일한 두께로 종료될 것이다).

[0058] 몇몇 구현예들에서, 예상 종점 시간(ET)에서의 예상 인덱스가 기판의 구역이 목표 두께의 미리 규정된 범위 이내임을 나타내면, 그 구역에 대한 조절이 필요하지 않을 수 있다. 그 범위는 목표 인덱스의 2%일 수 있으며, 예컨대, 1% 이내일 수 있다.

[0059] 조절가능한 구역들에 대한 폴리싱 레이트들이 조절될 수 있으며, 이에 따라, 구역들 모두가 그러한 조절이 없는 것보다 예상 종점 시간에 목표 인덱스에 더 근접하게 된다. 예컨대, 구역들 모두가 거의 기준 기판의 예상 시

간에 종점을 갖게 되도록, 기준 기판의 기준 구역이 선택될 것이고, 다른 구역 모두에 대한 프로세싱 파라미터들이 조절될 것이다. 기준 구역은, 예컨대, 미리 결정된 구역, 예컨대, 중앙 구역(148a) 또는 중앙 구역을 직접적으로 둘러싸고 있는 구역(148b), 임의의 기판들의 임의의 구역들의 가장 빠르거나 가장 늦은 예상 종점 시간을 가진 구역 또는 소정의 예상 종점을 가진 기판의 구역일 수 있다. 가장 빠른 시간은 폴리싱이 동일한 시간에 중단되면 가장 짧은 기판에 상당한다. 마찬가지로, 가장 늦은 시간은 폴리싱이 동일한 시간에 중단되면 가장 두꺼운 기판에 상당한다. 기준 기판은, 예컨대, 미리 결정된 기판, 기판들의 가장 빠르거나 가장 늦은 예상 종점 시간을 가진 구역을 구비한 기판일 수 있다. 가장 빠른 시간은 폴리싱이 동일한 시간에 중단되면 가장 짧은 구역에 상당한다. 마찬가지로, 가장 늦은 시간은 폴리싱이 동일한 시간에 중단되면 가장 두꺼운 구역에 상당한다.

[0060] 조절가능한 구역들 각각에 대하여, 조절가능한 구역이 기준 구역과 동일한 시간에 목표 인덱스에 도달하도록, 인덱스 트레이스의 원하는 기울기가 계산될 수 있다. 예컨대, 원하는 기울기(SD)는 $(IT-I)=SD*(TE-T0)$ 로부터 계산될 수 있으며, 여기서, I는 폴리싱 파라미터가 변화될 시간(T0)에서의 (인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된 선형 함수로부터 계산된)인덱스 값이고, IT는 목표 인덱스이며, TE는 계산된 예상 종점 시간이다. 도 8의 예에서, 제 1 기판의 제 2 구역에 대하여, 원하는 기울기(SD2)는 $(IT-I2)=SD2*(TE-T0)$ 로부터 계산될 수 있으며, 제 2 기판의 제 1 구역에 대하여, 원하는 기울기(SD3)는 $(IT-I3)=SD3*(TE-T0)$ 로부터 계산될 수 있고, 제 2 기판의 제 2 구역에 대하여, 원하는 기울기(SD4)는 $(IT-I4)=SD4*(TE-T0)$ 로부터 계산될 수 있다.

[0061] 도 9를 참조하면, 몇몇 구현예들에서, 기준 구역이 없다. 예컨대, 예상 종점 시간(TE')은, 예컨대, 폴리싱 프로세스 전에 사용자에 의해 설정된, 미리 결정된 시간일 수 있으며, 또는 하나 또는 둘 이상의 기판들로부터 2개 또는 3개 이상의 구역들의 예상 종점 시간들의 평균 또는 다른 조합으로부터 (목표 인덱스에 대해 여러 구역들의 라인들을 투사함으로써 계산되는 바와 같이) 계산될 수 있다. 이 구현예에서, 제 1 기판의 제 1 구역에 대한 원하는 기울기가 또한 계산되어야만 하지만, 원하는 기울기들은 (TE 대신 예상 종점 시간(TE')을 사용하여) 실질적으로 전술한 바와 같이 계산되며, 예컨대, 원하는 기울기(SD1)가 $(IT-I1)=SD1*(TE'-T0)$ 로부터 계산될 수 있다.

[0062] 도 10을 참조하면, (도 9의 구현예와 조합될 수도 있는) 몇몇 구현예들에서, 상이한 구역들에 대해 상이한 목표 인덱스들이 존재한다. 이는 기판 상에 의도적이지만 제어 가능한 불균일한 두께 프로파일의 생성을 허용한다. 예컨대, 컨트롤러의 입력 장치를 사용하여, 목표 인덱스들이 사용자에 의해 입력될 수 있다. 예컨대, 제 1 기판의 제 1 구역은 제 1 목표 인덱스(IT1)들을 가질 수 있고, 제 1 기판의 제 2 구역은 제 2 목표 인덱스(IT2)들을 가질 수 있으며, 제 2 기판의 제 1 구역은 제 3 목표 인덱스(IT3)들을 가질 수 있고, 제 2 기판의 제 2 구역은 제 4 목표 인덱스(IT4)들을 가질 수 있다.

[0063] 각각의 조절가능한 구역에 대한 원하는 기울기(SD)가 $(IT-I)=SD*(TE-T0)$ 로부터 계산될 수 있으며, 여기서, I는 폴리싱 파라미터가 변화될 시간(T0)에서의 (구역에 대한 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된 선형 함수로부터 계산된) 구역의 인덱스 값이고, IT는 특정 구역의 목표 인덱스이며, TE는 (도 8과 관련하여 전술한 바와 같이 기준 구역으로부터, 또는 미리 설정된(preset) 종점 시간으로부터 또는 도 9와 관련하여 전술한 바와 같이 예상 종점 시간들의 조합으로부터) 계산된 예상 종점 시간이다. 도 10의 예에서, 제 1 기판의 제 2 구역에 대하여, 원하는 기울기(SD2)는 $(IT2-I2)=SD2*(TE-T0)$ 로부터 계산될 수 있으며, 제 2 기판의 제 1 구역에 대하여, 원하는 기울기(SD3)는 $(IT3-I3)=SD3*(TE-T0)$ 로부터 계산될 수 있고, 제 2 기판의 제 2 구역에 대하여, 원하는 기울기(SD4)는 $(IT4-I4)=SD4*(TE-T0)$ 로부터 계산될 수 있다.

[0064] 도 8 내지 도 10에 대해 전술한 방법들 모두에 있어서, 인덱스 트레이스의 기울기를 원하는 기울기에 근접시키도록 폴리싱 레이트가 조절된다. 예컨대, 캐리어 헤드의 대응하는 챔버 압력을 증가시키거나 감소시킴으로써, 폴리싱 레이트들이 조절될 수 있다. 폴리싱 레이트의 변화는 압력 변화에 직접 비례하는 것으로, 예컨대, 간단한 프레스토니언 모델(Prestonian model)로, 간주될 수 있다. 예컨대, 각각의 기판의 각각의 구역에 대하여, 구역이 시간(T0) 전에 압력(Pold)으로 폴리싱되는 경우, 시간(T0) 후에 인가될 새로운 압력(Pnew)은 $Pnew=Pold*(SD/S)$ 로 계산될 수 있으며, 여기서, S는 시간(T0) 전의 라인의 기울기이고, SD는 원하는 기울기이다.

[0065] 예컨대, 제 1 기판의 제 1 구역에 압력(Pold1)이 인가되고, 제 1 기판의 제 2 구역에 압력(Pold2)이 인가되며, 제 2 기판의 제 1 구역에 압력(Pold3)이 인가되고, 제 2 기판의 제 2 구역에 압력(Pold4)이 인가된 것으로 가정하면, 제 1 기판의 제 1 구역에 대한 새로운 압력(Pnew1)은 $Pnew1=Pold1*(SD1/S1)$ 으로 계산될 수 있고, 제 1 기판의 제 2 구역에 대한 새로운 압력(Pnew2)은 $Pnew2=Pold2*(SD2/S2)$ 으로 계산될 수 있으며, 제 2 기판의 제

1 구역에 대한 새로운 압력(P_{new3})은 $P_{new3}=P_{old3}*(SD3/S3)$ 으로 계산될 수 있고, 제 2 기판의 제 2 구역에 대한 새로운 압력(P_{new4})은 $P_{new4}=P_{old4}*(SD4/S4)$ 으로 계산될 수 있다.

[0066] 기판들이 목표 두께에 도달할 예상 시간들을 결정하고 폴리싱 레이트들을 조절하는 프로세스는 폴리싱 프로세스에서 단지 1회, 예컨대, 특정 시간에, 예컨대, 예상 폴리싱 시간 중 40 내지 60%에서 실시되거나, 또는 폴리싱 프로세스에서 다수회, 예컨대, 매 30 내지 60초마다 실시될 수 있다. 폴리싱 프로세스시 후속 시간에, 적절하다면, 레이트들이 다시 조절될 수 있다. 폴리싱 프로세스시, 폴리싱 레이트들은, 4회, 3회, 2회 또는 단지 1회와 같이, 단지 수회 변화될 수 있다. 그러한 조절은 폴리싱 프로세스의 시작 무렵에, 중간에 또는 끝 무렵에 이루어질 수 있다.

[0067] 폴리싱 레이트들이 조절된 후, 예컨대, 시간(T_0) 후에, 폴리싱은 계속되며, 광 모니터링 시스템은 적어도 기준 구역에 대한 스펙트럼들의 수집과 기준 구역에 대한 인덱스 값들의 결정을 계속한다. 몇몇 구현예들에서, 광 모니터링 시스템은 각각의 기판의 각각의 구역에 대해 계속 스펙트럼들을 수집하고 인덱스 값을 결정한다. 일단 기준 구역의 인덱스 트레이스가 목표 인덱스에 도달하면, 종점이 호출되고, 양 기판들에 대한 폴리싱 작업은 중단된다.

[0068] 예컨대, 도 11에 도시된 바와 같이, 시간(T_0) 후에, 광 모니터링 시스템은 계속 기준 구역에 대한 스펙트럼을 수집하고 기준 구역에 대한 인덱스 값(312)을 결정한다. (예컨대, 도 8의 구현예에서와 같이) 기준 구역에 대한 압력이 변하지 않으면, 그런 다음에 개신된 선형 함수(314)를 제공하기 위해 시간(T_0) 전과 시간(T_0) 후 모두로부터의 데이터 지점을 사용하여 선형 함수가 계산될 수 있으며, 선형 함수(314)가 목표 인덱스(IT)에 도달하는 시간이 폴리싱 종점 시간을 나타낸다. 한편, (예컨대, 도 9의 구현예에서와 같이) 시간(T_0)에서 기준 구역에 대한 압력이 변하면, 그런 다음에 시간(T_0) 후 인덱스 값(312)들의 시퀀스로부터 기울기(S')를 가진 새로운 선형 함수(314)가 계산될 수 있으며, 새로운 선형 함수(314)가 목표 인덱스(IT)에 도달하는 시간이 폴리싱 종점 시간을 나타낸다. 종점을 결정하기 위해 사용되는 기준 구역은 예상 종점 시간을 계산하기 위해 전술한 바와 같이 사용된 동일한 기준 구역일 수 있거나 상이한 구역일 수 있다(또는, 모든 구역들이 도 8을 참조하여 설명한 바와 같이 조절되었으면, 그런 다음에 기준 구역은 종점 결정을 목적으로 선택될 수 있다). 새로운 선형 함수(314)가 본래의 선형 함수(214)로부터 계산된 예상 시간보다 (도 11에 도시된 바와 같이) 약간 느리거나 또는 일찍 목표 인덱스(IT)에 도달하면, 그런 다음에 구역들 중 하나 또는 둘 이상의 구역들이 각각 약간 오버 폴리싱될 수 있거나 언더폴리싱될 수 있다. 그러나, 예상 종점 시간과 실제 폴리싱 시간 사이의 차이가 몇 초에 불과할 것이므로, 그 차이가 폴리싱 균일성에 크게 영향을 미칠 필요는 없다.

[0069] 도 8을 참조하여 전술한 바와 같은 폴리싱 레이트들의 조절에도 불구하고, 여전히, 하나 또는 둘 이상의 조절 가능한 구역들의 실제 폴리싱 레이트가 원하는 폴리싱 레이트에 일치하지 않을 수 있으며, 따라서, 조절 가능한 구역이 언더폴리싱될 수 있거나 오버폴리싱될 수 있다. 몇몇 구현예들에서, 선행 기판들의 조절 가능한 구역들의 폴리싱 결과들에 기초하여 조절 가능한 구역들의 폴리싱 레이트를 교정하기 위해 피드백 프로세스가 사용될 수 있다. 원하는 폴리싱 레이트와 실제 폴리싱 레이트 간의 불일치는 프로세스 드리프트, 예컨대, 프로세스 온도의 변화들, 패드 상태, 슬러리 조성 또는 기판들에서의 편차들(variations)에 기인할 수 있다. 또한, 압력 변화와 제거율 변화 간의 관계가 주어진 프로세스 조건들의 세트에 대해 항상 처음에 잘 특정되는 것은 아니다. 그러므로, 사용자는 통상적으로 여러 구역들에서 제거율에 대한 서로 다른 압력들의 영향을 보기 위해 실험 매트릭스 계획(a design of experiment matrix)을 운영하거나, 인-시츄 프로세스 제어를 사용하여 일련의 기판들을 운영할 것이며, 원하는 프로파일이 얻어질 때까지 기판별로 개인(gain) 및/또는 오프셋(offset) 세팅들을 수정(tweak)한다. 그러나, 피드백 기구는 이러한 관계를 자동으로 결정할 수 있거나 미세하게 조정할 수 있다.

[0070] 몇몇 구현예들에서, 피드백은 하나 또는 둘 이상의 선행 기판들의 조절 가능한 구역의 측정들에 기초한 여러 값일 수 있다. 여러 값은 후속 기판의 조절 가능한 구역(즉, 기준 구역 이외의 구역)에 대한 원하는 압력의 계산에 사용될 수 있다. 여러 값은 (예컨대, 계산된 기울기(SD)로 표시된 바와 같은) 원하는 폴리싱 레이트와, (예컨대, 실제 기울기(S')로 표시된 바와 같은) 조절 후, 예컨대, T_0 후 실제 폴리싱 레이트에 기초하여 계산될 수 있다. 여러 값은 조절 가능한 구역에 대한 압력의 변화를 조절하기 위해 스케일링 계수(scaling factor)로서 사용될 수 있다. 이 구현예에 있어서, 광 모니터링 시스템은, 폴리싱 압력들이 조절된 후에, 예컨대, T_0 후에, 하나 이상의 조절 가능한 구역, 예컨대, 각각의 기판의 각각의 조절 가능한 구역들에 대해 계속 스펙트럼들을 수집하고 인덱스 값을 결정한다. 그러나, 이러한 피드백 기술을 사용하는 구현예들은 또한 한번에 오직 단일의 기판이 폴리싱 패드 상에서 폴리싱되는 경우에 적용 가능할 수 있다.

[0071] 일 구현예에서, 교정이 이루어질 때, 시간(T_0) 후에 기판 상의 조절 가능한 구역에 인가하기 위한 조절된 압력

(Padj)이,

$$\text{Padj} = (\text{Pnew} - \text{Pold}) * \text{err} + \text{Pnew}$$

에 따라 계산되며, 여기서, Pold는 시간(T0) 전에 구역에 인가된 압력이고, Pnew는 $\text{Pnew} = \text{Pold} * (\text{SD}/\text{S})$ 로서 계산되며, err는 하나 또는 둘 이상의 선행 기관들의 구역에 대해 원하는 폴리싱 레이트로부터 그러한 선행 기관들의 구역의 실제 폴리싱 레이트의 편차에 기초하여 계산된 에러 값이다.

[0072]

도 12a 내지 도 12d는 (T0 전에 선형 함수로부터의 계산된 기울기(SD)로 나타낸 바와 같이) 조절가능한 구역에 대해 원하는 폴리싱 레이트가 (T0 후에 제 2 선형 함수로부터의 실제 기울기(S')로 나타낸 바와 같이) 조절가능한 구역의 실제 폴리싱 레이트와 불일치하는 네가지 상황들을 도시한다. 이들의 각각의 상황들에서, 기준 구역에 대해 스펙트럼들의 시퀀스가 측정될 수 있으며, 기준 구역으로부터의 스펙트럼들에 대하여 (시간(T0) 전에 대한) 인덱스 값(212)들과 (시간(T0) 후에 대한) 인덱스 값(312)들이 결정될 수 있고, 선형 함수(214/314)가 인덱스 값(212 및 312)들에 피팅될 수 있으며, 선형 함수(214/314)가 목표 인덱스(IT)와 교차하는 시간으로부터 종점 시간(TE')이 결정될 수 있다. 또한, 하나 이상의 조절가능한 구역에 대해 스펙트럼들의 시퀀스가 측정될 수 있으며, 예컨대, 스펙트럼들에 대하여 (시간(T0) 전에 대한) 인덱스 값(222)들과 (시간(T0) 후에 대한) 인덱스 값(322)들이 결정될 수 있고, 시간(T0) 전의 조절가능한 구역에 대한 본래의 기울기(S)를 결정하기 위해 제 1 선형 함수(224)가 인덱스 값(222)들에 피팅될 수 있으며, 조절가능한 구역에 대해 원하는 기울기(SD)가 전술한 바와 같이 계산될 수 있고, 시간(T0) 후의 조절가능한 구역에 대한 실제 기울기(S')를 결정하기 위해 제 2 선형 함수(324)가 인덱스 값(322)들에 피팅될 수 있다. 몇몇 구현예들에서, 각각의 기관의 각각의 조절가능한 구역이 모니터링되며, 각각의 조절가능한 구역에 대해 본래의 기울기, 원하는 기울기 및 실제 기울기가 결정된다.

[0073]

도 12a에 도시된 바와 같이, 몇몇 상황들에서, 원하는 기울기(SD)가 본래의 기울기(S)를 초과할 수 있으나, 조절가능한 구역에 대한 실제 기울기(S')가 원하는 기울기(SD)보다 작을 수 있다. 따라서, 기준 구역이 예상 시간에 목표 인덱스(IT)에 도달하는 것으로 가정하면, 기관의 조절가능한 구역은, 종점 시간(TE')까지 목표 인덱스에 도달하지 않았으므로, 언더폴리싱된다. 이 기관의 이 조절가능한 구역에 있어서, 실제 폴리싱 레이트(S')가 원하는 폴리싱 레이트(SD)보다 작았기 때문에, 후속 기관에 있어서, 이 조절가능한 구역에 대한 압력은 실제 폴리싱 레이트가 원하는 폴리싱 레이트보다 작지 않았으면 SD의 계산이 나타냈을 것보다 더 증가되어야 한다. 예컨대, 에러(err)는 $\text{err} = [(\text{SD} - \text{S}')/\text{SD}]$ 로서 계산될 수 있다.

[0074]

도 12b에 도시된 바와 같이, 몇몇 상황들에서, 원하는 기울기(SD)가 본래의 기울기(S)를 초과할 수 있으며, 조절가능한 구역에 대한 실제 기울기(S')가 원하는 기울기(SD)보다 클 수 있다. 따라서, 기준 구역이 예상 시간에 목표 인덱스(IT)에 도달하는 것으로 가정하면, 기관의 조절가능한 구역은, 종점 시간(TE')에서 목표 인덱스를 초과하였으므로, 오버폴리싱된다. 이 기관의 이 조절가능한 구역에 있어서, 실제 폴리싱 레이트(S')가 원하는 폴리싱 레이트(SD)보다 컸기 때문에, 후속 기관에 있어서, 이 조절가능한 구역에 대한 압력은 실제 폴리싱 레이트가 원하는 폴리싱 레이트보다 크지 않았으면 SD의 계산이 나타냈을 것보다 덜 증가되어야 한다. 예컨대, 에러(err)는 $\text{err} = [(\text{SD} - \text{S}')/\text{SD}]$ 로서 계산될 수 있다.

[0075]

도 12c에 도시된 바와 같이, 몇몇 상황들에서, 원하는 기울기(SD)가 본래의 기울기(S)보다 작을 수 있으며, 조절가능한 구역에 대한 실제 기울기(S')가 원하는 기울기(SD)보다 클 수 있다. 따라서, 기준 구역이 예상 시간에 목표 인덱스(IT)에 도달하는 것으로 가정하면, 기관의 조절가능한 구역은, 종점 시간(TE')에서 목표 인덱스를 초과하였으므로, 오버폴리싱된다. 이 기관의 이 조절가능한 구역에 있어서, 실제 폴리싱 레이트(S')가 원하는 폴리싱 레이트(SD)보다 컸기 때문에, 후속 기관에 있어서, 이 조절가능한 구역에 대한 압력은 실제 폴리싱 레이트가 원하는 폴리싱 레이트보다 크지 않았으면 SD의 계산이 나타냈을 것보다 더 감소되어야 한다. 예컨대, 에러(err)는 $\text{err} = [(\text{S}' - \text{SD})/\text{SD}]$ 로서 계산될 수 있다.

[0076]

도 12d에 도시된 바와 같이, 몇몇 상황들에서, 원하는 기울기(SD)가 본래의 기울기(S)보다 작을 수 있으며, 조절가능한 구역에 대한 실제 기울기(S')가 원하는 기울기(SD)보다 작을 수 있다. 따라서, 기준 구역이 예상 시간에 목표 인덱스(IT)에 도달하는 것으로 가정하면, 기관의 조절가능한 구역은, 종점 시간(TE')에서 목표 인덱스에 도달하지 못하였으므로, 오버폴리싱된다. 이 기관의 이 조절가능한 구역에 있어서, 실제 폴리싱 레이트(S')가 원하는 폴리싱 레이트(SD)보다 작기 때문에, 후속 기관에 있어서, 이 조절가능한 구역에 대한 압력은 실제 폴리싱 레이트가 원하는 폴리싱 레이트보다 작지 않았으면 SD의 계산이 나타냈을 것보다 덜 감소되어야 한다. 예컨대, 에러(err)는 $\text{err} = [(\text{S}' - \text{SD})/\text{SD}]$ 로서 계산될 수 있다.

- [0077] 도 12a 내지 도 12d에 대해 전술된 구현예들은 도 12c 및 도 12d에 도시된 상황들에 대한 에러의 부호(sign)를 도 12a 및 도 12b와 비교하여 반전(reverse)시킨다. 즉, 원하는 기울기(SD)가 본래의 기울기(S)보다 클 때, 에러 신호가 반전된다(즉, 원하는 기울기(SD)가 본래의 기울기(S)보다 작을 때와 비교하여 반전된다).
- [0078] 그러나, 몇몇 구현예들에서, 에러가 항상 동일한 방식, $\text{err}=[(\text{SD}-\text{S}')/\text{SD}]$ 으로 계산될 수 있다. 이 구현예들에서, 본래의 기울기(S)와 상관없이, 원하는 기울기가 실제 기울기보다 크면, 에러는 양이고, 원하는 기울기가 실제 기울기보다 작으면, 에러는 음이다.
- [0079] 몇몇 구현예들에서, 도 12a 내지 도 12d의 각각의 경우들에서, 선행 기판에 대해 계산된 에러(err)는 후속 기판에 대한 $\text{Padj}=(\text{Pnew}-\text{Pold})*\text{err}+\text{Pnew}$ [등식 1]의 계산에서 사용될 수 있다.
- [0080] 또한, 조절된 압력의 계산에 에러를 적용하는 대신, 조절가능한 구역에 대한 조절된 목표 인덱스가 계산될 수 있음이 주지될 수 있다. 그런 다음에, 원하는 기울기는 조절된 목표 인덱스에 기초하여 계산될 것이다. 예컨대, 도 13을 참조하면, 조절된 목표 인덱스(ITadj)는 $\text{ITadj}=\text{SI}+(\text{IT}-\text{SI})*(1+\text{err})$ [등식 2]로서 계산될 수 있고, 여기서, IT는 목표 인덱스이고, SI는 (선형 함수(224) 또는 선형 함수(324)로부터 계산된 바와 같은) 시간(TO)에서의 시작 인덱스이다. 에러(err)는 $\text{err}=[(\text{IT}-\text{AI})/(\text{IT}-\text{SI})]$ 로서 계산될 수 있으며, 여기서, AI는 (선형 함수(324)로부터 계산된 바와 같은) 종점 시간(TE')에 조절가능한 구역이 도달한 실제 인덱스이다.
- [0081] 도 12a 내지 도 12d 및 도 13 모두의 실시예들에 적용가능한 몇몇 구현예들에서, 에러는 여러개의 선행 기판들에 걸쳐서 누적된다. 간단한 구현예에서, 등식 1 또는 등식 2 중 어느 하나의 계산에 사용되는 총 에러(err)는 $\text{err}=\text{k1}*\text{err1}+\text{k2}*\text{err2}$ 로서 계산되며, 여기서, k1과 k2는 상수들이며, err1은 직전의 기판으로부터 계산된 에러이고, err2는 선행 기판 전에 하나 또는 둘 이상의 기판들에 대해 계산된 에러이다.
- [0082] 몇몇 구현예들에서, 현재 기판에 대해 등식 1 또는 등식 2 중 어느 하나의 계산에 사용되는 적용된 에러(err)는 선행 기판의 스케일링된 에러와 선행 기판 전의 기판들로부터의 적용된 에러의 가중 평균의 조합으로서 계산된다. 이는 다음과 같은 등식들:
- [0083] 적용된 $\text{err}_{X+1} = \text{스케일링된 에러}_X + \text{총 에러}_{X-1}$,
- [0084] 스케일링된 에러_X = $\text{k1}*\text{err}_X$ 그리고
- [0085] 총 에러_{X-1} = $\text{k2}*(\text{a1}*\text{적용된 err}_{X-2} + \text{a2}*\text{적용된 err}_{X-3} + \dots + \text{aN}*\text{적용된 err}_{(X-(N+1))})$ 로 표현될 수 있고, 여기서, k1과 k2는 상수들이며, a1, a2, ..., aN은 가중 평균의 상수들, 즉, $a1+a2+\dots+aN=1$ 이다. 상수(k1)는 약 0.7일 수 있고, 상수(k2)는 1일 수 있다. err_x는 전술한 접근법들(approaches) 중 하나에 따라 선행 기판에 대해 계산된 에러이고, 예컨대, 도 12a 내지 도 12d의 구현예들에 대하여, $\text{err}_x=[(\text{SD}-\text{S}')/\text{SD}]$ 또는 $\text{err}_x=[(\text{S}'-\text{SD})/\text{SD}]$ 이거나, 도 13의 구현예에 대하여, $\text{err}_x=[(\text{IT}-\text{AI})/(\text{IT}-\text{SI})]$ 이다. 용어 "적용된 err_x"는 선행 기판에 대해 적용된 에러이고, 예컨대, 현재 기판이 기판(X+1)이라 가정하면, 적용된 err_{X-2}는 제 3 선행 기판에 대해 적용된 에러이며, 적용된 err_{X-3}는 제 4 선행 기판에 대해 적용된 에러 등이다. 등식 1 또는 등식 2 중 어느 하나에 있어서, err=적용된 err_{X+1}이다.
- [0086] 몇몇 구현예들에서, 예컨대, 구리 폴리싱에 있어서, 기판의 종점을 검출한 후, 예컨대, 구리 잔여물을 제거하기 위해, 기판은 즉시 오버폴리싱 프로세스를 거치게 된다. 오버폴리싱 프로세스는 기판의 모든 구역들에 대하여 균일한 압력에서, 예컨대, 1 내지 1.5psi에서 이루어질 수 있다. 오버폴리싱 프로세스는 예컨대, 10 내지 15초의 미리 설정된 지속기간을 가질 수 있다.
- [0087] 몇몇 구현예들에서, 기판들의 폴리싱은 동시에 중단되지 않는다. 그러한 구현예들에서, 종점 결정을 목적으로, 각각의 기판에 대한 기준 구역이 있을 수 있다. (예컨대, 시간(TO) 후 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된 선형 함수가 목표 인덱스에 도달하는 시간에 의해 계산된 바와 같이) 특정 기판의 기준 구역의 인덱스 트레이스가 목표 인덱스에 도달하면, 특정 기판에 대한 종점이 호출되고, 특정 기판의 모든 구역들에 대한 압력 인가가 동시에 중단된다. 그러나, 하나 또는 둘 이상의 다른 기판들의 폴리싱은 계속될 수 있다. 남아있는 모든 기판들의 종점이 호출된 이후(또는 모든 기판들에 대한 오버폴리싱이 완료된 이후)에만, 남아있는 기판들의 기준 구역들에 기초하여, 폴리싱 패드의 린싱이 시작된다. 또한, 모든 캐리어 헤드들이 폴리싱 패드로부터 기판들을 동시에 리프팅할 수 있다.
- [0088] 특정 구역과 기판에 대해 다수의 인덱스 트레이스들이 발생되는 경우에, 예컨대, 특정 구역과 기판에 대해 각각

의 라이브러리의 하나의 인덱스 트레이스가 관련되는 경우에, 특정 구역과 기관을 위한 종점 또는 압력 제어 알고리즘에서 사용하기 위해 인덱스 트레이스들 중 하나가 선택될 수 있다. 예컨대, 각각의 인덱스 트레이스는 동일한 구역과 기관에 대해 발생되며, 컨트롤러(190)는 선형 함수를 그 인덱스 트레이스의 인덱스 값들에 피팅 할 수 있으며, 인덱스 값들의 시퀀스에 대한 그 선형 함수의 적합도를 결정할 수 있다. 그 자신의 인덱스 값들과 최상의 적합도를 가진 라인을 구비하여 발생된 인덱스 트레이스가 특정 구역과 기관에 대한 인덱스 트레이스로서 선택될 수 있다. 예를 들면, 예컨대, 시간(T0)에서, 조절가능한 구역들의 폴리싱 레이트들을 어떻게 조절할 것인지를 결정할 때, 최상의 적합도를 가진 선형 함수가 계산에 사용될 수 있다. 다른 예로서, (인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된 선형 함수로부터 계산된 바와 같이) 최상의 적합도를 가진 라인의 계산된 인덱스가 목표 인덱스와 일치하거나 초과할 때, 종점이 호출될 수 있다. 또한, 선형 함수로부터 인덱스 값을 계산하는 대신, 종점을 결정하기 위해 인덱스 값들 자체가 목표 인덱스에 비교될 수 있다.

[0089]

스펙트럼들 라이브러리와 연관된 인덱스 트레이스가 라이브러리와 연관된 선형 함수에 대해 최상의 적합도를 갖는지를 결정하는 단계는, 예컨대, 최저의 표준 편차(lowest standard deviation), 최대의 상관관계(greatest correlation) 또는 다른 분산 측정치(measure of variance)와 같이, 연관된 로버스트 라인과 다른 라이브러리와 연관된 인덱스 트레이스로부터의 차이에 비해, 비교적, 연관된 스펙트럼들 라이브러리의 인덱스 트레이스가 연관된 로버스트 라인으로부터 최소량의 차이를 갖는지를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 하나의 구현예에서, 적합도는 인덱스 데이터 지점들과 선형 함수 사이의 차이들의 제곱의 합을 계산함으로써 결정되며, 차이들의 제곱의 최저 합을 가진 라이브러리가 최상의 피팅을 갖는다.

[0090]

도 14를 참조하면, 간략한 흐름도(600)가 도시되어 있다. 전술한 바와 같이, 하나 또는 둘 이상의 복수의 기관들의 복수의 구역들이 폴리싱 장치에서 동일한 폴리싱 패드로 동시에 폴리싱된다(단계 602). 이 폴리싱 작업 동안에, 각각의 기관의 각각의 구역은, 독립적으로 가변하는 폴리싱 파라미터에 의해, 예컨대, 특정 구역 위에서 캐리어 헤드의 챔버에 의해 인가되는 압력에 의해, 다른 기관들과 독립적으로 제어가능한 폴리싱 레이트를 갖는다. 폴리싱 작업 동안에, 기관들은 전술한 바와 같이, 예컨대, 각각의 기관의 각각의 구역으로부터 얻어진 측정된 스펙트럼으로 모니터링된다(단계 604). 최상의 매칭인 기준 스펙트럼이 결정된다(단계 606). 인덱스 값들의 시퀀스를 발생시키기 위해, 최상의 피팅인 각각의 기준 스펙트럼의 인덱스 값이 결정된다(단계 608). 각각의 기관의 각각의 구역에 대하여, 제 1 선형 함수가 인덱스 값들의 시퀀스에 피팅된다(단계 610). 하나의 구현예에서, 기준 구역에 대한 제 1 선형 함수가 목표 인덱스 값에 도달하게 되는 예상 종점 시간이, 예컨대, 선형 함수의 선형 보간법에 의해 결정된다(단계 612). 다른 구현예들에서, 예상 종점 시간은 다수의 구역들의 예상 종점 시간들의 조합으로서 미리 결정되거나 계산된다. 필요하다면, 그 기관의 폴리싱 레이트를 조절하기 위해 다른 기관들의 다른 구역들에 대한 폴리싱 파라미터들이 조절되며, 이에 따라, 복수의 기관들의 복수의 구역들이 거의 동일한 시간에 목표 두께에 도달하거나 복수의 기관들의 복수의 구역들이 목표 시간에 거의 동일한 두께(또는 목표 두께)를 갖는다(단계 614). 폴리싱 파라미터를 조절하는 단계는 선행 기관으로부터 발생된 에러 값을 사용하는 단계를 포함할 수 있다. 파라미터들이 조절된 후 폴리싱은 계속되며, 각각의 기관의 각각의 구역에 대하여, 스펙트럼을 측정하고, 라이브러리로부터 최상의 매칭 기준 스펙트럼을 결정하며, 폴리싱 파라미터가 조절된 후의 시간 기간동안 인덱스 값들의 새로운 시퀀스를 발생시키기 위해 최상의 매칭 스펙트럼에 대한 인덱스 값을 결정하며, 제 2 선형 함수를 인덱스 값들의 새로운 시퀀스에 피팅한다(단계 616). 일단 기준 구역에 대한 인덱스 값(예컨대, 제 1 또는 제 2 선형 함수로부터 발생된 계산된 인덱스 값)이 목표 인덱스에 도달하면 폴리싱이 중단될 수 있다(단계 630). 각각의 조절가능한 구역에 있어서, (즉, 파라미터들이 조절된 후) 그 구역의 인덱스 값들의 새로운 시퀀스에 피팅되는 제 2 선형 함수의 기울기가 결정된다(단계 640). 각각의 조절 가능한 구역에 있어서, 그 구역에 대해 (원하는 기울기에 의해 주어진 바와 같은) 원하는 폴리싱 레이트와 (제 2 선형 함수의 기울기에 의해 주어진 바와 같은) 실제 폴리싱 레이트 간의 차이에 기초하여 에러 값이 계산된다(단계 642). 폴리싱 패드에 하나 이상의 새로운 기관이 로딩되고, 프로세스가 반복되며 단계 642에서 계산된 에러 값을 사용하여 단계 614에서 폴리싱 파라미터들에 대한 조정이 이루어진다.

[0091]

전술한 기술들은 와전류 시스템을 사용한 금속 층들의 모니터링에 응용가능할 수도 있다. 이 경우, 스펙트럼들의 매칭을 실시하는 것 대신, 층 두께(또는 그 대표값)가 와전류 모니터링 시스템에 의해 직접 측정되고, 층 두께가 계산을 위해 인덱스 값 대신 사용된다.

[0092]

종점을 조절하기 위해 사용되는 방법은 실시되는 폴리싱의 유형에 따라 상이할 수 있다. 구리 벌크 폴리싱에 있어서, 단일의 와전류 모니터링 시스템이 사용될 수 있다. 단일의 플래튼 상에 다수의 웨이퍼들을 구비한 구리 제거 CMP에 있어서, 모든 기관들이 동일한 시간에 제 1 돌파구(breakthrough)에 도달하도록, 단일의 와전류 모니터링 시스템이 먼저 사용될 수 있다. 그 다음, 와전류 모니터링 시스템은, 웨이퍼들을 세정하고 오버폴리

성하기 위해 레이저 모니터링 시스템으로 전환될 수 있다. 단일의 플래튼 상에 다수의 웨이퍼들을 구비한 유전체 CMP 및 배리어에 있어서, 광 모니터링 시스템이 사용될 수 있다.

[0093] 본 발명의 실시예들 및 본 명세서에 설명되는 모든 기능적 동작들은 디지털 전자 회로에서, 또는 본 명세서에 개시된 구조적 수단 및 이들의 구조적 등가물들, 또는 이들의 조합들을 포함하는, 컴퓨터 소프트웨어, 펌웨어, 또는 하드웨어에서 구현될 수 있다. 본 발명의 실시예들은, 예를 들어, 프로그래밍 가능한 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 프로세서들 또는 컴퓨터들과 같은 데이터 프로세싱 장치에 의한 실행을 위해 또는 이러한 데이터 프로세싱 장치의 동작을 제어하기 위하여, 하나 또는 둘 이상의 컴퓨터 프로그램 제품들, 즉, 기계로 판독 가능한 저장 매체에 유형적으로 구현되는 하나 또는 둘 이상의 컴퓨터 프로그램들로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 프로그램(또한 프로그램, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션, 또는 코드로서 알려짐)은 컴파일링되거나 번역된 언어들을 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 기록될 수 있으며, 이는 독립형 프로그램으로서 또는 모듈, 컴퓨터, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서 사용하기에 적합한 다른 유닛을 포함하는 임의의 형태로 개발될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 파일에 반드시 대응할 필요는 없다. 프로그램은 다른 프로그램들 또는 데이터를 홀딩하는 파일의 일부분에, 논의가 되는 프로그램에 전용되는 단일 파일에, 또는 다수의 조정된 파일들(예를 들어, 하나 이상의 모듈들, 서브-프로그램들, 또는 코드의 부분들을 저장하는 파일들)에 저장될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨터상에서 또는 하나의 사이트에서의 또는 다수의 사이트들에 걸쳐 분배되고 통신 네트워크에 의하여 상호접속되는 다수의 컴퓨터들 상에서 실행되도록 개발될 수 있다.

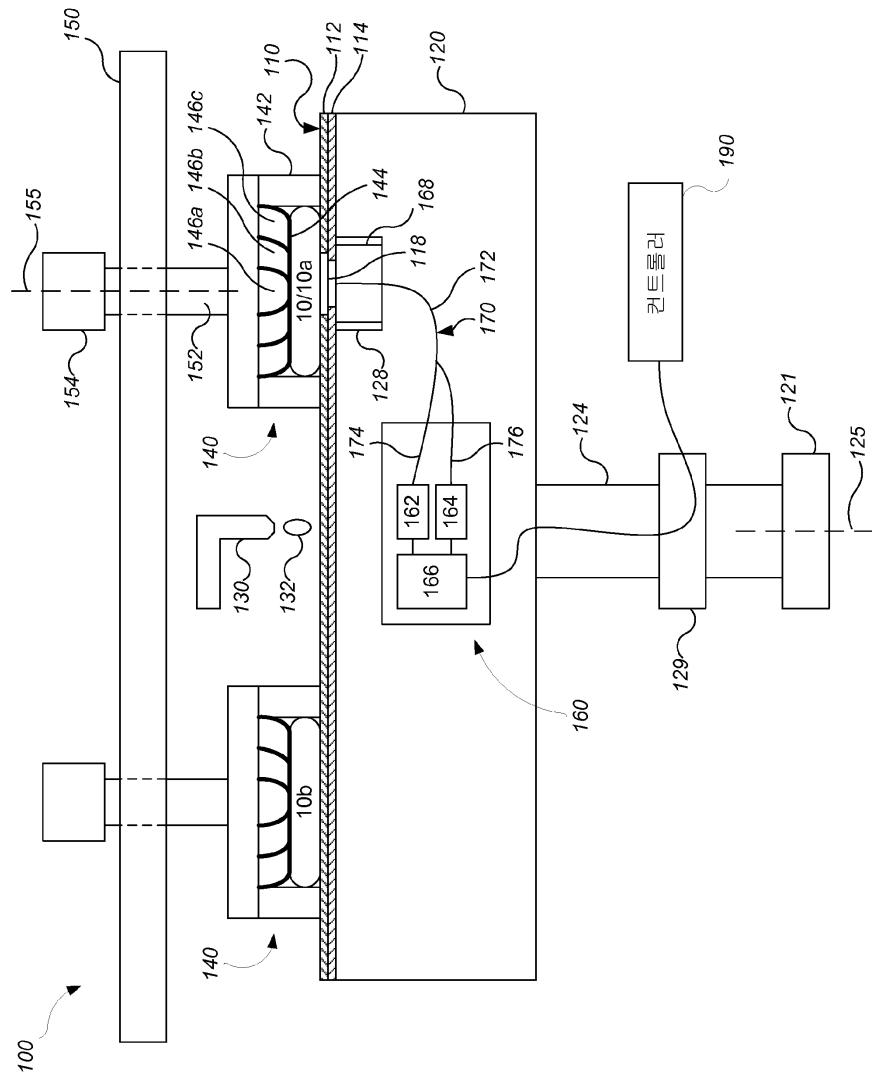
[0094] 본 명세서에 설명되는 프로세스들 및 로직 플로우들은 입력 데이터에 따라 작동하고 출력을 생성함으로써 기능들을 수행하도록 하나 또는 둘 이상의 컴퓨터 프로그램들을 실행시키는 하나 또는 둘 이상의 프로그래밍 가능한 프로세서들에 의해 수행될 수 있다. 프로세스들 및 로직 플로우들은 특수 목적 로직 회로, 예를 들어, FPGA(field programmable gate array) 또는 ASIC(application-specific integrated circuit)에 의하여 수행될 수 있으며, 장치는 또한 이로서 구현될 수 있다.

[0095] 전술한 폴리싱 장치 및 방법들은 다양한 폴리싱 시스템들에 적용될 수 있다. 폴리싱 패드 또는 캐리어 헤드 중 하나 또는 둘 모두가 폴리싱 표면과 기판 사이에 상대 운동을 제공하기 위하여 이동할 수 있다. 예를 들어, 플래튼은 회전하지 않고 궤도 운동을 할 수 있다. 폴리싱 패드는 플래튼에 고정되는 원형(또는 몇몇 다른 형태)의 패드일 수 있다. 종점 검출 시스템의 몇몇 양태들은, 예컨대, 폴리싱 패드가 연속적이거나 선형적으로 운동하는 릴-투-릴(reel-to-reel) 벨트인 선형 폴리싱 시스템들에 적용 가능할 수 있다. 폴리싱 충은 표준(예를 들어, 필러들을 갖거나 갖지 않는 폴리우레탄) 폴리싱 물질, 소프트 물질, 또는 고정된 연마 물질일 수 있다. 상대적인 위치결정 용어들이 사용된다; 폴리싱 표면 및 기판은 수직 배향 또는 몇몇 다른 배향으로 유지될 수 있다는 것을 이해해야 한다.

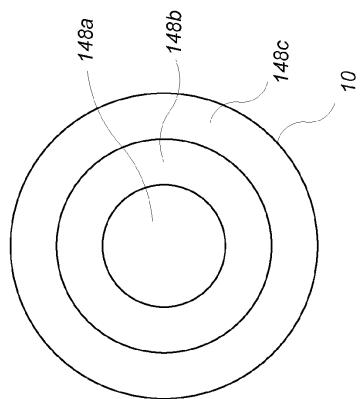
[0096] 본 발명의 특정 실시예들이 설명되었다. 다른 실시예들은 하기의 청구항들의 범위 내에 속한다.

도면

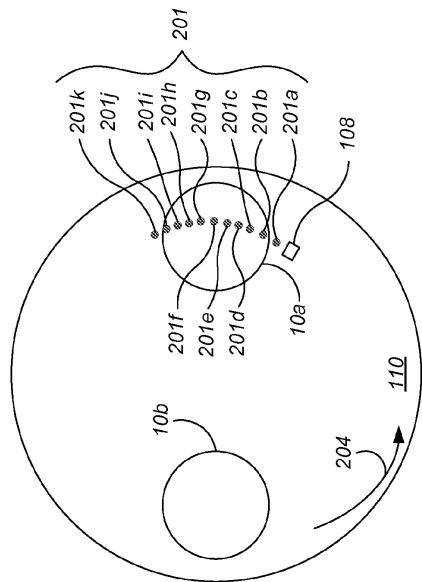
도면1



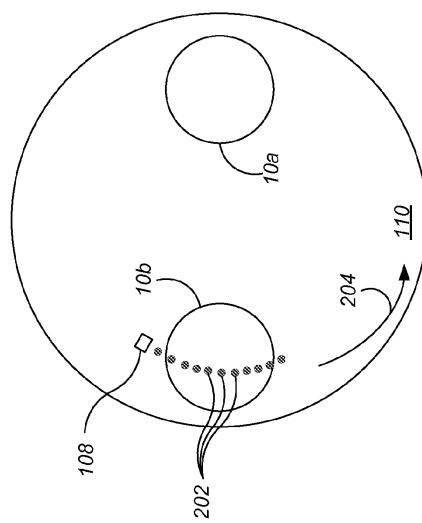
도면2



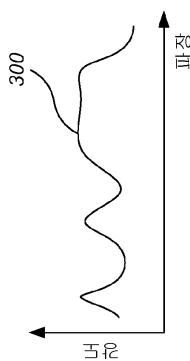
도면3a



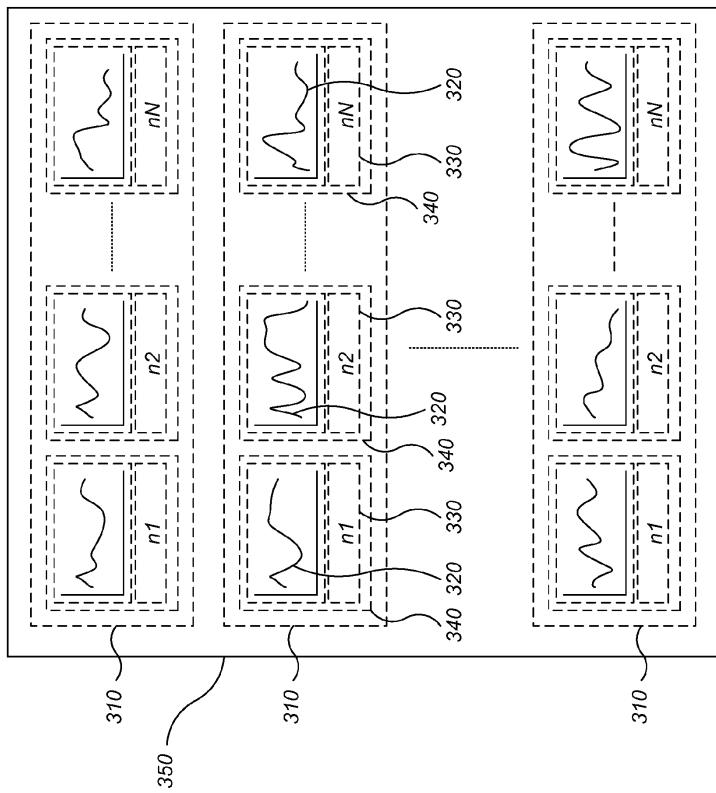
도면3b



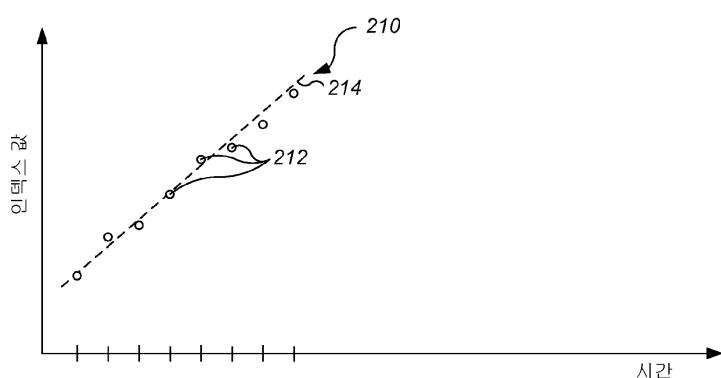
도면4



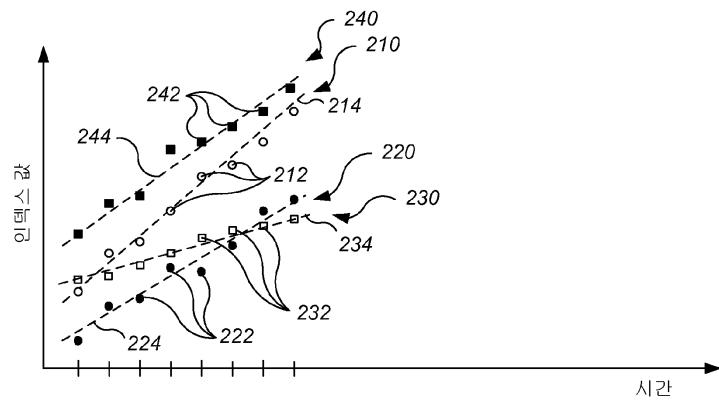
도면5



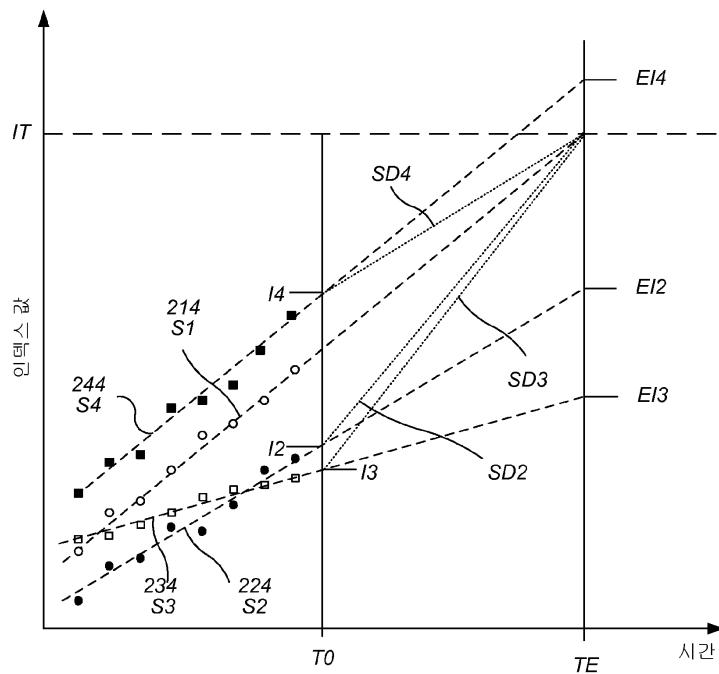
도면6



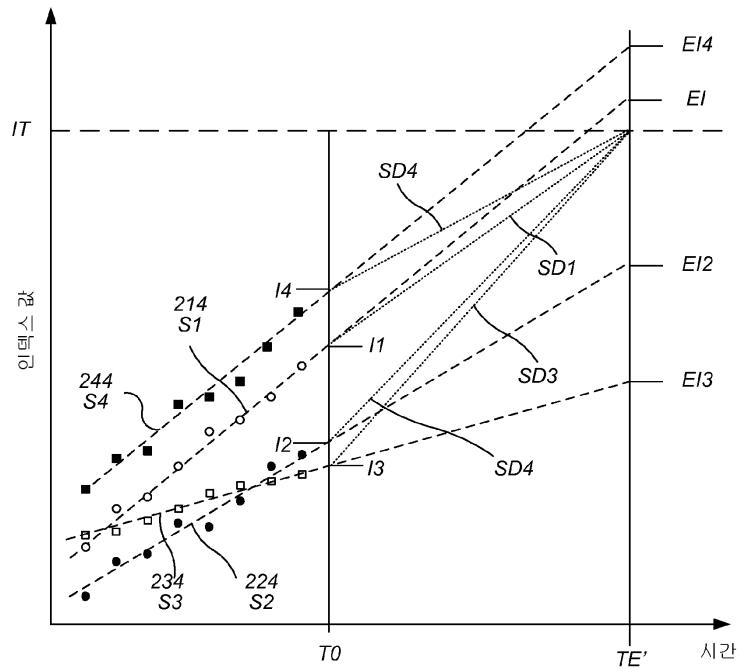
도면7



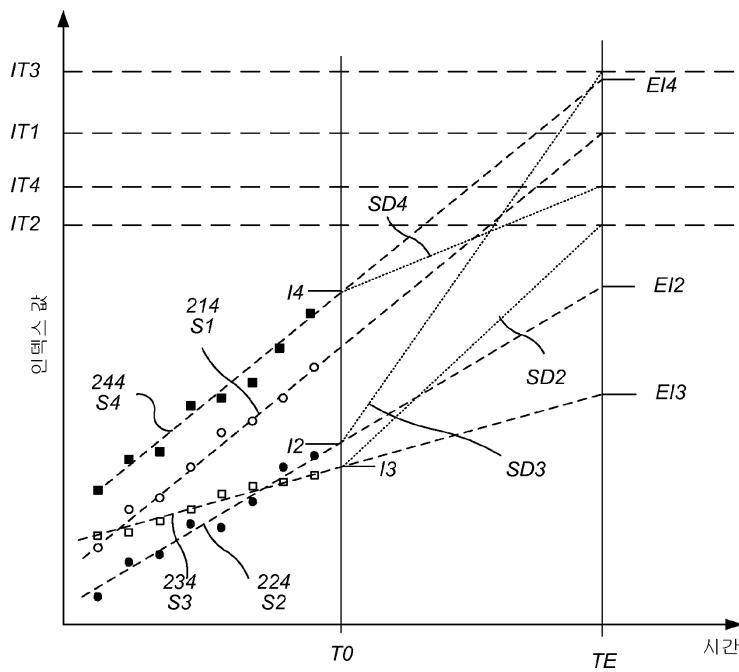
도면8



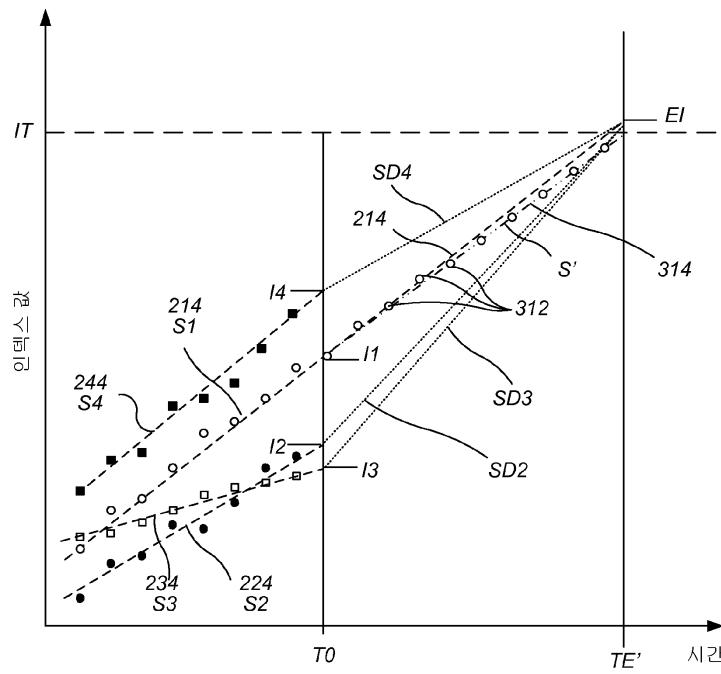
도면9



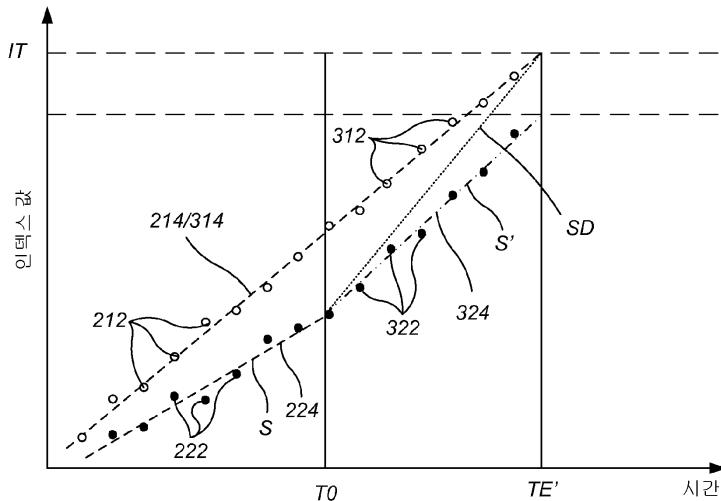
도면10



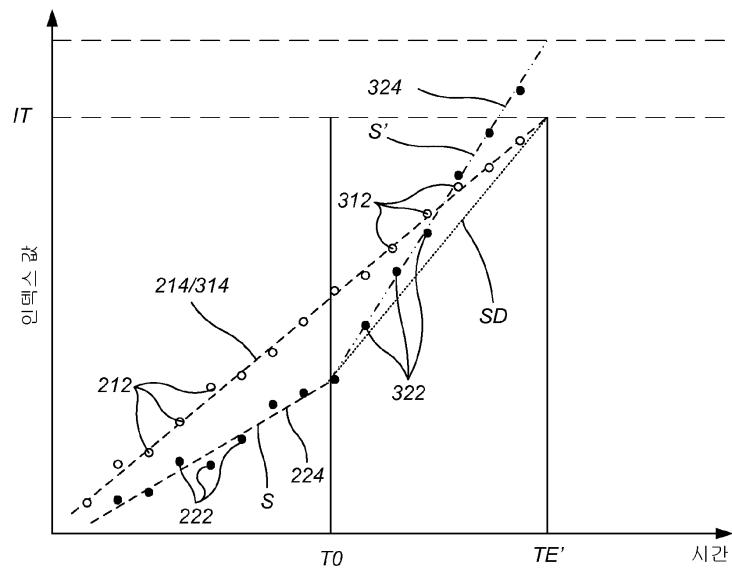
도면11



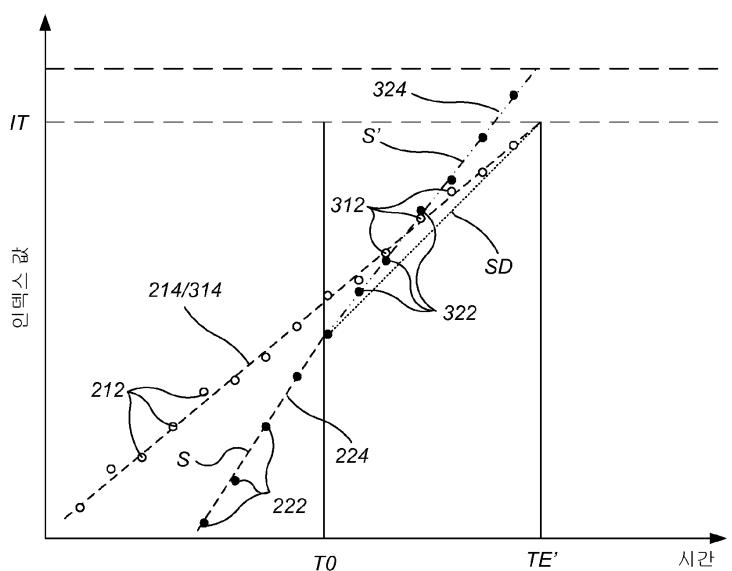
도면12a



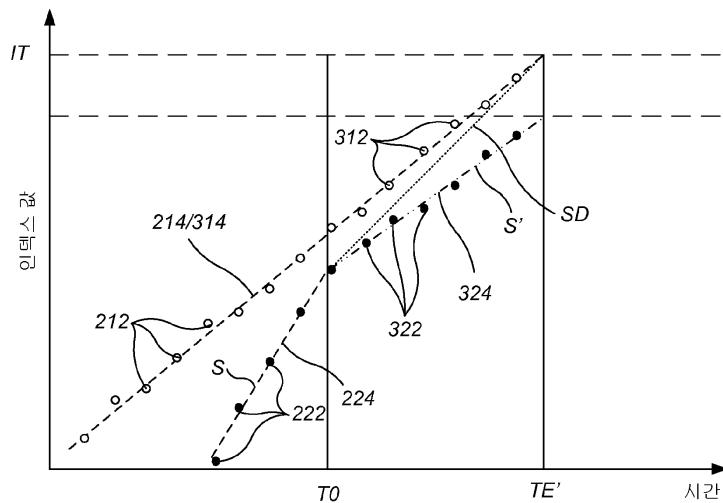
도면 12b



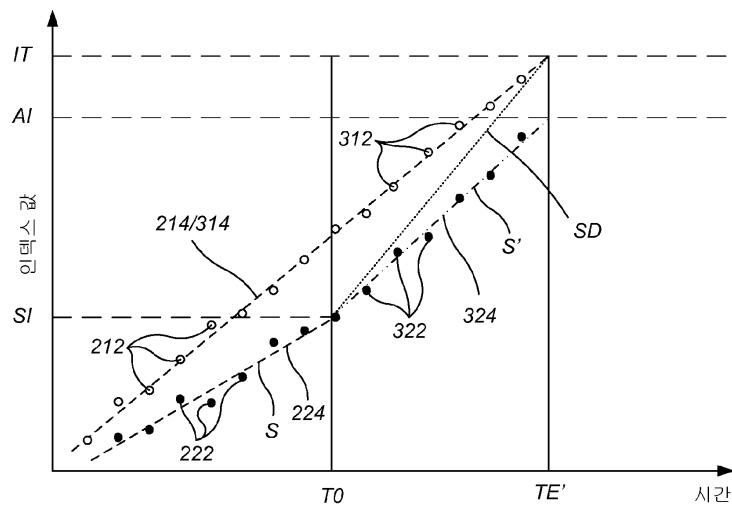
도면 12c



도면12d



도면13



도면14

