



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년12월13일
(11) 등록번호 10-1929072
(24) 등록일자 2018년12월07일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01) *H01L 21/304* (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2013-7030560
- (22) 출원일자(국제) 2012년04월17일
심사청구일자 2017년04월07일
- (85) 번역문제출일자 2013년11월18일
- (65) 공개번호 10-2014-0025471
- (43) 공개일자 2014년03월04일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2012/033969
- (87) 국제공개번호 WO 2012/145336
국제공개일자 2012년10월26일
- (30) 우선권주장
13/090,972 2011년04월20일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2006186131 A*
JP2007220842 A*
KR1020080042895 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 임코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050
- (72) 발명자
데이비드, 제프리 드루
미국 95125 캘리포니아주 산 호세 마르케스 애비뉴 2208
벤베뉴, 도미니크 제이.
미국 94020 캘리포니아주 라 혼다 비버리 드라이브 241
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
양영준, 백만기

전체 청구항 수 : 총 14 항

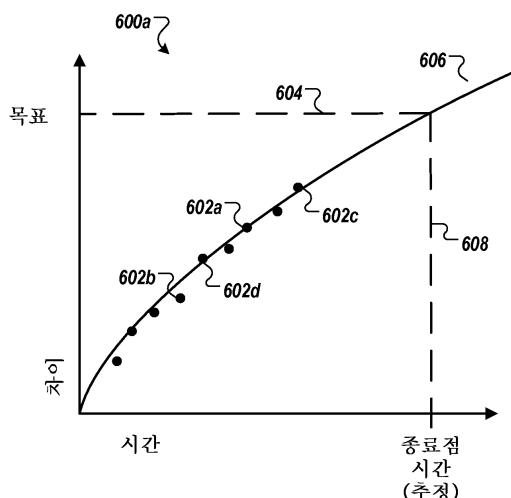
심사관 : 홍종선

(54) 발명의 명칭 종료점 검출을 위한 스펙트럼 피쳐의 적응적 추적

(57) 요약

폴리싱을 제어하는 방법은 기판을 폴리싱하는 단계; 폴리싱 동안 인-시튜 모니터링 시스템으로 기판을 모니터링 하는 단계; 인-시튜 모니터링 시스템으로부터의 측정들로부터 값들의 시퀀스를 생성하는 단계; 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅하는 단계; 비선형 함수가 목표 값에 도달하는 예상 시간을 결정하는 단계; 및 예상 시간에 기초하여 폴리싱 레이트에 대한 조절 또는 폴리싱 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도6a



(72) 발명자

스웨데크, 보구슬로우 에이.

미국 95014 캘리포니아주 쿠퍼티노 에이 엘 프라도
웨이 10315

리, 해리 큐.

미국 94024 캘리포니아주 로스 앤토스 벤 로 드라
이브 1501

명세서

청구범위

청구항 1

폴리싱을 제어하는 방법으로서,

기판을 폴리싱하는 단계;

폴리싱 동안 인-시튜 모니터링 시스템(in-situ monitoring system)으로 상기 기판을 모니터링하는 단계;

상기 인-시튜 모니터링 시스템으로부터의 측정들로부터 값들의 시퀀스를 생성하는 단계 - 잡음을 제외하고, 상기 값들의 시퀀스는 폴리싱 시간 동안 선형으로 변화함 -;

상기 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅(fitting)하는 단계 - 상기 비선형 함수는 상기 폴리싱 시간에 걸쳐 단조성(monotonic)임 -;

상기 비선형 함수가 목표 값에 도달하는 예상 시간(projected time)을 결정하는 단계; 및

상기 예상 시간에 기초하여 폴리싱 레이트에 대한 조절 또는 폴리싱 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 비선형 함수는 2차 또는 더 고차의 다항식 함수를 포함하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 비선형 함수는 2차 다항식 함수로 이루어지는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅하는 단계는 사비츠키-고레이(Savitzky-Golay) 방법을 포함하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 인-시튜 모니터링 시스템은 분광 사진 모니터링 시스템(spectrographic monitoring system)을 포함하고, 상기 방법은, 폴리싱 동안 상기 분광 사진 모니터링 시스템으로 상기 기판으로부터의 광의 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 복수의 기준 스펙트럼을 갖는 라이브러리로부터 가장 부합하는 기준 스펙트럼(best matching reference spectrum)을 찾아내는 단계를 더 포함하고,

상기 값들의 시퀀스를 생성하는 단계는, 각각의 가장 부합하는 기준 스펙트럼에 대하여, 상기 가장 부합하는 기준 스펙트럼에 연관된 값을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 상기 측정된 스펙트럼의 피크 또는 밸리의 위치 또는 폭을 찾아내어, 위치 또는 폭 값들의 시퀀스를 생성하는 단계를 더 포함하고,

상기 값들의 시퀀스는 상기 위치 또는 폭 값들의 시퀀스로부터 생성되는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 인-시튜 모니터링 시스템은 와전류 모니터링 시스템을 포함하고, 상기 방법은, 상기 와전류 모니터링 시스템으로 상기 값들의 시퀀스를 생성하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 비선형 함수가 목표 값과 일치하거나 목표 값을 초과할 때, 상기 폴리싱을 중지하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 기판을 폴리싱하는 단계는 폴리실리콘 또는 유전체 재료를 포함하는 층을 폴리싱하는 단계를 포함하고, 상기 기판을 모니터링하는 단계는 상기 층을 모니터링하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 층은 순수한 폴리실리콘으로 이루어지는 방법.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 층은 유전체 재료로 이루어지는 방법.

청구항 13

제10항에 있어서, 상기 층은 폴리실리콘과 유전체 재료의 조합인 방법.

청구항 14

폴리싱을 제어하는 방법으로서,

기판을 폴리싱하는 단계;

폴리싱 동안 상기 기판으로부터의 광의 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하는 단계;

값들의 시퀀스를 생성하는 단계 - 상기 값들의 시퀀스를 생성하는 단계는, 상기 스펙트럼들의 시퀀스 중의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 스펙트럼 피처의 피크 또는 밸리의 파장 또는 폭을 결정하는 것을 포함하고, 상기 값들의 시퀀스는 잡음을 제외하고 폴리싱 시간 동안 선형으로 변화함 -;

상기 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅하는 단계 - 상기 비선형 함수는 상기 폴리싱 시간에 걸쳐 단조성(monotonic)임 -;

상기 비선형 함수가 목표 값에 도달하는 예상 시간을 결정하는 단계; 및

상기 예상 시간에 기초하여 폴리싱 레이트에 대한 조절 또는 폴리싱 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계

를 포함하는 방법.

발명의 설명**기술 분야**

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

배경 기술

[0002] 집적 회로는 통상적으로 실리콘 웨이퍼 상에 도전체, 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 평坦화하는 것을 포함한다. 특정 응용들에 있어서, 필러층은 패터닝된 층의 최상부면이 노출될 때까지 평탄화된다. 예를 들어, 도전성 필러층이 패터닝된 절연체 층 상에 퇴적되어, 절연체 층 내의 트렌치 또는 홀을 채울 수 있다. 평탄화 후에, 절연체 층의 용기된 패턴 사이에 남아있는 도전층의 부분들은, 기판 상의 박막 회로들 사이의 도전성 경로를 제공하는 비아, 플러그 및 라인을 형성한다. 산화물 폴리

성과 같은 다른 응용에 있어서, 필러층은 비-평면 표면 위에 미리 결정된 두께가 남을 때까지 평탄화된다. 추가로, 통상적으로 포토리소그래피를 위해 기판 표면의 평탄화가 요구된다.

[0003] 화학적 기계적 연마(chemical mechanical polishing, CMP)는 일반적으로 인정되는 평탄화 방법 중 하나이다. 이 평탄화 방법은 통상적으로 기판이 캐리어 또는 폴리싱 헤드 상에 탑재될 것을 요구한다. 기판의 노출된 표면은 통상적으로 회전 폴리싱 패드에 맞닿아 놓인다(placed against a rotating polishing pad). 캐리어 헤드는 기판 상에 제어 가능한 로드를 제공하여, 기판을 폴리싱 패드 쪽으로 민다(push the substrate against the polishing pad). 통상적으로는, 연마 폴리싱 슬러리(abrasive polishing slurry)가 폴리싱 패드의 표면에 공급된다.

[0004] CMP에 있어서의 한가지 문제점은 폴리싱 프로세스가 완료되었는지의 여부, 즉 기판 층이 원하는 평탄도(flatness) 또는 두께까지 평탄화되었는지의 여부, 또는 원하는 양의 재료가 제거된 때를 판정하는 것이다. 슬러리 분포에서의 편차, 폴리싱 패드 상태, 폴리싱 패드와 기판 간의 상대 속도, 및 기판 상의 로드는 재료 제거율에 편차를 유발할 수 있다. 이러한 편차와, 기판 층의 초기 두께에서의 편차는 폴리싱 종료점(polishing endpoint)에 도달하는 데에 필요한 시간의 편차를 야기한다. 그러므로, 폴리싱 종료점은 단지 폴리싱 시간에 대한 함수로서만 결정될 수 없다.

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

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 일부 모니터링 프로세스들에서, 예를 들어 폴리싱 프로세스 동안 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 생성된 값들의 시퀀스에 선형 함수가 피팅(fitting)된다. 예를 들어, 스펙트럼들의 시퀀스가 인-시튜 측정될 수 있고, 시퀀스의 각각의 스펙트럼에 대해 특성화 값(characterizing value)이 생성될 수 있다. 불행히도, 폴리싱이 진행함에 따라 폴리싱 레이트가 점진적으로 변화하고 있는 경우, 선형 함수는 원하는 폴리싱 종료점을 정확하게 예측하지 못할 수 있다. 뿐만 아니라, 폴리싱 레이트가 안정적이더라도, 값들의 시퀀스는 선형이 아닐 수 있다. 하나의 접근 방식은 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅하는 것이다. 비선형 함수를 목표 값에 투영하면, 기판이 원하는 폴리싱 종료점에 도달할 시간의 계산이 더 정확해질 수 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 일 양태에서, 폴리싱을 제어하는 방법은 기판을 폴리싱하는 단계, 폴리싱 동안 인-시튜 모니터링 시스템으로 기판을 모니터링하는 단계, 인-시튜 모니터링 시스템으로부터의 측정들로부터 값들의 시퀀스를 생성하는 단계, 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅하는 단계, 비선형 함수가 목표 값에 도달하는 예상 시간(projected time)을 결정하는 단계, 및 예상 시간에 기초하여 폴리싱 레이트에 대한 조절 또는 폴리싱 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함한다.

[0008] 구현들은 이하의 특징들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 비선형 함수는 2차 또는 더 고차의 다항식 함수를 포함할 수 있는데, 예를 들어 비선형 함수는 2차 다항식 함수일 수 있다. 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅하는 단계는 사비츠키-고레이(Savitzky-Golay) 방법을 포함할 수 있다. 인-시튜 모니터링 시스템은 분광 사진 모니터링 시스템(spectrographic monitoring system)을 포함할 수 있고, 폴리싱 동안 분광 사진 모니터링 시스템으로 기판으로부터의 광의 스펙트럼들의 시퀀스가 측정될 수 있다. 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 복수의 기준 스펙트럼을 갖는 라이브러리로부터 가장 부합하는 기준 스펙트럼(best matching reference spectrum)을 찾아낼 수 있고, 값들의 시퀀스를 생성하는 단계는, 각각의 가장 부합하는 기준 스펙트럼에 대하여, 그 가장 부합하는 기준 스펙트럼에 연관된 값을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 값들의 시퀀스는 두께 값들의 시퀀스일 수 있다. 스펙트럼들의 시퀀스로부터의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 그 측정된 스펙트럼의 피크(peak) 또는 밸리(valley)의 위치 또는 폭을 찾아내어 위치 또는 폭 값들의 시퀀스를 생성할 수 있고, 그 위치 또는 폭 값들의 시퀀스로부터 값들의 시퀀스를 생성할 수 있다. 값들의 시퀀스는 피크 또는 밸리의 위치들의 좌표 값들의 시퀀스일 수 있다. 기판을 폴리싱하는 단계는 유전체 및/또는 반도체 층을 폴리싱하는 단계를 포함할 수 있다. 인-시튜 모니터링 시스템은 와전류 모니터링 시스템(eddy current monitoring system)을 포함할 수 있고, 와전류 모니터링 시스템으로 값들의 시퀀스가 생성될 수 있다. 기판을

폴리싱하는 단계는 금속 층을 폴리싱하는 단계를 포함할 수 있다. 비선형 함수가 목표 값과 일치하거나 그것을 초과할 때 폴리싱이 중지될 수 있다. 기판은 복수의 구역을 포함할 수 있고, 각각의 구역의 폴리싱 레이트는 독립적으로 변경가능한 폴리싱 파라미터에 의해 독립적으로 제어가능할 수 있다. 각각의 구역에 대하여, 폴리싱 동안 인-시튜 모니터링 시스템으로부터, 측정들로부터의 값들의 시퀀스가 생성될 수 있다. 폴리싱 동안 각각의 구역으로부터 스펙트럼들의 시퀀스가 측정될 수 있다. 각각의 구역마다, 스펙트럼들의 시퀀스 중의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여 스펙트럼 피쳐(spectral feature)의 피크 또는 밸리의 파장 또는 폭을 결정하는 것을 포함하여, 값들의 시퀀스가 생성될 수 있다. 각각의 구역에 대한 값들의 시퀀스에 기초하여, 적어도 하나의 구역에 대한 폴리싱 파라미터를 조절하여 복수의 구역이 그러한 조절이 없는 경우보다 폴리싱 종료점에서 더 작은 두께 차이를 갖도록 적어도 하나의 구역의 폴리싱 레이트를 조절할 수 있다.

[0009] 기판을 폴리싱하는 단계는 폴리실리콘 및/또는 유전체 재료를 포함하는 층을 폴리싱하는 단계를 포함할 수 있고, 기판을 모니터링하는 단계는 그 층을 모니터링하는 단계를 포함할 수 있다. 층은 실질적으로 순수한 폴리실리콘으로 이루어질 수 있다. 층은 유전체 재료로 이루어질 수 있다. 층은 폴리실리콘 및 유전체 재료의 조합일 수 있다.

[0010] 다른 양태에서, 폴리싱을 제어하는 방법은 기판을 폴리싱하는 단계, 폴리싱 동안 기판으로부터의 광의 스펙트럼들의 시퀀스를 측정하는 단계, 스펙트럼들의 시퀀스 중의 각각의 측정된 스펙트럼에 대하여, 스펙트럼 피쳐의 피크 또는 밸리의 파장 또는 폭을 결정하는 것을 포함하여, 값들의 시퀀스를 생성하는 단계, 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅하는 단계, 비선형 함수가 목표 값에 도달하는 예상 시간을 결정하는 단계, 및 예상 시간에 기초하여 폴리싱 레이트에 대한 조절 또는 폴리싱 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함한다.

[0011] 다른 양태에서, 머신 관독가능한 저장 장치 내에 유형으로(tangibly) 구현되는 비일시적(non-transitory) 컴퓨터 프로그램 제품이 상기 방법을 수행하기 위한 명령어들을 포함한다.

발명의 효과

[0012] 구현들은 이하의 이점들 중 하나 이상을 선택적으로 포함할 수 있다. 기판이 원하는 폴리싱 종료점에 도달할 시간이 더 정확하게 계산될 수 있다. 원하는 폴리싱 종료점을 검출하는 종료점 시스템의 신뢰성이 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.

[0013] 하나 이상의 구현의 상세가 이하의 첨부 도면 및 설명에 제시된다. 다른 양태, 특징 및 이점은 설명 및 도면으로부터, 그리고 청구항들로부터 더 분명해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 화학적 기계적 연마 장치를 도시한다.

도 2는 폴리싱 패드의 부감도(overhead view)이며, 인-시튜 측정이 취해지는 위치들을 보여준다.

도 3a는 인-시튜 측정들로부터 획득된 스펙트럼을 보여준다.

도 3b는 폴리싱이 진행함에 따라 인-시튜 측정들로부터 획득되는 스펙트럼들의 전개(evolution)를 도시한다.

도 4의 (a)는 기판으로부터 반사된 광의 스펙트럼의 예시적인 그래프를 보여준다.

도 4의 (b)는 고역 통과 필터를 통과한 도 4의 (a)의 그래프를 보여준다.

도 5의 (a)는 기판으로부터 반사된 광의 스펙트럼을 보여준다.

도 5의 (b)는 기판으로부터 반사된 광의 인-시튜 측정들로부터 획득되는 스펙트럼들의 등고선도(contour plot)를 보여준다.

도 6a는 시간에 대한 특성 차이로 측정된, 폴리싱 진행의 예시적인 그래프를 보여준다.

도 6b는 시간에 대한 특성 차이로 측정된, 폴리싱 진행의 예시적인 그래프를 보여주는데, 여기서는 기판의 폴리싱 레이트를 조절하기 위해 2개의 상이한 피쳐의 특성들이 측정된다.

도 7a는 인-시튜 측정들로부터 획득된 광의 다른 스펙트럼을 보여준다.

도 7b는 도 7a의 스펙트럼 이후에 획득된 광의 스펙트럼을 보여준다.

도 7c는 도 7a의 스펙트럼 이후에 획득된 광의 다른 스펙트럼을 보여준다.

도 8은 모니터링할 피크를 선택하기 위한 방법을 보여준다.

도 9는 선택된 피크를 위한 목표 파라미터들을 획득하기 위한 방법을 보여준다.

도 10은 종료점 결정을 위한 방법을 보여준다.

도 11은 종료점 검출을 위한 설정의 방법을 보여준다.

도 12는 종료점 결정을 위한 다른 방법을 보여준다.

도 13은 폴리싱 동안의 시간의 함수로서 총 반사 강도의 그래프를 도시한다.

도 14는 폴리싱 동안의 시간의 함수로서 스펙트럼 피크의 파장 위치의 그래프를 도시한다.

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

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 다양한 인-시튜 모니터링 기법이 기판 상의 층의 두께에 의존하는 값들의 시퀀스를 생성할 수 있다. 예를 들어, 하나의 광학 모니터링 기법은 폴리싱 동안 기판으로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 측정하고, 라이브러리로부터 부합하는 기준 스펙트럼들(matching reference spectra)을 식별하는 것이다. 기준 스펙트럼들에 연관된 두께 값들이 값들의 시퀀스를 제공한다. 또 하나의 광학 모니터링 기법은 폴리싱 동안 기판으로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 측정하고, 스펙트럼 피쳐의 특성, 예를 들어 피크 또는 밸리의 파장 또는 폭을 추적하는 것이다. 측정된 스펙트럼들로부터의 파장 또는 폭 값들이 값들의 시퀀스를 제공한다. 다른 예로서, 와전류 모니터링 시스템이 값들의 시퀀스를 생성할 수 있다.

[0016] 위에서 언급된 바와 같이, 폴리싱이 진행함에 따라 폴리싱 레이트가 점진적으로 변화하고 있는 경우, 선형 함수는 원하는 폴리싱 종료점을 정확하게 예측하지 못할 수 있다. 뿐만 아니라, 폴리싱 레이트가 안정적이더라도, 값들의 시퀀스는 선형이 아닐 수 있다. 대신에, 비선형 함수, 예를 들어 2차 다항식이 값들의 시퀀스에 피팅된다. 비선형 함수가 목표 값에 도달하거나 목표량만큼 변경되는 예상 시간에, 종료점이 선언될 수 있다.

[0017] 기판은 반도체 층 상에 퇴적된 단일 유전체 층처럼 단순할 수 있거나, 현저히 더 복잡한 층 스택을 가질 수 있다. 예를 들어, 기판은 제1 층, 및 제1 층 위에 퇴적된 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 조성의 배리어 층일 수 있다. 예를 들어, 배리어 층은 금속 또는 금속 질화물, 예컨대 탄탈 질화물 또는 티탄 질화물일 수 있다. 선택적으로, 제1 층과 제2 층 사이에는 하나 이상의 추가 층, 예컨대 로우 k 캡핑 재료(low-k capping material), 예컨대 TEOS(tetraethyl orthosilicate)로 형성된 재료가 퇴적된다. 제1 층 및 제2 층 둘 다가 적어도 반투명하다. 제1 층 및 (존재한다면) 하나 이상의 추가 층은 함께 제2 층 아래의 층 스택을 제공한다. 그러나, 일부 구현들에서는, 예컨대 폴리실리콘 및/또는 유전체, 예컨대 로우 k, 울트라 로우 k(ultra low-k, ULK) 또는 극단적 로우 k(extremely low-k, ELK) 재료를 함유하는 단일 층만이 폴리싱된다(비록 폴리싱되는 층 아래에 추가의 층들이 있을 수도 있지만).

[0018] 제2 층이 노출될 때까지 기판을 평탄화하기 위해 화학적 기계적 연마가 이용될 수 있다. 예를 들어, 불투명한 도전체 재료가 존재하는 경우, 그것은 제2 층, 예를 들어 배리어 층이 노출될 때까지 폴리싱될 수 있다. 다음으로, 제1 층 위에 남아있는 제2 층의 부분이 제거되고, 기판은 제1 층, 예를 들어 유전체 층이 노출될 때까지 폴리싱된다. 추가로, 때로는 목표 두께가 남을 때까지, 또는 목표량의 재료가 제거될 때까지 제1 층, 예를 들어 유전체 층을 폴리싱하는 것이 요구된다.

[0019] 하나님의 폴리싱 방법은 적어도 제2 층, 예를 들어 배리어 층이 노출될 때까지 제1 폴리싱 패드 상의 도전층을 폴리싱하는 것이다. 그에 더하여, 예를 들어 제1 폴리싱 패드에서의 오버폴리싱 단계(overpolishing step) 동안, 제2 층의 일부가 제거될 수 있다. 다음으로, 기판은 제2 폴리싱 패드로 이송되고, 거기에서 제2 층, 예를 들어 배리어 층이 완전히 제거되며, 아래에 있는 제1 층, 예를 들어 로우 k 유전체의 일부 또한 제거된다. 뿐만 아니라, 제1 층과 제2 층 사이에 추가의 층 또는 층들이 존재한다면, 그것은 제2 폴리싱 패드에서의 동일 폴리싱 동작에서 제거될 수 있다.

[0020] 그러나, 기판이 제2 폴리싱 패드로 이송될 때, 제2 층의 초기 두께가 알려져 있지 않을 수 있다. 위에서 언급

된 바와 같이, 이것은 목표 두께에서 종료점을 결정하기 위해 스펙트럼 측정들에서의 선택된 스펙트럼 피쳐 특성을 추적하는 광학적 종료점 검출 기법에서 문제를 야기할 수 있다. 그러나, 제2 층의 제거 및 아래의 제1 층 또는 층 구조물의 노출을 신뢰할 수 있게 검출할 수 있는 다른 모니터링 기법에 의해 스펙트럼 피쳐 추적이 트리거된다면, 이러한 문제가 감소될 수 있다. 그에 더하여, 제1 층의 초기 두께를 측정하고, 그 초기 두께 및 제1 층에 대한 목표 두께로부터 목표 피쳐 값을 계산함으로써, 제1 층의 두께의 기판-간 균일성(substrate-to-substrate uniformity)이 개선될 수 있다.

[0021] 스펙트럼 피처는 스펙트럼 피크(spectral peak), 스펙트럼 밸리(spectral valley), 스펙트럼 변곡점(spectral inflection point) 또는 스펙트럼 제로 크로싱(spectral zero-crossing)을 포함할 수 있다. 피처들의 특성은 파장, 폭 또는 강도를 포함할 수 있다.

[0022] 도 1은 기판(10)을 폴리싱하도록 동작할 수 있는 폴리싱 장치(20)를 나타낸다. 폴리싱 장치(20)는 폴리싱 패드(30)가 놓이는 회전식 디스크 형상의 플래튼(platen, 24)을 포함한다. 플래튼은 축(25)에 대하여 회전하도록 동작 가능하다. 예를 들어, 모터는 플래튼(24)을 회전시키기 위해 구동 축(22)을 돌릴 수 있다. 폴리싱 패드(30)는 예를 들어 접착제 층에 의해, 플래튼(24)에 분리 가능하게 고정될 수 있다. 폴리싱 패드(30)는 마모 시에 분리 및 교체될 수 있다. 폴리싱 패드(30)는 외부 폴리싱 층(32) 및 더 연성인 후면층(backing layer)(34)을 갖는 2층 폴리싱 패드일 수 있다.

[0023] 애피쳐(aperture)(즉, 패드를 통하여 이어지는 구멍) 또는 솔리드 윈도우(solid window)를 포함하는 것에 의해 폴리싱 패드를 통한 광학 액세스(optical access)(36)가 제공된다. 솔리드 윈도우는 폴리싱 패드에 고정될 수 있지만, 일부 구현들에서는 솔리드 윈도우가 플래튼(24) 상에 지지되고 폴리싱 패드 내의 애피쳐 내로 돌출할 수 있다. 애피쳐 또는 윈도우가 플래튼(24)의 리세스(26) 내에 놓인 광학 헤드(53) 위에 놓이도록, 폴리싱 패드(30)는 통상적으로 플래튼(24) 상에 배치된다. 결과적으로, 광학 헤드(53)는 애피쳐 또는 윈도우를 통해, 폴리싱 중인 기판으로의 광학 액세스를 갖는다.

[0024] 윈도우는 예를 들어 강성의 결정질 또는 유리질 재료, 예컨대 석영 또는 유리, 또는 연성의 플라스틱 재료, 예컨대 실리콘(silicone), 폴리우레탄 또는 할로겐화 폴리머(예를 들어, 플루오로폴리머(fluoropolymer)), 또는 언급된 재료들의 조합일 수 있다. 윈도우는 백색광에 대해 투명할 수 있다. 솔리드 윈도우의 최상부면이 강성의 결정질 또는 유리질 재료라면, 최상부면은 스크래치 방지를 위해 폴리싱 표면으로부터 충분하게 리세스되어야 한다. 최상부면이 폴리싱 표면에 가깝고 그와 접촉하게 될 수 있다면, 윈도우의 최상부면은 연성의 플라스틱 재료여야 한다. 일부 구현들에서, 솔리드 윈도우는 폴리싱 패드 내에 고정되고, 폴리우레탄 윈도우이거나, 석영 및 폴리우레탄의 조합을 갖는 윈도우이다. 윈도우는 특정 색상의 단색 광, 예컨대 청색 광 또는 적색 광에 대하여 높은 투과율, 예를 들어 약 80% 투과율을 가질 수 있다. 액체가 윈도우와 폴리싱 패드(30)의 계면을 통해 누출되지 않도록, 윈도우는 폴리싱 패드(30)에 대해 밀봉될 수 있다.

[0025] 일 구현에서, 윈도우는 연성의 플라스틱 재료의 외부 층으로 커버된 강성의 결정질 또는 유리질 재료를 포함한다. 연성 재료의 최상부면은 폴리싱 표면과 동일 평면을 이룰 수 있다. 강성 재료의 바닥 표면은 폴리싱 패드의 바닥 표면과 동일 평면을 이루거나 그에 대해 리세스될 수 있다. 특히, 폴리싱 패드가 2개의 층을 포함하는 경우, 솔리드 윈도우는 폴리싱 층에 통합될 수 있고, 바닥층은 솔리드 윈도우와 정렬된 애피쳐를 가질 수 있다.

[0026] 윈도우의 바닥 표면은 선택적으로 하나 이상의 리세스를 포함할 수 있다. 리세스는 예를 들어 광섬유 케이블의 단부 또는 와전류 센서의 단부를 수용하기 위한 형상을 가질 수 있다. 리세스는 광섬유 케이블의 단부 또는 와전류 센서의 단부가 폴리싱 중인 기판 표면으로부터, 윈도우의 두께보다 작은 거리를 두고 놓이게 해준다. 윈도우가 강성의 결정질 부분 또는 유리 유사 부분(glass like portion)을 포함하고, 머시닝(machining)에 의해 그러한 부분 내에 리세스가 형성되는 구현에서, 리세스는 머시닝에 의해 야기되는 스크래치를 제거하기 위해 폴리싱된다. 대안적으로, 머시닝에 의해 야기되는 스크래치를 제거하기 위해, 용제 및/또는 액체 폴리머가 리세스의 표면들에 도포될 수 있다. 머시닝에 의해 통상적으로 야기되는 스크래치의 제거는 산란을 감소시키고, 윈도우를 통한 광의 투과율을 개선할 수 있다.

[0027] 폴리싱 패드의 후면층(34)은 예를 들어 접착제에 의해 그것의 외부 폴리싱 층(32)에 부착될 수 있다. 광학 액세스(36)를 제공하는 애피쳐는 예를 들어 애피쳐를 포함하도록 패드(30)를 절단 또는 몰딩함으로써 패드(30) 내에 형성될 수 있고, 윈도우는 애피쳐 내에 삽입되고, 예를 들어 접착제에 의해 패드(30)에 고정될 수 있다. 대안적으로, 윈도우의 액체 전구체(liquid precursor)가 패드(30) 내의 애피쳐에 제공(dispense)되고 경화되어 윈도우를 형성할 수 있다. 대안적으로, 고형의 투명한 구성요소, 예컨대 상술한 결정질 또는 유리 유사 부분이 액체 패드 재료 내에 배치될 수 있고, 액체 패드 재료는 투명한 구성요소 주위에 패드(30)를 형성하도록 경화될

수 있다. 나중의 두 가지 사례 중 어느 것에서든, 패드 재료의 블록이 형성될 수 있고, 물당된 원도우를 갖는 폴리싱 패드의 층이 그 블록으로부터 베어내질(scythed) 수 있다.

[0028] 폴리싱 장치(20)는 결합된 슬러리/세정 암(slurry/rinse arm)(39)을 포함한다. 폴리싱 동안, 암(39)은 액체 및 pH 조절제를 함유하는 슬러리(38)를 제공하도록 동작가능하다. 대안적으로, 폴리싱 장치는 슬러리를 폴리싱 패드(30) 상으로 제공하도록 동작할 수 있는 슬러리 포트를 포함한다.

[0029] 폴리싱 장치(20)는 폴리싱 패드(30)에 대해 기판(10)을 유지하도록 동작할 수 있는 캐리어 헤드(70)를 포함한다. 캐리어 헤드(70)는 지지 구조물(72), 예를 들어 캐리셀에 매달리고, 축(71)에 대하여 회전할 수 있도록 캐리어 구동 축(74)에 의해 캐리어 헤드 모터(76)에 접속된다. 추가로, 캐리어 헤드(70)는 지지 구조물(72) 내에 형성된 방사상 슬롯(radial slot) 내에서 횡방향으로 진동할 수 있다. 동작 시에, 플래튼은 그것의 중심 축(25)에 대하여 회전되며, 캐리어 헤드는 그것의 중심 축(71)에 대하여 회전되고, 폴리싱 패드의 최상부면을 가로질러 횡방향으로 병진된다.

[0030] 폴리싱 장치는 또한 이하에 논의되는 바와 같이 폴리싱 종료점을 결정하기 위해 이용될 수 있는 광학 모니터링 시스템을 포함한다. 광학 모니터링 시스템은 광원(51) 및 광 검출기(52)를 포함한다. 광은 광원(51)으로부터 폴리싱 패드(30) 내의 광학 액세스(36)를 통해 지나가고, 기판(10)에 충돌하여 그로부터 다시 광학 액세스(36)를 통해 반사되고, 광 검출기(52)로 진행한다.

[0031] 광원(51)으로부터의 광을 광학 액세스(36)에 보내고, 다시 광학 액세스(36)로부터 광 검출기(52)로 보내기 위해, 두 갈래로 나누어진 광 케이블(bifurcated optical cable)(54)이 이용될 수 있다. 두 갈래로 나누어진 광 케이블(54)은 "트렁크(trunk)"(55) 및 2개의 "브랜치"(56 및 58)를 포함할 수 있다.

[0032] 위에서 언급된 바와 같이, 플래튼(24)은 광학 헤드(53)가 놓이는 리세스(26)를 포함한다. 광학 헤드(53)는 광을 폴리싱 중인 기판 표면으로, 그리고 그러한 기판 표면으로부터 전달하도록 구성된, 두 갈래로 나누어진 섬유 케이블(54)의 트렁크(55)의 한 단부를 유지한다. 광학 헤드(53)는 두 갈래로 나누어진 섬유 케이블(54)의 단부 위에 놓인 하나 이상의 렌즈 또는 원도우를 포함할 수 있다. 대안적으로, 광학 헤드(53)는 단순히, 폴리싱 패드 내의 솔리드 원도우에 인접하게 트렁크(55)의 단부를 유지할 수 있다. 광학 헤드(53)는 예를 들어 예방 또는 교정 보수 관리를 시행하기 위해, 필요한 대로 리세스(26)로부터 제거될 수 있다.

[0033] 플래튼은 제거가능한 인-시튜 모니터링 모듈(50)을 포함한다. 인-시튜 모니터링 모듈(50)은 광원(51), 광 검출기(52), 및 광원(51) 및 광 검출기(52)로 신호를 송신하고 그들로부터 신호를 수신하기 위한 회로 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 예를 들어, 검출기(52)의 출력은 구동 축(22) 내의 로터리 커플러, 예컨대 슬립 링(slip ring)을 통해 광학 모니터링 시스템을 위한 제어기로 가는 디지털 전자 신호일 수 있다. 마찬가지로, 광원은 제어기로부터 로터리 커플러를 지나 모듈(50)로 가는 디지털 전자 신호 내의 제어 커맨드에 응답하여 턴온 또는 턴오프될 수 있다.

[0034] 또한, 인-시튜 모니터링 모듈(50)은 두 갈래로 나누어진 광 섬유(54)의 브랜치 부분들(56 및 58)의 개별 단부들을 유지할 수 있다. 광원은 광을 전송하도록 동작가능하고, 광은 브랜치(56)를 통해 전달되고 광학 헤드(53) 내에 위치된 트렁크(55)의 단부 밖으로 나가서 폴리싱 중인 기판에 충돌한다. 기판으로부터 반사된 광은 광학 헤드(53) 내에 위치된 트렁크(55)의 단부에서 수신되고, 브랜치(58)를 통해 광 검출기(52)로 전달된다.

[0035] 일 구현에서, 두 갈래로 나누어진 섬유 케이블(54)은 광 섬유들의 다발(a bundle of optical fibers)이다. 그 다발은 제1 그룹의 광 섬유들 및 제2 그룹의 광 섬유들을 포함한다. 제1 그룹 내의 광 섬유는 광원(51)으로부터의 광을 폴리싱 중인 기판 표면으로 전달하도록 접속된다. 제2 그룹 내의 광 섬유는 폴리싱 중인 기판 표면으로부터 반사된 광을 수신하고, 그 수신된 광을 광 검출기(52)에 전달하도록 접속된다. 제2 그룹 내의 광 섬유들이 (두 갈래로 나누어진 섬유 케이블(54)의 단면에서 볼 때) 두 갈래로 나누어진 광 섬유(54)의 길이 방향 축에 중심을 두는 X형 형상을 형성하도록 광 섬유들이 배열될 수 있다. 대안적으로, 다른 구성들이 구현될 수 있다. 예를 들어, 제2 그룹 내의 광 섬유들은 서로의 거울상(mirror images)인 V형 형상을 형성할 수 있다. 적절한 두 갈래로 나누어진 광 섬유는 텍사스 주 캐럴턴의 Verity Instruments, Inc.로부터 입수 가능하다.

[0036] 폴리싱 패드 원도우와, 폴리싱 패드 원도우에 근접한 두 갈래로 나누어진 섬유 케이블(54)의 트렁크(55)의 단부 사이에는 통상적으로 최적의 거리가 존재한다. 거리는 경험적으로 결정될 수 있고, 예를 들어 원도우의 반사율, 두 갈래로 나누어진 섬유 케이블로부터 방출되는 광 빔의 형상, 및 모니터링 중인 기판까지의 거리에 의해 영향을 받는다. 일 구현에서, 두 갈래로 나누어진 섬유 케이블은 원도우에 근접한 단부가 원도우에 실제로 접촉하지는 않으면서 원도우의 바닥에 최대한 가깝도록 놓인다. 이러한 구현에서, 폴리싱 장치(20)는 두 갈

래로 나누어진 섬유 케이블(54)의 단부와 폴리싱 패드 원도우의 바닥 표면 사이의 거리를 조절하도록 동작할 수 있는 메커니즘을 예를 들어 광학 헤드(53)의 일부로서 포함할 수 있다. 대안적으로, 두 갈래로 나누어진 섬유 케이블(54)의 근접 단부는 원도우 내에 매립된다.

[0037] 광원(51)은 백색 광을 방출하도록 동작가능하다. 일부 구현에서, 방출되는 백색 광은 200-800 나노미터의 파장을 갖는 광을 포함한다. 적절한 광원은 제논 램프, 또는 제논-수은 램프이다.

[0038] 광 검출기(52)는 분광계일 수 있다. 분광계는 기본적으로 전자기 스펙트럼의 일부분에 걸쳐 광의 속성, 예를 들어 강도를 측정하기 위한 광학 기구이다. 적절한 분광계는 격자 분광계(grating spectrometer)이다. 분광계를 위한 전형적인 출력은 파장의 함수로서의 광 강도이다.

[0039] 광원(51) 및 광 검출기(52)는 그들의 동작을 제어하고 그들의 신호를 수신하도록 동작가능한 컴퓨팅 장치에 접속된다. 컴퓨팅 장치는 폴리싱 장치 부근에 놓인 마이크로프로세서, 예를 들어 개인용 컴퓨터를 포함할 수 있다. 제어에 관련하여, 컴퓨팅 장치는 예를 들어 광원(51)의 기동을 플래튼(24)의 회전과 동기화할 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 컴퓨터는 광원(51)으로 하여금 기판(10)이 인-시류 모니터링 모듈(50) 위를 지나가기 직전에 시작하여 그 위를 지나간 직후에 종료하는 일련의 섬광을 방출하게 할 수 있다. 포인트들(201-211) 각각은 인-시류 모니터링 모듈(50)로부터의 광이 기판(10)에 충돌하여 그로부터 반사되는 위치를 나타낸다. 대안적으로, 컴퓨터는 광원(51)으로 하여금 기판(10)이 인-시류 모니터링 모듈(50) 위를 지나가기 직전에 시작하여 그 위를 지나간 직후에 종료하도록 연속적으로 광을 방출하게 할 수 있다.

[0040] 폴리싱이 진행함에 따라, 예를 들어, 플래튼 내의 센서가 기판을 가로질러 연속하여 스윕하는 것으로부터 획득되는 스펙트럼들은 스펙트럼들의 시퀀스를 제공한다. 일부 구현들에서, 광원(51)은 기판(10)의 복수의 부분에 일련의 섬광을 방출한다. 예를 들어, 광원은 기판(10)의 중심 부분과 기판(10)의 외부 부분에 섬광을 방출할 수 있다. 기판(10)의 복수의 부분으로부터의 복수의 스펙트럼들의 시퀀스를 결정하기 위해, 기판(10)으로부터 반사된 광이 광 검출기(52)에 의해 수신될 수 있다. 스펙트럼들 내에서 피쳐들이 식별될 수 있고, 여기에서 각각의 피쳐는 기판(10)의 한 부분에 연관된다. 피쳐들은 예를 들어 기판(10)의 폴리싱을 위한 종료점 조건을 결정하는 데에 이용될 수 있다. 일부 구현들에서, 기판(10)의 복수의 부분의 모니터링은 기판(10)의 부분들 중 하나 이상에서의 폴리싱 레이트를 변경하는 것을 허용한다.

[0041] 신호의 수신에 관련하여, 컴퓨팅 장치는, 예를 들어, 광 검출기(52)에 의해 수신된 광의 스펙트럼을 기술하는 정보를 반송하는 신호를 수신할 수 있다. 도 3a는 광원의 단일 섬광으로부터 방출되고 기판으로부터 반사되는 광으로부터 측정된 스펙트럼의 예를 보여준다. 스펙트럼(302)은 제품 기판으로부터 반사된 광으로부터 측정된다. 스펙트럼(304)은 베이스 실리콘 기판(실리콘 충만을 갖는 웨이퍼임)으로부터 반사된 광으로부터 측정된다. 스펙트럼(306)은 광학 헤드(53) 위에 놓여 있는 기판이 없을 때 광학 헤드(53)에 의해 수신된 광으로부터 유래한 것이다. 본 명세서에서 암 조건(dark condition)이라고 지칭되는 이러한 조건 하에서, 수신된 광은 통상적으로 주변 광이다.

[0042] 컴퓨팅 장치는 폴리싱 단계의 종료점을 결정하기 위해, 상술한 신호 또는 그것의 일부를 처리할 수 있다. 임의의 특정한 이론에 한정되지 않고, 기판(10)으로부터 반사된 광의 스펙트럼은 폴리싱이 진행함에 따라 전개된다. 도 3b는 관심 있는 필름의 폴리싱의 진행에 따른 스펙트럼의 전개의 예를 제공한다. 스펙트럼의 상이한 라인들은 폴리싱에서의 상이한 시간들을 나타낸다. 볼 수 있는 바와 같이, 반사된 광의 스펙트럼의 속성들은 필름의 두께가 변화함에 따라 변화하고, 필름의 특정 두께들에 의해 특정 스펙트럼들이 나타난다. 필름의 폴리싱이 진행함에 따라 반사 광의 스펙트럼 내의 피크(즉, 국소 최대)가 관측될 때, 피크의 높이는 통상적으로 변화하며, 재료가 제거됨에 따라 피크가 더 넓어지는 경향이 있다. 넓어지는 것에 더하여, 폴리싱이 진행함에 따라, 특정 피크가 위치하는 파장은 통상적으로 증가한다. 일부 구현들에서, 폴리싱이 진행함에 따라, 특정 피크가 위치하는 파장은 통상적으로 감소한다. 예를 들어, 피크(310(1))는 폴리싱 동안의 소정 시간에서의 스펙트럼 내의 피크를 도시하고, 피크(310(2))는 폴리싱 동안의 나중의 시간에서의 동일 피크를 도시한다. 피크(310(2))는 피크(310(1))보다 더 긴 파장에 위치하고 더 넓다.

[0043] 경험식(empirical formula)에 따라 폴리싱을 위한 종료점을 결정하기 위해, 피크의 파장 및/또는 폭(예를 들어, 피크 아래의 고정된 거리에서 측정된 또는 피크와 최근접 밸리 사이의 중간 높이에서 측정된 폭)의 상대적 변화, 피크의 절대 파장 및/또는 폭, 또는 둘 다가 이용될 수 있다. 종료점을 결정할 때 이용하는 최적의 피크(또는 피크들)는 어느 재료가 폴리싱 중인지 그리고 그러한 재료들의 패턴에 따라 달라진다.

[0044] 일부 구현들에서, 피크 파장에서의 변화가 종료점을 결정하는 데에 이용될 수 있다. 예를 들어, 피크의 시작

파장과 피크의 현재 파장 사이의 차이가 목표 차이에 도달할 때, 폴리싱 장치(20)는 기판(10)의 폴리싱을 중단할 수 있다. 대안적으로, 기판(10)으로부터 반사된 광의 파장의 차이를 결정하기 위해, 피크 외의 피쳐들이 이용될 수 있다. 예를 들어, 벨리의 파장, 변곡점, 또는 x축 또는 y축 절편이 광 검출기(52)에 의해 모니터링될 수 있고, 파장이 미리 결정된 양만큼 변화하였을 때, 폴리싱 장치(20)는 기판(10)의 폴리싱을 중단할 수 있다.

[0045] 일부 구현들에서, 파장 대신에, 또는 파장에 더하여, 피쳐의 폭 또는 강도가 모니터링되는 특성이다. 피쳐들은 약 40nm 내지 120nm 시프트할 수 있지만, 다른 시프트들도 가능하다. 예를 들어, 특히 유전체 폴리싱의 경우에서, 상한은 훨씬 더 클 수 있다.

[0046] 도 4의 (a)는 기판(10)으로부터 반사된 광의 측정된 스펙트럼(400a)의 예를 제공한다. 광학 모니터링 시스템은 스펙트럼의 전체 경사를 감소시키기 위해 스펙트럼(400a)을 고역 통과 필터에 통과시킬 수 있고, 그 결과로서 도 4의 (b)에 도시된 스펙트럼(400b)이 생길 수 있다. 예를 들어, 배치(batch) 내의 복수의 기판의 처리 동안, 웨이퍼들 간에 큰 스펙트럼 차이가 존재할 수 있다. 동일 배치 내의 기판들에 걸친 스펙트럼 편차를 감소시키기 위해 스펙트럼을 정규화하는 데에 고역 통과 필터가 이용될 수 있다. 예시적인 고역 통과 필터는 0.005Hz의 컷오프(cutoff) 및 4의 필터 차수(filter order)를 가질 수 있다. 고역 통과 필터는 기저 편차(underlying variations)에 대한 민감성을 여과해내는 데에 도움을 주기 위해서뿐만 아니라, 피쳐 추적을 더 쉽게 하기 위해 적당한 신호를 "평평"하게 하기 위해서도 이용된다.

[0047] 사용자가 종료점을 결정하기 위해 종료점의 어느 피쳐를 추적할지를 선택하기 위해, 등고선도가 생성되어 사용자에게 디스플레이될 수 있다. 도 5의 (b)는 폴리싱 동안 기판(10)으로부터 반사된 광의 복수의 스펙트럼 측정들로부터 생성된 등고선도(500b)의 예를 제공하며, 도 5의 (a)는 등고선도(500b) 내의 특정 순간으로부터의 측정 스펙트럼(500a)의 예를 제공한다. 등고선도(500b)는 스펙트럼(500a) 상의 연관된 피크들(502) 및 벨리들(504)로부터 기인하는 피크 영역(502) 및 벨리 영역(504)과 같은 피쳐들을 포함한다. 시간이 경과함에 따라, 기판(10)이 폴리싱되고, 등고선도(500b) 내의 스펙트럼 피쳐들에 대한 변경에 의해 나타나어진 바와 같이, 기판으로부터 반사된 광이 변화한다.

[0048] 등고선도(500b)를 생성하기 위해, 테스트 기판이 폴리싱될 수 있고, 테스트 기판으로부터 반사된 광을 폴리싱 동안 광 검출기(52)에 의해 측정하여 기판(10)으로부터 반사된 광의 스펙트럼들의 시퀀스를 생성할 수 있다. 스펙트럼들의 시퀀스는, 예를 들어, 선택적으로 광학 모니터링 시스템의 일부일 수 있는 컴퓨터 시스템 내에 저장될 수 있다. 셋업 기판의 폴리싱은 시간 T1에서 시작할 수 있고, 추정된 종료점 시간을 지나 계속될 수 있다.

[0049] 테스트 기판의 폴리싱이 완료되면, 컴퓨터는 등고선도(500b)를 폴리싱 장치(20)의 조작자에게 표시하기 위해, 예를 들어, 컴퓨터 모니터 상에 렌더링한다. 일부 구현들에서, 컴퓨터는, 예를 들어, 스펙트럼들 내의 높은 강도 값들에 적색을 할당하고, 스펙트럼들 내의 낮은 강도 값들에 청색을 할당하고, 스펙트럼 내의 중간 강도 값들에 중간 컬러(오렌지색 내지 녹색)를 할당함으로써, 등고선도를 컬러 코딩한다. 다른 구현들에서, 컴퓨터는 스펙트럼들 내의 낮은 강도 값들에 가장 어두운 색조의 회색을 할당하고, 스펙트럼들 내의 높은 강도 값들에 가장 밝은 색조의 회색을 할당하고, 스펙트럼들 내의 중간 강도 값들에는 중간 색조들을 할당함으로써, 그레이스케일 등고선도(grayscale contour plot)를 생성한다. 대안적으로, 컴퓨터는 스펙트럼들 내의 높은 강도 값들에 대해 최대 z 값, 스펙트럼들 내의 낮은 강도 값들에 대해 최소 z 값, 스펙트럼들 내의 중간 강도 값들에 대해서는 중간 z 값을 갖는 3D 등고선도를 생성할 수 있다. 3D 등고선도는 예를 들어 컬러, 그레이스케일, 또는 흑백으로 디스플레이될 수 있다. 일부 구현들에서, 폴리싱 장치(20)의 조작자는 스펙트럼의 상이한 피쳐들을 보기 위해 3D 등고선도와 상호작용할 수 있다.

[0050] 폴리싱 동안의 테스트 기판의 모니터링으로부터 생성되는 반사 광의 등고선도(500b)는, 예를 들어, 피크, 벨리, 스펙트럼 제로 크로싱 포인트 및 변곡점과 같은 스펙트럼 피쳐들을 포함할 수 있다. 피쳐들은 파장, 폭 및/또는 강도와 같은 특성들을 가질 수 있다. 등고선도(500b)에 의해 나타난 바와 같이, 폴리싱 패드(30)가 셋업 기판의 최상부면으로부터 재료를 제거함에 따라, 셋업 기판으로부터 반사되는 광은 시간의 경과에 따라 변화할 수 있고, 따라서 피쳐 특성이 시간의 경과에 따라 변화한다.

[0051] 장치 기판의 폴리싱 전에, 폴리싱 장치(20)의 조작자는 등고선도(500b)를 볼 수 있고, 셋업 기판과 유사한 다이 피쳐들을 갖는 기판들의 배치(batch)를 처리하는 동안 추적할 피쳐 특성을 선택할 수 있다. 예를 들어, 피크(506)의 파장이 폴리싱 장치(20)의 조작자에 의한 추적을 위해 선택될 수 있다. 등고선도(500b), 특히 컬러 코딩된 또는 3D 등고선도의 잠재적인 이점은, 그러한 그래픽 디스플레이가 사용자에 의한 적절한 피쳐의 선택을 더 쉽게 한다는 것인데, 왜냐하면 피쳐들, 예를 들어 시간에 따라 선형으로 또는 포물선형으로 변화하는 특성들

을 갖는 피쳐들이 시각적으로 쉽게 구별가능하기 때문이다.

[0052] 종료점 기준을 선택하기 위해, 선택된 피쳐의 특성은 테스트 기판의 폴리싱-전 두께 및 폴리싱-후 두께에 기초한 선형 보간(linear interpolation)에 의해 계산될 수 있다. 예를 들어, 테스트 기판 상의 층의 두께 D1 및 D2는 폴리싱 전에(예를 들어, 폴리싱이 시작하는 시간 T1 이전의 테스트 기판의 두께), 그리고 폴리싱-후에(예를 들어, 폴리싱이 종료하는 시간 T2 이후의 테스트 기판의 두께) 각각 측정될 수 있으며, 특성의 값들은 목표 두께 D'가 달성되는 시간 T'에서 측정될 수 있다. T'은 $T' = T1 + (T2 - T1) * (D2 - D') / (D2 - D1)$ 으로부터 계산될 수 있고, 특성의 값 V'은 시간 T'에서 측정된 스펙트럼으로부터 결정될 수 있다. 대안적으로, T'의 값은 테스트 기판의 인-시류 모니터링으로부터의 측정 데이터에 피팅되는 비선형 함수, 예를 들어, 2차 다항식으로부터 계산될 수 있다.

[0053] 피크(506)의 파장에서의 특정 변화와 같은 선택된 피쳐의 특성에 대한 목표 차이 δV 가 $V' - V1$ 로부터 결정될 수 있는데, 여기에서 $V1$ 은 (시간 T1에서의) 초기 특성 값이다. 따라서, 목표 차이 δV 는 시간 T1에서의 폴리싱 이전의 특성의 초기값 $V1$ 으로부터 폴리싱이 완료될 것으로 예상되는 시간 T'에서의 특성의 값 V' 까지의 변화일 수 있다. 폴리싱 장치(20)의 조작자는 피쳐 특성이 변화할 목표 차이(604)(예를 들어, δV)를 폴리싱 장치(20)에 연관된 컴퓨터에 입력할 수 있다.

[0054] 결국에는 포인트들(602)의 값을 결정하는 V' 의 값을 결정하기 위해, 로버스트 라인 피팅(robust line fitting)을 이용하여, 라인(508)을 측정된 데이터에 피팅할 수 있다. 시간 T'에서의 라인(508)의 값에서 T1에서의 라인(508)의 값을 감산한 것이 포인트들(602)을 결정하는 데에 이용될 수 있다. 대안적으로, 결국에는 포인트들(602)의 값을 결정하는 V' 의 값을 결정하기 위해, 비선형 함수, 예를 들어, 2차 다항식이 측정 데이터에 피팅될 수 있다. 시간 T'에서의 비선형 함수의 값에서 T1에서의 비선형 함수(508)의 값을 감산한 것이 포인트들(602)을 결정하는 데에 이용될 수 있다.

[0055] 예컨대 스펙트럼 피크(506)와 같은, 피쳐는 피쳐 특성의 목표 차이와 폴리싱 동안 셋업 기판으로부터 제거된 재료의 양 사이의 상관관계(correlation)에 기초하여 선택될 수 있다. 폴리싱 장치(20)의 조작자는 피쳐 특성의 목표 차이와 셋업 기판으로부터 제거된 재료의 양 사이에 양호한 상관관계를 갖는 피쳐 특성을 찾기 위해, 다른 피쳐 및/또는 피쳐 특성을 선택할 수 있다.

[0056] 다른 구현들에서, 종료점 결정 로직은 추적할 스펙트럼 피쳐와 종료점 기준을 결정한다.

[0057] 이제, 장치 기판의 폴리싱으로 돌아가서, 도 6a는 장치 기판(10)의 폴리싱 동안의 추적되는 피쳐 특성의 차이값들(602a-d)의 예시적인 그래프(600a)이다. 기판(10)은 폴리싱되는 기판들의 배치의 일부일 수 있고, 여기에서 폴리싱 장치(20)의 조작자는 셋업 기판의 등고선도(500b)로부터 피크 또는 밸리의 파장과 같은 추적할 피쳐 특성을 선택했다.

[0058] 기판(10)이 폴리싱됨에 따라, 광 검출기(52)는 기판(10)으로부터 반사된 광의 스펙트럼들을 측정한다. 종료점 결정 로직은 피쳐 특성에 대한 값들의 시퀀스를 결정하기 위해 광의 스펙트럼들을 이용한다. 기판(10)의 표면으로부터 재료가 제거됨에 따라, 선택된 피쳐 특성의 값들이 변화할 수 있다. 피쳐 특성의 값들의 시퀀스와 피쳐 특성의 초기값 $V1$ 간의 차이는 차이값들(602a-d)을 결정하기 위해 이용된다.

[0059] 기판(10)이 폴리싱됨에 따라, 종료점 검출 로직은 추적 중인 피쳐 특성의 현재 값을 결정할 수 있다. 일부 구현들에서, 피쳐의 현재 값이 초기값으로부터 목표 차이(604)만큼 변화한 때, 종료점이 선언될 수 있다.

[0060] 비선형 함수(606), 예를 들어 2차의 다항식 함수, 예컨대, 2차 다항식 함수(예를 들어, 포물 곡선)가 값들의 시퀀스에 피팅된다. 2차 다항식 함수 F는 아래와 같이 표현될 수 있다:

$$F = A*x^2 + B*x + C$$

[0062] 여기에서, A, B 및 C는 계수들이고, x는 플래튼 회전의 횟수 또는 시간을 나타낸다.

[0063] 비선형 함수는 임의의 예상된 폴리싱 시간 동안 단조로워야 한다(monotonic). 값들의 시퀀스에 비선형 함수를 피팅하는 것은 사비츠키-고레이(Savitzky-Golay) 필터를 적용함으로써 수행될 수 있다. 사비츠키-고레이 필터의 가능한 이점은 어떤 다른 피팅 알고리즘들보다 더 안정적이라는 것이다.

[0064] 폴리싱 종료점 시간은 비선형 함수(606)에 기초하여 예측될 수 있다. 추가로, 비선형 함수(214)가 목표 값 IT와 교차하는 종료점 시간 TE에서 폴리싱이 중지될 수 있다.

[0065] 비선형 함수(606)의 계수들은 기판(10)의 폴리싱 동안 새로운 차이값들이 계산됨에 따라 변화할 수 있다. 일부

구현들에서, 비선형 함수(606)가 목표 차이(604)에 도달하는 시간은 추정된 종료점 시간(608)을 제공한다. 비선형 함수(606)의 함수가 새로운 차이값들을 수용하도록 변화함에 따라, 추정된 종료점 시간(608)이 변화할 수 있다.

[0066] 일부 구현들에서, 비선형 함수(606)의 함수는 기판(10)으로부터 제거된 재료의 양을 결정하기 위해 이용되고, 함수에 의해 결정된 현재 값의 변화는 목표 차이에 도달하였고 종료점이 선언될 필요가 있는 때를 결정하기 위해 이용된다. 비선형 함수(606)는 제거된 재료의 양을 추적한다. 대안적으로, 기판(10)으로부터 특정 두께의 재료를 제거할 때, 함수에 의해 결정된 현재 값의 변화는 기판(10)의 최상부면으로부터 제거된 재료의 양, 및 언제 종료점을 선언할지를 결정하는 데에 이용될 수 있다. 예를 들어, 조작자는 목표 차이를 선택된 피쳐의 파장이 50 나노미터만큼 변화하는 것으로 설정할 수 있다. 예를 들어, 선택된 피크의 파장의 변화는 기판(10)의 최상부 층으로부터 얼마나 많은 재료가 제거되었는지, 및 언제 종료점을 선언할지를 결정하기 위해 이용될 수 있다.

[0067] 시간 T1에서, 기판(10)의 폴리싱 전에, 선택된 피쳐의 특성 값 차이는 0이다. 폴리싱 패드(30)가 기판(10)을 폴리싱하기 시작할 때, 기판(10)의 최상부면으로부터 재료가 폴리싱되어 없어짐에 따라, 식별된 피쳐의 특성 값들이 변화할 수 있다. 예를 들어, 폴리싱 동안, 선택된 피쳐 특성의 파장은 더 높거나 더 낮은 파장으로 이동할 수 있다. 잡음 효과들을 제외하면, 피쳐의 파장은, 이에 따라 파장의 차이는 단조롭게, 종종 선형으로 변화하는 경향이 있다. 시간 T'에서, 종료점 결정 로직은 식별된 피쳐 특성이 목표 차이 δV 만큼 변했다고 판정하고, 종료점이 선언될 수 있다. 예를 들어, 피쳐의 파장이 50 나노미터의 목표 차이만큼 변화한 때, 종료점이 선언되고, 폴리싱 패드(30)는 기판(10)의 폴리싱을 중단한다.

[0068] 기판들의 배치를 처리할 때, 광학 모니터링 시스템(50)은, 예를 들어, 기판들 전부에 걸쳐서 동일한 스펙트럼 피쳐를 추적할 수 있다. 스펙트럼 피쳐는 기판들 상의 동일한 다이 피쳐에 연관될 수 있다. 스펙트럼 피쳐의 시작 파장은 기판들의 기저 편차에 기초하여 배치 전체에 걸쳐서 기판마다 다를 수 있다. 일부 구현들에서, 복수의 기판에 걸친 변동성을 최소화하기 위해, 종료점 결정 로직은 선택된 피쳐 특성값 또는 피쳐 특성의 값들에 피팅된 함수가 목표 차이 대신에 종료점 메트릭(endpoint metric, EM)만큼 변한 때에 종료점을 선언할 수 있다. 종료점 결정 로직은 셋업 기판으로부터 결정된 예상 초기값(expected initial value, EIV)을 이용할 수 있다. 기판(10) 상에서 추적되는 피쳐 특성이 식별되는 시간 T1에서, 종료점 결정 로직은 처리 중인 기판에 대한 실제 초기값(actual initial value, AIV)를 결정한다. 종료점 결정 로직은 배치 전체에 걸친 기판들의 편차를 고려하면서, 실제 초기값이 종료점 결정에 미치는 영향을 감소시키기 위해, 초기값 가중치(initial value weight, IVW)를 이용할 수 있다. 기판 편차는 예를 들어 기판 두께, 또는 아래에 있는 구조물들의 두께를 포함할 수 있다. 초기값 가중치는 기판 간 처리의 균일성을 증가시키기 위해 기판 편차들과 상호 관련이 있을 수 있다. 종료점 메트릭은, 예를 들어, 초기값 가중치에 실제 초기값과 예상 초기값 간의 차이를 곱하고, 목표 차이를 더함으로써 결정될 수 있다(예를 들어, $EM = IVW * (AIV - EIV) + \delta V$).

[0069] 일부 구현들에서, 종료점을 결정하기 위해 가중된 조합이 이용된다. 예를 들어, 종료점 결정 로직은 함수로부터의 특성의 초기값과 함수로부터의 특성의 현재값, 및 초기값과 현재값 간의 제1 차이를 계산할 수 있다. 종료점 결정 로직은 초기값과 목표 값 간의 제2 차이를 계산할 수 있고, 제1 차이와 제2 차이의 가중된 조합을 생성할 수 있다.

[0070] 도 6b는 기판(10)의 2개의 부분에서 취해진 시간에 대한 특성 측정 차이의 예시적인 그래프(600b)이다. 예를 들어, 광학 모니터링 시스템(50)은 기판(10)으로부터 얼마나 많은 재료가 제거되었는지를 판정하기 위해, 기판(10)의 애지 부분을 향해 위치한 하나의 피쳐, 및 기판(10)의 중심 부분을 향해 위치한 다른 하나의 피쳐를 추적할 수 있다. 셋업 기판을 테스트할 때, 폴리싱 장치(20)의 조작자는, 예를 들어, 셋업 기판의 상이한 부분들에 대응하는 추적할 2개의 피쳐를 식별할 수 있다. 일부 구현들에서, 스펙트럼 피쳐들은 셋업 기판 상의 동일 유형의 다이 피쳐들과 부합한다. 다른 구현들에서, 스펙트럼 피쳐들은 셋업 기판 상의 상이한 유형들의 다이 피쳐들에 연관된다. 기판(10)이 폴리싱되고 있을 때, 광 검출기(52)는 셋업 기판의 선택된 피쳐들과 부합하는 기판(10)의 2개의 부분으로부터의 반사 광의 스펙트럼들의 시퀀스를 측정할 수 있다. 2개의 피쳐의 특성에 연관된 값들의 시퀀스는 종료점 검출 로직에 의해 결정될 수 있다. 폴리싱 시간이 진행됨에 따라 현재의 특성값으로부터 최초의 특성값을 감산함으로써 기판(10)의 제1 부분 내의 피쳐 특성에 대해 제1 차이값들(610a-b)의 시퀀스가 계산될 수 있다. 마찬가지로 기판(10)의 제2 부분 내의 피쳐 특성에 대해 제2 차이값들(612a-b)의 시퀀스가 계산될 수 있다.

[0071] 제1 비선형 함수(614)는 제1 차이값들(610a-b)에 피팅될 수 있고, 제2 비선형 함수(616)는 제2 차이값들(612a-

b)에 피팅될 수 있다. 제1 비선형 함수(614) 및 제2 비선형 함수(616)는 동일 차수의 다항식 함수들로 결정될 수 있고, 제1 및 제2 비선형 함수의 투영은 추정된 폴리싱 종료점 시간(618) 또는 기판(10)의 폴리싱 레이트(620)에 대한 조절을 결정할 수 있다.

[0072] 폴리싱 동안, 기판(10)의 제1 부분에 대한 제1 함수 및 기판의 제2 부분에 대한 제2 함수를 이용하여 시간 TC에서 목표 차이(622)에 기초하는 종료점 계산이 이루어진다. 기판의 제1 부분과 기판의 제2 부분에 대한 추정된 종료점 시간이 상이한 경우(예를 들어, 제1 부분이 제2 부분보다 먼저 목표 두께에 도달할 것임), 제1 함수와 제2 함수가 동일한 종료점 시간(618)을 갖도록 폴리싱 레이트(620)에 대한 조절이 이루어질 수 있다. 일부 구현들에서, 기판의 제1 부분 및 제2 부분 둘 다의 폴리싱 레이트들은 두 부분 모두에서 동시에 종료점에 도달하도록 조절된다. 대안적으로, 제1 부분 또는 제2 부분 중 어느 하나의 폴리싱 레이트가 조절될 수 있다.

[0073] 폴리싱 레이트들은, 예를 들어, 캐리어 헤드(70)의 대응 영역 내의 압력을 증가시키거나 감소시킴으로써 조절될 수 있다. 폴리싱 레이트의 변화는 압력의 변화에 직접 비례하는 것으로, 예를 들어 단순 프레스토니안 모델(Prestonian model)로 가정될 수 있다. 예를 들어, 기판(10)의 제1 영역이 시간 TA에 목표 두께에 도달할 것으로 예상되고, 시스템이 목표 시간 TT를 설정한 때, 시간 T3 이전의 대응 영역 내의 캐리어 헤드 압력에 TT/TA를 곱하여 시간 T3 이후의 캐리어 헤드 압력을 제공할 수 있다. 추가로, 플래튼 또는 헤드 회전 속도, 상이한 헤드 압력 조합들의 2차 효과(second order effects), 폴리싱 온도, 슬러리 플로우, 또는 폴리싱 레이트에 영향을 주는 다른 파라미터들을 고려하는, 기판을 폴리싱하기 위한 제어 모델이 개발될 수 있다. 폴리싱 프로세스 동안의 차후의 시간에, 적절하다면, 레이트들이 다시 조절될 수 있다.

[0074] 일부 구현들에서, 컴퓨팅 장치는 장치 기판(10)으로부터 반사된 광의 측정된 스펙트럼에서 선택된 스펙트럼 피쳐를 쉽게 식별하기 위해 파장 범위를 이용한다. 컴퓨팅 장치는 측정된 스펙트럼에서, 예를 들어, 강도, 폭 또는 파장에 있어서 선택된 스펙트럼 피쳐와 유사한 다른 스펙트럼 피쳐들로부터 선택된 스펙트럼 피쳐를 구별해내기 위해 선택된 스펙트럼 피쳐에 대한 파장 범위를 찾는다.

[0075] 도 7a는 광 검출기(52)에 의해 수신되는 광으로부터 측정된 스펙트럼(700a)의 예를 보여준다. 스펙트럼(700a)은 선택된 스펙트럼 피쳐(702), 예를 들어 스펙트럼 피크를 포함한다. 선택된 스펙트럼 피쳐(702)는 기판(10)의 CMP 동안의 추적을 위해 종료점 결정 로직에 의해 선택될 수 있다. 선택된 스펙트럼 피쳐(702)의 특성(704)(예를 들어, 파장)이 종료점 결정 로직에 의해 식별될 수 있다. 특성(704)이 목표 차이만큼 변화한 때, 종료점 결정 로직은 종료점을 선언한다.

[0076] 일부 구현들에서, 종료점 결정 로직은 선택된 스펙트럼 피쳐(702)를 찾아볼 파장 범위(706)를 결정한다. 파장 범위(706)는 약 50 nm에서 약 200 nm 미터의 폭을 가질 수 있다. 일부 구현들에서, 파장 범위(706)는 미리 결정되는데, 예를 들어, 파장 범위를 선택하는 사용자 입력을 수신하는 것 등에 의해 조작자에 의해 지정되거나, 파장 범위를 기판들의 배치(batch)에 연관시키는 메모리로부터 파장 범위를 검색함으로써 기판들의 배치에 대한 프로세스 파라미터로서 지정된다. 일부 구현들에서, 파장 범위(706)는 이력 데이터(historical data), 예를 들어, 연속적인 스펙트럼 측정들 사이의 평균 또는 최대 거리에 기초한다. 일부 구현들에서, 파장 범위(706)는 테스트 기판에 관한 정보에 기초하는데, 예를 들면, 목표 차이 6 V의 2배이다.

[0077] 도 7b는 광 검출기(52)에 의해 수신되는 광으로부터 측정된 스펙트럼(700b)의 예이다. 예를 들어, 스펙트럼(700b)은 스펙트럼(700a)이 취해진 직후 플래튼(24)의 회전 동안 측정된다. 일부 구현들에서, 종료점 결정 로직은 이전 스펙트럼(700a) 내의 특성(704)의 값(예를 들어, 520nm)을 결정하고, 파장 범위(708)의 중심이 특성(704)에 더 가깝게 위치되도록 파장 범위(706)를 조절한다.

[0078] 일부 구현들에서, 종료점 결정 로직은 특성(704)의 예상 현재 값을 결정하기 위해 비선형 함수(606)를 이용한다. 예를 들어, 종료점 결정 로직은 현재 폴리싱 시간을 이용하여 예상 차이를 결정할 수 있고 예상 차이를 특성(704)의 초기값 V1에 더함으로써 특성(704)의 예상 현재 값을 결정할 수 있다. 종료점 결정 로직은 파장 범위(708)의 중심을 특성(704)의 예상 현재 값에 둘 수 있다.

[0079] 도 7c는 광 검출기(52)에 의해 수신되는 광으로부터 측정된 스펙트럼(700c)의 다른 예를 보여준다. 예를 들어, 스펙트럼(700c)은 스펙트럼(700a)이 취해진 직후 플래튼(24)의 회전 동안 측정된다. 일부 구현들에서, 종료점 결정 로직은 특성(704)의 이전 값을 파장 범위(710)의 중심으로 이용한다.

[0080] 예를 들어, 종료점 결정 로직은 기판(10) 아래에서의 광학 헤드(53)의 2회의 연속적인 패스(pass) 동안 결정된 특성(704)의 값들 간의 평균 분산(average variance)을 결정한다. 종료점 검출 로직은 파장 범위(710)의 폭을 평균 분산의 2배로 설정할 수 있다. 일부 구현들에서, 종료점 결정 로직은 파장 범위(710)의 폭을 결정하는데

에 있어서, 특성(704)의 값들 간의 분산의 표준 편차를 이용한다.

[0081] 일부 구현들에서, 파장 범위(706)의 폭은 모든 스펙트럼 측정들에 대해 동일하다. 예를 들어, 파장 범위(706), 파장 범위(708) 및 파장 범위(710)의 폭은 동일하다. 일부 구현들에서, 파장 범위들의 폭은 서로 다르다. 예를 들어, 특성(704)이 특성의 이전 측정으로부터 2 나노미터만큼 변화할 것으로 추정될 때, 파장 범위(708)의 폭은 60 나노미터이다. 특성(704)이 특성의 이전 측정으로부터 5 나노미터만큼 변화할 것으로 추정될 때, 파장 범위(708)의 폭은 80 나노미터인데, 이것은 특성의 변화가 더 작을 때의 범위보다 큰 파장 범위이다.

[0082] 일부 구현들에서, 파장 범위(706)는 기판(10)의 폴리싱 동안 모든 스펙트럼 측정에 대해 동일하다. 예를 들어, 파장 범위(706)는 475 나노미터 내지 555 나노미터이고, 종료점 결정 로직은 기판(10)의 폴리싱 동안 취해진 모든 스펙트럼 측정에 대해, 선택된 스펙트럼 피쳐(702)를 475 나노미터 내지 555 나노미터의 파장에서 찾지만, 다른 파장 범위도 가능하다. 파장 범위(706)는 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 측정된 전체 스펙트럼 범위의 부분집합으로서 사용자 입력에 의해 선택될 수 있다.

[0083] 일부 구현들에서, 종료점 결정 로직은 스펙트럼 측정들 중 일부에서는 수정된 파장 범위 내에서, 그리고 나머지 스펙트럼들에서는 이전 스펙트럼에 대해 이용된 파장 범위 내에서, 선택된 스펙트럼 피쳐(702)를 찾는다. 예를 들어, 종료점 결정 로직은 플래튼(24)의 제1 회전 동안 측정된 스펙트럼에 대한 파장 범위(706), 및 플래튼(24)의 연속적인 회전 동안 측정된 스펙트럼에 대한 파장 범위(708) 내에서 선택된 스펙트럼 피쳐(702)를 찾는데, 여기에서의 측정들은 둘 다 기판(10)의 제1 영역에서 취해진 것이다. 본 예를 계속하여, 종료점 결정 로직은 동일한 플래튼 회전 동안 측정된 2개의 스펙트럼에 대해 파장 범위(710) 내에서 다른 선택된 스펙트럼 피쳐를 찾아보는데, 여기에서의 측정들은 둘 다 제1 영역과는 다른 기판(10)의 제2 영역에서 취해진 것이다.

[0084] 일부 구현들에서, 선택된 스펙트럼 피쳐(702)는 스펙트럼 밸리 또는 스펙트럼 제로-크로싱 포인트이다. 일부 구현들에서, 특성(704)은 피크 또는 밸리의 강도 또는 폭이다(예를 들어, 피크 아래의 고정된 거리에서 측정된 또는 피크와 최근접 밸리 간의 중간 높이에서 측정된 폭).

[0085] 도 8은 폴리싱 프로세스를 위한 종료점을 결정할 때 이용할 목표 차이 8V를 선택하기 위한 방법(800)을 보여준다. 제품 기판과 동일 패턴을 갖는 기판의 속성들을 측정한다(단계 802). 측정되는 기판은 본 명세서에서 "셋업" 기판이라고 지칭된다. 셋업 기판은 단순히 제품 기판과 유사하거나 동일한 기판일 수 있고, 다르게는 셋업 기판은 제품 기판들의 배치로부터의 한 기판일 수 있다. 측정되는 속성들은 기판 상의 관심 있는 특정 위치에서의 관심 있는 필름의 폴리싱-전 두께를 포함할 수 있다. 통상적으로, 복수의 위치에서의 두께가 측정된다. 위치들은 대개 각각의 위치에 대해 동일 유형의 다이 피쳐가 측정되도록 선택된다. 측정은 계측 스테이션(metrology station)에서 수행될 수 있다. 인-시튜 광학 모니터링 시스템은 폴리싱 이전에 기판으로부터 반사된 광의 스펙트럼을 측정할 수 있다.

[0086] 관심 있는 폴리싱 단계에 따라 셋업 기판을 폴리싱하고, 폴리싱 동안 획득된 스펙트럼들을 수집한다(단계 804). 폴리싱 및 스펙트럼 수집은 상술한 폴리싱 장치에서 수행될 수 있다. 스펙트럼들은 폴리싱 동안 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 수집된다. 목표 두께가 달성될 때에 기판으로부터 반사되는 광의 스펙트럼이 획득될 수 있도록, 기판은 오버폴리싱, 즉 추정되는 종료점을 지나 폴리싱된다.

[0087] 오버폴리싱되는 기판의 속성들을 측정한다(단계 806). 속성들은 폴리싱-전 측정을 위해 이용되는 특정 위치 또는 위치들에서의 관심 있는 필름의 폴리싱-후 두께들을 포함한다.

[0088] 측정된 두께들 및 수집된 스펙트럼들을 이용하여, 수집된 스펙트럼들을 조사함으로써, 폴리싱 동안 모니터링 할 피크 또는 밸리와 같은 특정 피쳐를 선택한다(단계 808). 피쳐는 폴리싱 장치의 조작자에 의해 선택될 수 있고, 다르게는 피쳐의 선택이 (예를 들어, 종래의 피크 검색 알고리즘 및 경험적 피크 선택 공식에 기초하여) 자동화될 수 있다. 예를 들어, 폴리싱 장치(20)의 조작자에게 등고선도(500b)가 제공될 수 있고, 조작자는 도 5의 (b)를 참조하여 전술한 바와 같이, 등고선도(500b)로부터 추적할 피쳐를 선택할 수 있다. 스펙트럼의 특정 영역이 (예를 들어, 과거의 경험, 또는 이론에 기초한 피쳐 거동(feature behavior)의 계산으로 인해) 폴리싱 동안 모니터링하기에 바람직한 피쳐를 포함할 것으로 예상되는 경우, 그 영역 내의 피쳐들만이 고려될 필요가 있다. 통상적으로, 기판이 폴리싱됨에 따라 셋업 기판의 최상부로부터 제거된 재료의 양과의 상관관계를 나타내는 피쳐가 선택된다.

[0089] 목표 필름 두께가 달성된 대략의 시간(approximate time)을 결정하기 위해, 측정된 폴리싱-전 필름 두께 및 폴리싱-후 기판 두께를 이용하여 선형 보간이 수행될 수 있다. 선택된 피쳐 특성의 종료점 값을 결정하기 위해, 그 대략의 시간이 스펙트럼 등고선도에 비교될 수 있다. 피쳐 특성의 종료점 값과 초기값 간의 차이가 목표 차

이로서 이용될 수 있다. 일부 구현들에서, 피쳐 특성의 값들을 정규화하기 위해, 피쳐 특성의 값들에 함수가 피팅된다. 함수의 종료점 값과 함수의 초기값 간의 차이가 목표 차이로서 이용될 수 있다. 기판들의 배치 중 나머지의 폴리싱 동안, 동일 피쳐가 모니터링된다.

[0090] 선택적으로, 스펙트럼들은 정확도 및/또는 정밀도를 향상시키기 위해 처리된다. 스펙트럼들은 예를 들어 이들을 공통 기준에 맞추어 정규화하기 위해, 이들의 평균을 구하기 위해, 및/또는 이들로부터 잡음을 필터링하기 위해 처리될 수 있다. 일 구현에서, 갑작스러운 스파이크를 감소시키거나 제거하기 위해, 저역 통과 필터가 스펙트럼들에 적용된다.

[0091] 통상적으로, 컴퓨터 장치가 특정 피쳐-기반 종료점 로직을 적용함으로써 종료점을 선언할 때 목표 두께가 달성되도록, 모니터링할 스펙트럼 피쳐는 특정 종료적 결정 로직에 대해 경험적으로 선택된다. 종료점 결정 로직은 종료점이 선언되어야 할 때를 결정하기 위해, 피쳐 특성에서의 목표 차이를 이용한다. 특성의 변화는 폴리싱이 시작할 때의 피쳐의 초기 특성 값에 관련하여 측정될 수 있다. 대안적으로, 종료점은 목표 차이 δV 외에, 예상 초기값 EIV 및 실제 초기값 AIV에 관련하여 선언될 수 있다. 종료점 로직은 기판 간의 기저 편차를 보상하기 위해, 실제 초기값과 예상 초기값 사이의 차이에 시작 값 가중치(start value weight, SVW)를 곱할 수 있다. 예를 들어, 종료점 결정 로직은 종료점 메트릭 $EM = SVW * (AIV - EIV) + \delta V$ 일 때 폴리싱을 종료할 수 있다.

[0092] 일부 구현들에서, 종료점을 결정하기 위해 가중된 조합이 이용된다. 예를 들어, 종료점 결정 로직은 함수로부터의 특성의 초기값, 함수로부터의 특성의 현재값, 및 초기값과 현재값 간의 제1 차이를 계산할 수 있다. 종료점 결정 로직은 초기값과 목표 값 간의 제2 차이를 계산할 수 있고, 제1 차이와 제2 차이의 가중된 조합을 생성할 수 있다. 가중된 값이 목표 값에 도달할 때 종료점이 선언될 수 있다. 종료점 결정 로직은 모니터링된 차이(또는 차이들)를 특성의 목표 차이에 비교함으로써 종료점이 선언되어야 하는 때를 결정할 수 있다. 모니터링된 차이가 목표 차이와 일치하거나 그를 넘어설 때, 종료점이 선언된다. 일 구현에서, 모니터링된 차이는 종료점이 선언되기 전의 소정 기간 동안(예를 들어, 플래튼의 2회 회전) 목표 차이와 일치하거나 그를 초과해야 한다.

[0093] 도 9는 특정 목표 두께 및 특정 종료점 결정 로직에 대해, 선택된 스펙트럼 피쳐에 연관된 특성들의 목표 값을 선택하기 위한 방법(901)을 보여준다. 단계 802-806에서 전술한 바와 같이 셋업 기판을 측정하고 폴리싱한다(단계 903). 특히, 스펙트럼들이 수집되고, 각각의 수집된 스펙트럼이 측정되는 시간이 저장된다.

[0094] 특정 셋업 기판을 위한 폴리싱 장치의 폴리싱 레이트를 계산한다(단계 905). 평균 폴리싱 레이트 PR은 폴리싱-전 및 폴리싱-후 두께 D1, D2와 실제 폴리싱 시간 PT를 이용하여 계산될 수 있는데, 예를 들면 $PR = (D2-D1)/PT$ 이다.

[0095] 이하에 논의되는 바와 같이, 선택된 피쳐의 특성들의 목표 값을 결정하기 위한 보정점(calibration point)을 제공하기 위해, 특정 셋업 기판에 대해서 종료점 시간을 계산한다(단계 907). 종료점 시간은 계산된 폴리싱 레이트 PR, 관심 있는 필름의 폴리싱-전 시작 두께 ST, 및 관심 있는 필름의 목표 두께 TT에 기초하여 계산될 수 있다. 폴리싱 레이트가 폴리싱 프로세스 전체에서 일정하다고 가정하면, 종료점 시간은 단순한 선형 보간으로서 계산될 수 있는데, 예를 들면 $ET=(ST-TT)/PR$ 이다.

[0096] 선택적으로, 계산된 종료점 시간은 패터닝된 기판들의 배치 중의 다른 기판을 폴리싱하고, 계산된 종료점 시간에 폴리싱을 중단하고, 관심 있는 필름의 두께를 측정함으로써 평가될 수 있다. 두께가 목표 두께의 만족스러운 범위 내에 있다면, 계산된 종료점 시간은 만족스럽다. 그렇지 않으면, 계산된 종료점 시간은 다시 계산될 수 있다.

[0097] 계산된 종료점 시간에 셋업 기판으로부터 수집된 스펙트럼으로부터 선택된 피쳐에 대한 목표 특성값들을 기록한다(단계 909). 관심 있는 파라미터들이 선택된 피쳐의 위치 또는 폭의 변화를 수반하는 경우, 계산된 종료점 시간에 앞서는 기간 동안 수집된 스펙트럼들을 조사함으로써 그 정보가 결정될 수 있다. 특성들의 초기값과 목표 값 간의 차이는 피쳐를 위한 목표 차이로서 기록된다. 일부 구현들에서, 단일 목표 차이가 기록된다.

[0098] 도 10은 피크-기반 종료점 결정 로직을 이용하여 폴리싱 단계의 종료점을 결정하는 방법(1000)을 보여준다. 패터닝된 기판들의 배치 중의 또 다른 기판을 전술한 폴리싱 장치를 이용하여 폴리싱한다(단계 1002).

[0099] 선택된 스펙트럼 피쳐의 식별정보(identification), 파장 범위 및 선택된 스펙트럼 피쳐의 특성을 수신한다(단계 1004). 예를 들어, 종료점 결정 로직은 기판의 처리 파라미터들과 함께 식별정보를 컴퓨터로부터 수신한다. 일부 구현들에서, 처리 파라미터들은 셋업 기판의 처리 동안 결정된 정보에 기초한다.

- [0100] 처음에 기판을 폴리싱하고, 기판으로부터 반사된 광을 측정하여 스펙트럼을 생성하고, 선택된 스펙트럼 피쳐의 특성 값을 측정된 스펙트럼의 과장 범위 내에서 결정한다. 플래튼의 각각의 회전에서, 이하의 단계들이 수행된다.
- [0101] 폴리싱 중인 기판 표면으로부터 반사되는 광의 하나 이상의 스펙트럼을 측정하여 현재의 플래튼 회전에 대한 하나 이상의 현재 스펙트럼을 획득한다(단계 1006). 도 8을 참조하여 전술한 바와 같이, 정확도 및/또는 정밀도를 향상시키기 위해, 현재의 플래튼 회전에 대해 측정된 하나 이상의 스펙트럼을 선택적으로 처리한다. 단 하나의 스펙트럼이 측정된다면, 그 하나의 스펙트럼이 현재 스펙트럼으로서 이용된다. 플래튼 회전에 대하여 둘 이상의 현재 스펙트럼이 측정된다면, 이들을 그룹화하고, 각각의 그룹 내에서 평균을 구하고, 그 평균들을 현재 스펙트럼들로 지정한다. 스펙트럼들은 기판의 중심으로부터의 방사상 거리에 의해 그룹화될 수 있다.
- [0102] 예로서, 포인트들(202 및 210)(도 2)에서 측정된 스펙트럼들로부터 제1 현재 스펙트럼이 획득될 수 있고, 포인트들(203 및 209)에서 측정된 스펙트럼들로부터 제2 현재 스펙트럼이 획득될 수 있고, 포인트들(204 및 208)에서 측정된 스펙트럼들로부터 제3 현재 스펙트럼이 획득될 수 있고, 등등이 가능하다. 선택된 스펙트럼 피크의 특성값들이 각각의 현재 스펙트럼에 대해 결정될 수 있고, 기판의 각 영역 내에서 따로따로 폴리싱이 모니터링될 수 있다. 대안적으로, 선택된 스펙트럼 피크의 특성에 대한 최악의 경우의 값들(worst-case values)이 현재 스펙트럼들로부터 결정될 수 있고, 종료점 결정 로직에 의해 이용될 수 있다.
- [0103] 플래튼의 각각의 회전 동안, 추가의 스펙트럼 또는 스펙트럼들이 현재 기판의 스펙트럼들의 시퀀스에 추가된다. 폴리싱이 진행함에 따라, 폴리싱 동안 재료가 기판으로부터 제거되는 것으로 인해 시퀀스 내의 스펙트럼들 중 적어도 일부가 상이하다.
- [0104] 도 7a-c를 참조하여 전술한 바와 같이, 현재 스펙트럼에 대한 수정된 과장 범위들이 생성된다(단계 1008). 예를 들어, 종료점 로직은 이전의 특성값들에 기초하여 현재 스펙트럼들에 대한 수정된 과장 범위들을 결정한다. 수정된 과장 범위들은 이전의 특성값들에 중심을 둘 수 있다. 일부 구현들에서, 수정된 과장 범위들은 예상되는 특성값들에 기초하여 결정되는데, 예를 들어 과장 범위들의 중심은 예상되는 특성값들과 일치한다.
- [0105] 일부 구현들에서, 현재 스펙트럼들에 대한 과장 범위들 중 일부는 상이한 방법들을 이용하여 결정된다. 예를 들어, 기판의 예지 영역에서 반사된 광으로부터 측정된 스펙트럼에 대한 과장 범위는, 과장 범위의 중심을 기판의 동일 예지 영역에서 측정된 이전의 스펙트럼으로부터의 특성값에 두는 것에 의해 결정된다. 본 예를 계속하여, 기판의 중심 영역에서 반사된 광으로부터 측정된 스펙트럼에 대한 과장 범위는, 과장 범위의 중심을 중심 영역에 대한 예상 특성값에 두는 것에 의해 결정된다.
- [0106] 일부 구현들에서, 현재 스펙트럼들에 대한 과장 범위들의 폭들은 동일하다. 일부 구현들에서, 현재 스펙트럼들에 대한 과장 범위들의 폭들 중 일부는 상이하다.
- [0107] 선택된 스펙트럼 피쳐 특성을 찾기 위한 과장 범위의 식별은 종료점의 검출 또는 폴리싱 레이트 변경의 결정에 있어서의 정확도를 더 커지게 할 수 있는데, 예를 들면 시스템이 후속의 스펙트럼 측정들 동안에 올바르지 않은 스펙트럼 피쳐를 선택할 가능성이 낮아진다. 전체 스펙트럼이 아니라 과장 범위 내에서 스펙트럼 피쳐들을 추적하면, 스펙트럼 피쳐들이 더 쉽고 신속하게 식별될 수 있다. 선택된 스펙트럼 피쳐들을 식별하는 데에 필요한 처리 자원들이 감소될 수 있다.
- [0108] 수정된 과장 범위들로부터 선택된 피크에 대한 현재의 특성값들을 추출하고(단계 1010), 도 8의 맥락에서 위에서 논의한 종료점 결정 로직을 이용하여 현재의 특성값들을 목표 특성값들과 비교한다(단계 1012). 예를 들어, 현재 피쳐 특성에 대한 값들의 시퀀스가 스펙트럼들의 시퀀스로부터 결정되고, 값들의 시퀀스에 함수가 피팅된다. 예를 들어, 함수는 현재 특성값과 초기 특성값 간의 차이에 기초하여 폴리싱 동안 기판으로부터 제거된 재료의 양의 근사치를 구할 수 있는 비선형 함수, 예를 들어, 2차 다항식일 수 있다.
- [0109] 종료점 결정 로직이 종료점 조건이 충족되지 않았다고 판정하는 한(단계 1014의 "아니오" 분기), 폴리싱이 계속될 수 있고, 단계들 1006, 1008, 1010, 1012 및 1014가 적절하게 반복된다. 예를 들어, 종료점 결정 로직은 함수에 기초하여, 피쳐 특성에 대한 목표 차이에 아직 도달하지 않았다고 판정한다.
- [0110] 일부 구현들에서, 기판의 복수의 부분으로부터의 반사 광의 스펙트럼들이 측정될 때, 종료점 결정 로직은 그 복수의 부분의 폴리싱이 동시에 또는 거의 동시에 완료되도록 기판의 하나 이상의 부분의 폴리싱 레이트가 조절될 필요가 있다고 결정할 수 있다.
- [0111] 종료점 결정 로직이 종료점 조건이 충족되었다고 판정할 때(단계 1014의 "예" 분기), 종료점이 선언되고, 폴리

성이 중단된다(단계 1016).

[0112] 원하지 않는 광 반사의 영향을 제거하거나 감소시키기 위해 스펙트럼들이 정규화될 수 있다. 관심 있는 필름 또는 필름들 외의 매체가 기여하는 광 반사들은 폴리싱 패드 원도우로부터의 광 반사 및 기판의 베이스 실리콘 층으로부터의 광 반사를 포함한다. 원도우로부터의 기여는 암 조건 하에서(즉, 인-시튜 모니터링 시스템 위에 놓여 있는 기판이 없을 때) 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 수신되는 광의 스펙트럼을 측정함으로써 추정될 수 있다. 실리콘 층으로부터의 기여는 베어 실리콘 기판의 광 반사의 스펙트럼을 측정함으로써 추정될 수 있다. 기여는 대개 폴리싱 단계의 개시 전에 획득된다. 측정된 미가공 스펙트럼은 다음과 같이 정규화된다:

$$\text{정규화된 스펙트럼} = (A - \text{Dark}) / (\text{Si} - \text{Dark})$$

[0114] 여기에서, A 는 미가공 스펙트럼이고, Dark 는 암 조건 하에서 얻어진 스펙트럼이고, Si 는 베어 실리콘 기판으로부터 얻어진 스펙트럼이다.

[0115] 설명된 실시예에서, 종료점 검출을 수행하기 위해 스펙트럼 내의 파장 피크의 변화가 이용된다. 또한, 피크 대신에, 또는 피크와 함께, 스펙트럼 내의 파장 밸리(즉, 국소 최소)의 변화도 이용될 수 있다. 복수의 피크(또는 밸리)의 변화도 종료점 검출 시에 이용될 수 있다. 예를 들어, 각각의 피크는 개별적으로 모니터링될 수 있고, 피크들 중 과반의 변화가 종료점 조건을 만족할 때 종료점이 선언될 수 있다. 다른 구현들에서, 변곡점 또는 스펙트럼 제로 크로싱의 변화가 종료점 검출을 결정하는 데에 이용될 수 있다.

[0116] 일부 구현들에서, 알고리즘 셋업 프로세스(1100)(도 11)에 이어서, 트리거된 피쳐 추적 기법(1200)(도 12)을 이용하여 하나 이상의 기판의 폴리싱이 수행된다.

[0117] 처음에, 예를 들어 전술한 기법들 중 하나를 이용하여, 제1 층의 폴리싱을 추적하는 데에 이용하기 위해, 스펙트럼 내의 관심 있는 피쳐의 특성을 선택한다(단계 1102). 예를 들어, 피쳐는 피크 또는 밸리일 수 있고, 특성은 피크 또는 밸리의 파장 또는 주파수에서의 위치 또는 폭, 또는 피크 또는 밸리의 강도일 수 있다. 관심 있는 피쳐의 특성이 매우 다양한 상이한 패턴의 제품 기판들에 적용가능하다면, 피쳐 및 특성은 장비 제조자에 의해 미리 선택될 수 있다.

[0118] 추가로, 폴리싱 종료점 부근에서의 폴리싱 레이트 dD/dt 를 결정한다(단계 1104). 예를 들어, 제품 기판의 폴리싱을 위해 이용될 폴리싱 프로세스에 따라 복수의 셋업 기판이 폴리싱될 수 있지만, 예상되는 종료점 폴리싱 시간 부근의 폴리싱 시간들은 상이하다. 셋업 기판들은 제품 기판과 동일 패턴을 가질 수 있다. 각각의 셋업 기판에 대해, 층의 폴리싱-전 두께 및 폴리싱-후 두께가 측정될 수 있고, 차이로부터 계산된 제거량, 및 그 셋업 기판에 대한 제거량 및 관련 폴리싱 시간을 저장하여 데이터 세트를 제공한다. 시간의 함수로서의 제거량의 선형 함수가 그 데이터 세트에 피팅될 수 있는데, 선형 함수의 기울기는 폴리싱 레이트를 제공한다.

[0119] 알고리즘 셋업 프로세스는 셋업 기판의 제1 층의 초기 두께 D_1 을 측정하는 단계를 포함한다(단계 1106). 셋업 기판은 제품 기판과 동일 패턴을 가질 수 있다. 제1 층은 유전체, 예를 들어, 로우 k 재료, 예컨대, 탄소 도핑된 이산화 규소, 예컨대, Applied Materials, Inc.의 Black Diamond™ 또는 Novellus Systems, Inc.의 Coral™일 수 있다.

[0120] 선택적으로, 제1 재료의 조성에 따라, 제1 재료 및 제2 재료 둘 다와 상이한 또 다른 재료, 예를 들어, 유전체 재료, 예컨대, 로우 k 캡핑 재료, 예컨대, TEOS(tetraethyl orthosilicate)의 하나의 이상의 추가 층을 제1 층 위에 퇴적한다(단계 1107). 제1 층 및 하나 이상의 추가 층이 함께 모여 층 스택을 제공한다.

[0121] 다음으로, 상이한 제2 재료, 예를 들어, 질화물, 예컨대, 탄탈 질화물 또는 티탄 질화물의 제2 층, 예를 들어, 배리어 층을 제1 층 또는 층 스택 위에 퇴적한다(단계 1108). 추가로, 도전층, 예를 들어, 금속층, 예컨대, 구리를 제2 층 위에 (그리고, 제1 층의 패턴에 의해 제공되는 트렌치들 내에) 퇴적할 수 있다(단계 1109).

[0122] 폴리싱 동안 이용될 광학 모니터링 시스템 외의 계측 시스템, 예를 들어, 타원법(ellipsometry)을 이용하는 광학 계측 스테이션 또는 프로필로미터(profilometer)와 같은 인-라인 또는 별개의 계측 스테이션에서 측정이 수행될 수 있다. 일부 계측 기법들, 예를 들어, 프로필로메트리(profilometry)에 있어서는, 제2 층이 퇴적되기 전에 제1 층의 초기 두께가 측정되지만, 다른 계측 기법들, 예를 들어, 타원법에 있어서는, 제2 층이 퇴적되기 전 또는 후에 측정이 수행될 수 있다.

[0123] 다음으로, 관심 있는 폴리싱 프로세스에 따라 셋업 기판을 폴리싱한다(단계 1110). 예를 들어, 제1 폴리싱 스테이션에서 제1 폴리싱 패드를 이용하여 도전층, 및 제2 층의 일부를 폴리싱하여 제거할 수 있다(단계 1110a).

다음으로, 제2 폴리싱 스테이션에서 제2 폴리싱 패드를 이용하여 제2 층, 및 제1 층의 일부를 폴리싱하여 제거할 수 있다(단계 1110b). 그러나, 일부 구현들에 있어서는 도전층이 존재하지 않는다는 점, 예를 들어, 폴리싱이 시작될 때 제2 층이 최외곽층이라는 점에 주목해야 한다.

[0124] 적어도 제2 층의 제거 동안, 그리고 아마도 제2 폴리싱 스테이션에서의 전체 폴리싱 작업 동안, 전술한 기법들을 이용하여 스펙트럼들을 수집한다(단계 1112). 그에 더하여, 별개의 검출 기법을 이용하여 제2 층의 제거(clearing) 및 제1 층의 노출을 검출한다(단계 1114). 예를 들어, 기판으로부터 반사된 광의 전체 강도 또는 모터 토크의 갑작스러운 변화에 의해 제1 층의 노출을 검출할 수 있다. 제2 층의 제거가 검출되는 시간 T_1 에서 스펙트럼의 관심 있는 피쳐의 특성의 값 V_1 이 저장된다. 제거가 검출되는 시간 T_1 이 또한 저장될 수 있다.

[0125] 제거의 검출 이후의 디폴트 시간에 폴리싱을 중지할 수 있다(단계 1118). 디폴트 시간은 제1 층의 노출 이후에 폴리싱이 중지되도록 충분히 크다. 폴리싱-후 두께가 목표 두께에 충분히 가까워서 폴리싱 레이트가 폴리싱-후 두께와 목표 두께 사이에서 선형인 것으로 가정될 수 있거나, 비선형 함수를 따르는 것으로 가정될 수 있도록 디폴트 시간이 선택된다. 폴리싱이 중지되는 시간에서의 스펙트럼의 관심 있는 피쳐의 특성의 값 V_2 가 검출되어 저장될 수 있고, 마찬가지로 폴리싱이 중지된 시간 T_2 도 검출되어 저장될 수 있다.

[0126] 예를 들어, 초기 두께를 측정하기 위해 이용된 것과 동일한 계측 시스템을 이용하여, 제1 층의 폴리싱-후 두께 D_2 를 측정한다(단계 1120).

[0127] 특성의 값의 디폴트 목표 변화 ΔV_D 를 계산한다(단계 1122). 이러한 값의 디폴트 목표 변화는 제품 기판에 대한 종료점 검출 알고리즘에서 이용될 것이다. 디폴트 목표 변화는 제2 층이 제거된 때의 값과 폴리싱이 중단된 때의 값 간의 차이로부터 계산될 수 있는데, 즉 $\Delta V_D = V_1 - V_2$ 이다.

[0128] 폴리싱 동작의 종료 부근에서의 모니터링된 특성의 함수로서의 두께의 변화율 dD/dV 를 계산한다(단계 1124). 예를 들어, 피크의 파장 위치가 모니터링되고 있다고 가정하면, 변화율은 피크의 파장 위치에서의 시프트의 옹스트롬마다 제거된 재료의 옹스트롬으로서 표현될 수 있다. 다른 예로서, 피크의 주파수 폭이 모니터링되고 있다고 가정하면, 변화율은 피크의 폭의 주파수에서의 시프트의 헤르츠마다 제거된 재료의 옹스트롬으로서 표현될 수 있다.

[0129] 일 구현에서, 시간의 함수로서의 값의 변화율 dV/dt 는 단순하게 제2 층이 노출되는 때와 폴리싱이 종료되는 때의 값들로부터 계산될 수 있는데, 예를 들면 $dV/dt = (D_2 - D_1)/(T_2 - T_1)$ 이다. 다른 구현에서, 셋업 기판의 폴리싱의 종료 부근, 예를 들어 T_1 과 T_2 사이의 시간의 마지막 25% 이하로부터의 데이터를 이용하여 시간의 함수로서 측정 값들에 비선형 함수가 피팅될 수 있고; 비선형 함수의 국소 기울기는 시간의 함수 dV/dt 로서 값의 변화율을 제공한다. 어느 경우에서도, 모니터링된 특성의 함수로서의 두께의 변화율 dD/dV 은 폴리싱 레이트를 값의 변화율로 나누는 것에 의해 계산되는데, 즉 $dD/dV = (dD/dt)/(dV/dt)$ 이다. 일단 변화율 dD/dV 가 계산되고 나면, 그것은 제품에 대해 일정하게 유지되어야 하며; 동일 제품의 상이한 로트들(lots)에 대하여 dD/dV 를 다시 계산할 필요가 없어야 한다.

[0130] 셋업 프로세스가 완료되고 나면, 제품 기판들이 폴리싱될 수 있다.

[0131] 선택적으로, 제품 기판의 로트로부터의 적어도 하나의 기판의 제1 층의 초기 두께 d_1 을 측정한다(단계 1202). 제품 기판들은 셋업 기판들과 적어도 동일한 층 구조를 가지며, 선택적으로 동일한 패턴을 갖는다. 일부 구현들에서, 모든 제품 기판이 측정되지는 않는다. 예를 들어, 로트로부터의 한 기판이 측정될 수 있고, 초기 두께가 그 로트로부터의 모든 다른 기판들에 대해 이용될 수 있다. 다른 예로서, 카세트로부터의 한 기판이 측정될 수 있고, 초기 두께가 그 카세트로부터의 모든 다른 기판들에 대해 이용될 수 있다. 다른 구현들에서, 모든 제품 기판이 측정된다. 제품 기판의 제1 층의 두께의 측정은 셋업 프로세스가 완료되기 전 또는 후에 수행될 수 있다.

[0132] 위에서 언급된 바와 같이, 제1 층은 유전체, 예를 들어, 로우 k 재료, 예컨대, 탄소 도핑된 이산화 규소, 예컨대, Applied Materials, Inc.의 Black Diamond™ 또는 Novellus Systems, Inc.의 Coral™일 수 있다. 폴리싱 동안 이용될 광학 모니터링 시스템 외의 계측 시스템, 예를 들어, 타원법을 이용하는 광학 계측 스테이션 또는 프로필로미터와 같은 인-라인 또는 별개의 계측 스테이션에서 측정이 수행될 수 있다.

[0133] 선택적으로, 제1 재료의 조성에 따라, 제1 재료 및 제2 재료 둘 다와 상이한 또 다른 재료, 예를 들어, 로우 k

캡핑 재료, 예컨대, TEOS(tetraethyl orthosilicate)의 하나 이상의 추가 층을 제품 기판 상의 제1 층 위에 퇴적한다(단계 1203). 제1 층 및 하나 이상의 추가 층은 함께 층 스택을 제공한다.

[0134] 다음으로, 상이한 제2 재료, 예를 들어, 질화물, 예컨대, 탄탈 질화물 또는 티탄 질화물의 제2 층, 예를 들어, 배리어 층을 제품 기판의 제1 층 또는 층 스택 위에 퇴적한다(단계 1204). 그에 더하여, 도전층, 예를 들어 금 속층, 예컨대 구리를 제품 기판의 제2 층 위에 (그리고, 제1 층의 패턴에 의해 제공되는 트렌치들 내에) 퇴적할 수 있다(단계 1205). 그러나, 일부 구현들에 있어서는 도전층이 존재하지 않는다는 점, 예를 들어, 폴리싱이 시작될 때 제2 층이 최외곽층이라는 점에 주목해야 한다.

[0135] 일부 계측 기법들, 예를 들어, 프로필로메트리에 있어서, 제2 층이 퇴적되기 전에 제1 층의 초기 두께가 측정되지만, 다른 계측 기법들, 예를 들어, 타원법에 있어서는, 제2 층이 퇴적되기 전 또는 후에 측정이 수행될 수 있다. 제2 층 또는 도전층의 퇴적은 셋업 프로세스가 완료되기 전 또는 후에 수행될 수 있다.

[0136] 폴리싱될 각각의 제품 기판에 대하여, 제1 층의 초기 두께에 기초하여 목표 특성 차이 ΔV 를 계산한다(단계 1206). 통상적으로, 이것은 폴리싱 시작 전에 발생하지만, 폴리싱이 시작한 후이지만 스펙트럼 피쳐 추적이 개시되기 전에 계산이 행해지는 것이 가능하다(단계 1210에서). 특히, 제품 기판의 저장된 초기 두께 d_1 이, 예를 들어, 호스트 컴퓨터로부터, 목표 두께 d_T 와 함께 수신된다. 그에 더하여, 시작 및 종료 두께 D_1 및 D_2 , 모니터링된 특성의 함수로서의 두께의 변화율 dD/dV , 및 셋업 기판에 대해 결정된 값의 디폴트 목표 변화 ΔV_D 가 수신될 수 있다.

[0137] 일 구현에서, 목표 특성 차이 ΔV 는 아래와 같이 계산된다:

$$\Delta V = \Delta V_D + (d_1 - D_1)/(dD/dV) + (D_2 - d_T)/(dD/dV)$$

[0138] 일부 구현들에서는, 사전 두께(pre-thickness)가 이용가능하지 않을 것이다. 이 경우에는, 상기 수학식으로부터 " $(d_1 - D_1)/(dD/dV)$ "가 생략될 것이고, 즉 다음과 같다:

$$\Delta V = \Delta V_D + (D_2 - d_T)/(dD/dV)$$

[0139] [0141] 제품 기판을 폴리싱한다(단계 1208). 예를 들어, 제1 폴리싱 스테이션에서 제1 폴리싱 패드를 이용하여 도전층, 및 제2 층의 일부를 폴리싱하여 제거할 수 있다(단계 1208a). 다음으로, 제2 폴리싱 스테이션에서 제2 폴리싱 패드를 이용하여 제2 층, 및 제1 층의 일부를 폴리싱하여 제거할 수 있다(단계 1208b). 그러나, 일부 구현들에 있어서는 도전층이 존재하지 않는다는 점, 예를 들어, 폴리싱이 시작될 때 제2 층이 최외곽층이라는 점에 주목해야 한다.

[0142] [0143] 인-시튜 모니터링 기법을 이용하여 제2 층의 제거 및 제1 층의 노출을 검출한다(단계 1210). 예를 들어, 기판으로부터 반사된 광의 총 강도 또는 모터 토크의 갑작스러운 변화에 의해 시간 t_1 에서의 제1 층의 노출이 검출될 수 있다. 예를 들어, 도 13은 아래에 놓인 배리어 층을 노출시키기 위한 금속 층의 폴리싱 동안의 시간의 함수로서 기판으로부터 수신된 광의 총 강도의 그래프를 도시한다. 이러한 총 강도는, 예를 들어, 측정된 파장들 전부에 걸쳐서 또는 미리 설정된 파장 범위에 걸쳐서 스펙트럼 강도를 적분함으로써, 스펙트럼 모니터링 시스템에 의해 획득된 스펙트럼 신호로부터 생성될 수 있다. 대안적으로, 총 강도가 아니라, 특정 단색 파장에서의 강도가 이용될 수 있다. 도 13에 도시된 바와 같이, 구리층이 제거되어감에 따라, 총 강도가 저하되고, 배리어 층이 완전하게 노출되면 총 강도는 수평을 유지한다. 강도의 수평 유지를 검출하여 스펙트럼 피쳐 추적을 개시하기 위한 트리거로서 이용할 수 있다.

[0144] 적어도 제2 층의 제거의 검출에서 (그리고 잠재적으로는 더 일찍, 예를 들어, 제2 폴리싱 패드를 이용한 제품 기판의 폴리싱의 시작으로부터) 시작하여, 전술한 인-시튜 모니터링 기법을 이용한 폴리싱 동안 스펙트럼들을 획득한다(단계 1212). 스펙트럼들은 추적되는 피쳐의 특성의 값을 결정하기 위해 전술한 기법들을 이용하여 분석된다. 예를 들어, 도 14는 폴리싱 동안의 시간의 함수로서 스펙트럼 피크의 파장 위치의 그래프를 도시한다. 제2 층의 제거가 검출되는 시간 t_1 에서의 스펙트럼에서 추적 중인 피쳐의 특성의 값 v_1 이 결정된다.

[0145] 이제, 특성의 목표 값 v_T 를 계산할 수 있다(단계 1214). 목표 값 v_T 는 목표 특성 차이 ΔV 를 제2 층의 제거의 시간 t_1 에서의 특성의 값 v_1 에 더하는 것에 의해 계산될 수 있는데, 즉 $v_T = v_1 + \Delta V$ 이다.

[0146] 추적 중인 피쳐의 특성이 목표 값에 도달하면, 폴리싱을 중지한다(단계 1216). 특히, 각각의 측정된 스펙트럼

에 대하여, 예를 들어 각각의 플래튼 회전에서, 추적 중인 피쳐의 특성의 값을 결정하여 값들의 시퀀스를 생성한다. 도 6a를 참조하여 전술한 바와 같이, 함수, 예컨대, 시간의 비선형 함수가 값들의 시퀀스에 피팅될 수 있다. 일부 구현들에서, 함수는 시간 원도우 내의 값들에 피팅될 수 있다. 함수가 목표 값과 교차하는 곳이 폴리싱이 중지되는 종료점 시간을 제공한다. 또한, 제2 층의 제거가 검출되는 시간 t_1 에서의 특성의 값 v_1 은 값들의 시퀀스 중 시간 t_1 근처의 부분에 함수, 예컨대, 비선형 함수를 피팅하는 것에 의해 결정될 수 있다.

[0146] 도 12 및 도 13에 도시된 방법은 제2 층의 퇴적 및 제거를 포함하지만, 일부 구현들에 있어서는 제2 층이 존재하지 않는데, 예를 들면, 폴리싱이 시작될 때 제1 층이 최외곽층이다. 예를 들어, 폴리싱 전에 제1 층의 초기 두께를 측정하고 그 초기 두께 및 목표 두께로부터 목표 피쳐 값을 계산하는 프로세스는, 제2 층이 위에 놓여 있든 놓여 있지 않은 간에 적용가능할 수 있으며, 제2 층은 선택사항이다. 특히, 제2 층을 퇴적하는 단계, 및 제1 층의 노출을 검출하는 단계는 생략될 수 있다. 그러한 제1 층은 폴리실리콘 및/또는 유전체 재료를 포함할 수 있는데, 예를 들면, 실질적으로 순수한 폴리실리콘으로 이루어질 수 있거나, 유전체 재료로 이루어질 수 있거나, 폴리실리콘과 유전체 재료의 조합일 수 있다. 유전체 재료는 산화물, 예를 들어, 실리콘 산화물, 또는 질화물, 예를 들어, 실리콘 질화물, 또는 유전체 재료들의 조합일 수 있다.

[0147] 예를 들어, (예컨대, 단계 1202에 대해 논의된 바와 같이) 제품 기판들의 로트로부터의 적어도 하나의 기판의 제1 층의 초기 두께 d_1 이 측정된다. (예를 들어, 단계 1206에 대해 논의된 바와 같이) 제1 층의 초기 두께에 기초하여 목표 특성 차이 ΔV 를 계산한다. 제품 기판의 제1 층의 폴리싱을 개시하고, 전술한 인-시튜 모니터링 기법들을 이용하여 제1 층의 폴리싱 동안 스펙트럼들을 획득한다. 특성의 값 v_1 은 제1 층의 폴리싱 동안, 예를 들어, 제1 층의 폴리싱을 시작하자마자 즉시 또는 폴리싱을 시작한 후 곧, 예를 들어, 몇 초 후에 측정될 수 있다. 몇 초를 기다리면, 모니터링 시스템으로부터의 신호가 안정화될 수 있어서, 값 v_1 의 측정이 더 정확해지게 된다. (예를 들어, 단계 1214에 대해 논의된 바와 같이) 특성에 대한 목표 값 v_t 가 계산될 수 있다. 예를 들어, 목표 특성 차이 ΔV 가 특성의 값 v_1 에 더해질 수 있는데, 즉 $v_t = v_1 + \Delta V$ 이다. (예를 들어, 단계 1216에 대해 논의된 바와 같이) 추적 중인 피쳐의 특성이 목표 값에 도달하면, 폴리싱이 중지된다. 이러한 접근방식은 목표 두께까지의 제거를 허용하면서, 아래에 놓인 구조물에서의 기판 간 차이로 인한 절대 피크 위치에서의 기판 간 편차를 보상한다.

[0148] 값들의 시퀀스로부터 잡음을 제거하기 위한 많은 기법들이 있다. 위에서는 시퀀스에 라인을 피팅하는 것이 논의되지만, 비선형 함수가 시퀀스에 피팅될 수 있거나, 또는 시퀀스를 평활화하기 위해 저역 통과 중간값 필터 (low pass median filter)가 이용될 수 있다(이 경우에는 필터링된 값을 목표 값에 직접 비교하여 종료점을 결정할 수 있다).

[0149] 위의 설명은 스펙트럼 피쳐의 특성, 예를 들어, 피크 또는 밸리의 파장 또는 폭을 추적하는 것에 초점을 맞추고 있지만, 위에서 언급된 바와 같이, 비선형 함수가 다른 인 시튜 모니터링 기법으로부터의 값들의 시퀀스에, 예컨대, 부합하는 기준 스펙트럼들에 의해 얻어진 두께 값들의 시퀀스에 대해, 또는 (예를 들어, 금속층의 폴리싱의 모니터링 동안) 와전류 모니터링 시스템에 의해 생성된 값들의 시퀀스에 대해 피팅될 수 있다.

[0150] 본 명세서에서 사용될 때, 기판이라는 용어는, 예를 들어, 제품 기판(예를 들어, 복수의 메모리 또는 프로세서 디아리를 포함하는 것), 테스트 기판, 베어 기판(bare substrate) 또는 게이팅 기판(gating substrate)을 포함할 수 있다. 기판은 접적 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.

[0151] 본 명세서에 설명된 본 발명의 실시예들 및 기능적 동작들 전부는 본 명세서에 개시된 구조적 수단들 및 그의 구조적 등가물들을 포함하는 컴퓨터 소프트웨어, 펌웨어 또는 하드웨어로, 또는 디지털 전자 회로로, 또는 이들의 조합으로 구현될 수 있다. 본 발명의 실시예들은 하나 이상의 컴퓨터 프로그램 제품으로서, 즉 데이터 처리 장치, 예를 들어, 프로그램 가능 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 프로세서나 컴퓨터에 의해 실행되거나 그것의 동작을 제어하기 위해, 정보 캐리어 내에, 예를 들어, 머신 판독가능한 저장 장치 내에, 또는 전파 신호 내에 유형으로(tangibly) 구현되는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램으로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 프로그램(프로그램, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션 또는 코드로도 알려져 있음)은 컴파일형 또는 해석형 언어를 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 작성될 수 있고, 그것은 독립형 프로그램(stand-alone program)으로서, 또는 모듈, 컴포넌트, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서 이용하기에 적합한 다른 유닛으로서 전개되는 것을 포함하여,

임의의 형태로 전개될 수 있다. 컴퓨터 프로그램이 반드시 파일에 대응하는 것은 아니다. 프로그램은 다른 프로그램 또는 데이터를 보유하는 파일의 부분 내에, 해당 프로그램에 전용인 단일 파일 내에, 또는 복수의 코디네이트된 파일(예를 들어, 하나 이상의 모듈, 서브 프로그램 또는 코드의 부분들을 저장하는 파일) 내에 저장될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨터 상에서, 또는 한 장소에 있거나 복수의 장소에 걸쳐 분산되어 통신 네트워크에 의해 상호접속된 복수의 컴퓨터 상에서 실행되도록 전개될 수 있다.

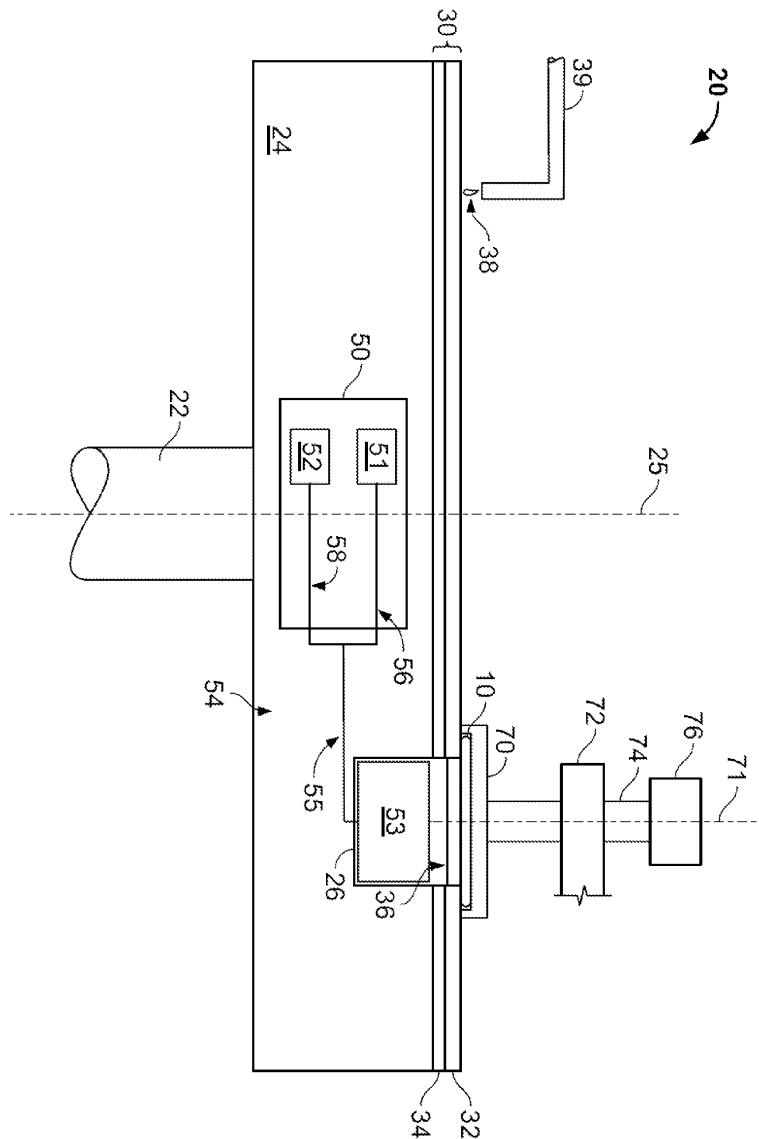
[0152] 본 명세서에 설명된 프로세스 및 논리 흐름은 입력 데이터에 작용하여 출력을 생성함으로써 기능을 수행하기 위해 하나 이상의 컴퓨터 프로그램을 실행하는 하나 이상의 프로그램 가능한 프로세서에 의해 수행될 수 있다. 프로세스 및 논리 흐름은 또한 특수 목적의 논리 회로, 예를 들어, FPGA(field programmable gate array) 또는 ASIC(application-specific integrated circuit)에 의해 수행될 수 있으며, 장치 또한 그러한 특수 목적의 논리 회로로서 구현될 수 있다.

[0153] 전술한 폴리싱 장치 및 방법은 다양한 폴리싱 시스템에서 적용될 수 있다. 폴리싱 패드 또는 캐리어 헤드, 또는 둘 다가 이동하여 폴리싱 표면과 기판 사이의 상대적인 움직임을 제공할 수 있다. 예를 들어, 플래튼은 회전하는 것이 아니라 궤도를 그리며 돌 수 있다. 폴리싱 패드는 플래튼에 고정된 원형(또는 어떤 다른 형상)의 패드일 수 있다. 종료점 검출 시스템의 일부 양태들은, 예를 들면, 폴리싱 패드가 선형으로 이동하는 연속적인 또는 릴-투-릴(reel-to-reel) 벨트인 선형 폴리싱 시스템에 적용 가능할 수 있다. 폴리싱 충은 표준(예를 들어, 필러를 갖거나 갖지 않는 폴리우레탄) 폴리싱 재료, 연성 재료, 또는 고정식 연마 재료(fixed-abrasive material)일 수 있다. 상대적 위치의 용어들이 이용되는데, 폴리싱 표면과 기판은 수직 배향 또는 어떤 다른 배향으로 유지될 수 있음을 이해해야 한다.

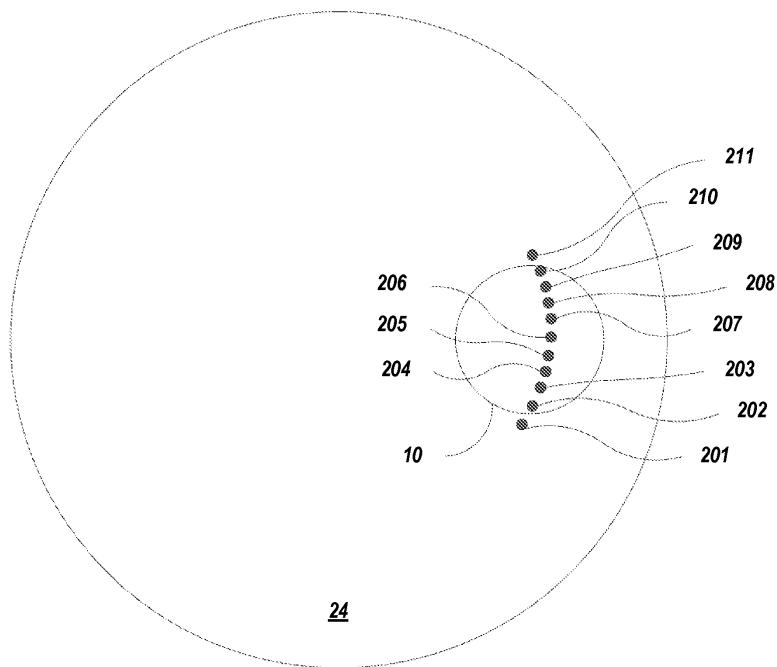
[0154] 구체적인 실시예들이 설명되었다. 다른 실시예들은 이하의 청구항들의 범위 내에 있다. 예를 들어, 청구항들에 기재된 동작들은 상이한 순서로 수행되어도 바람직한 결과를 달성할 수 있다.

도면

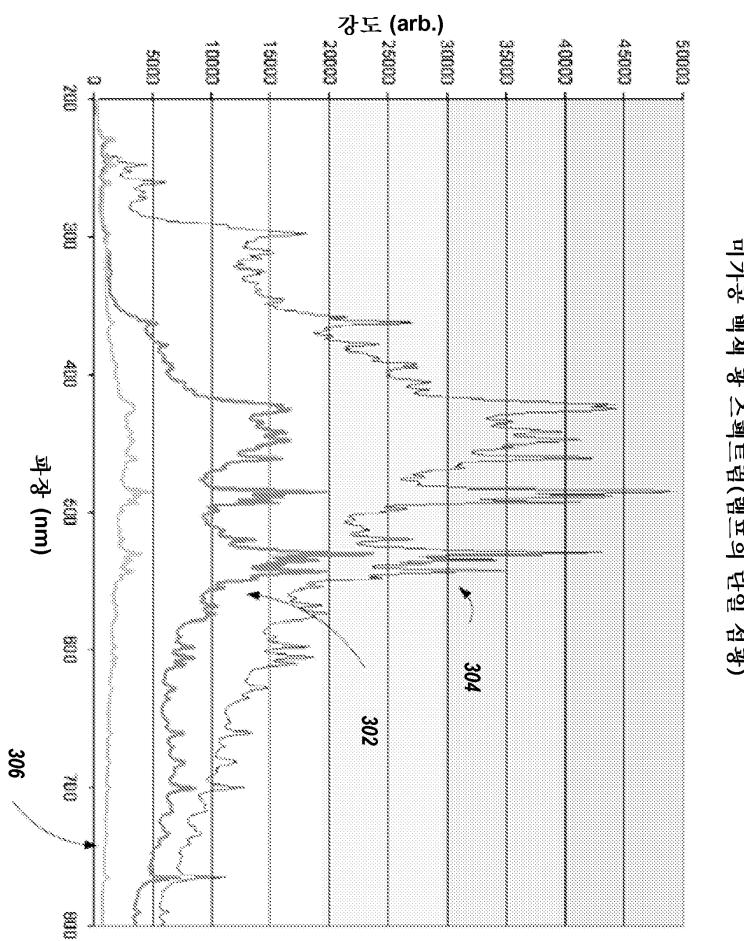
도면1



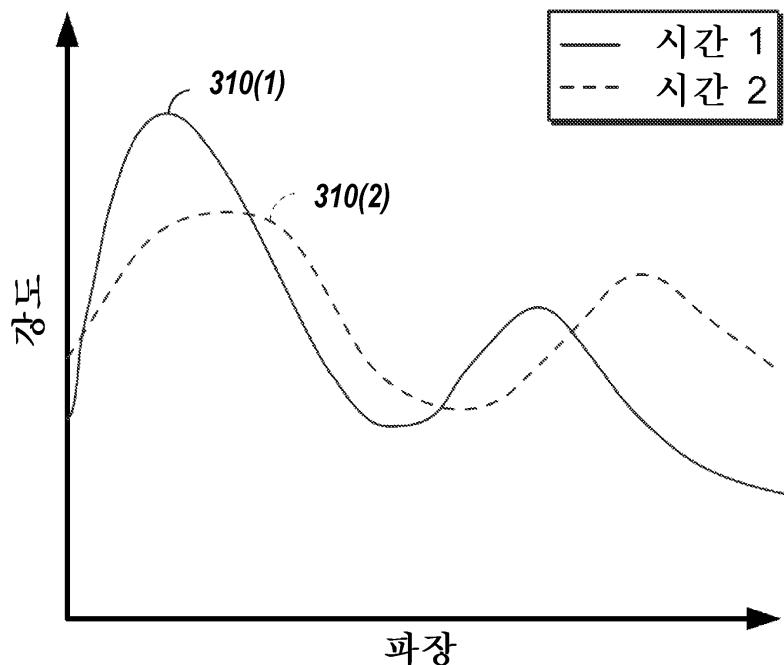
도면2



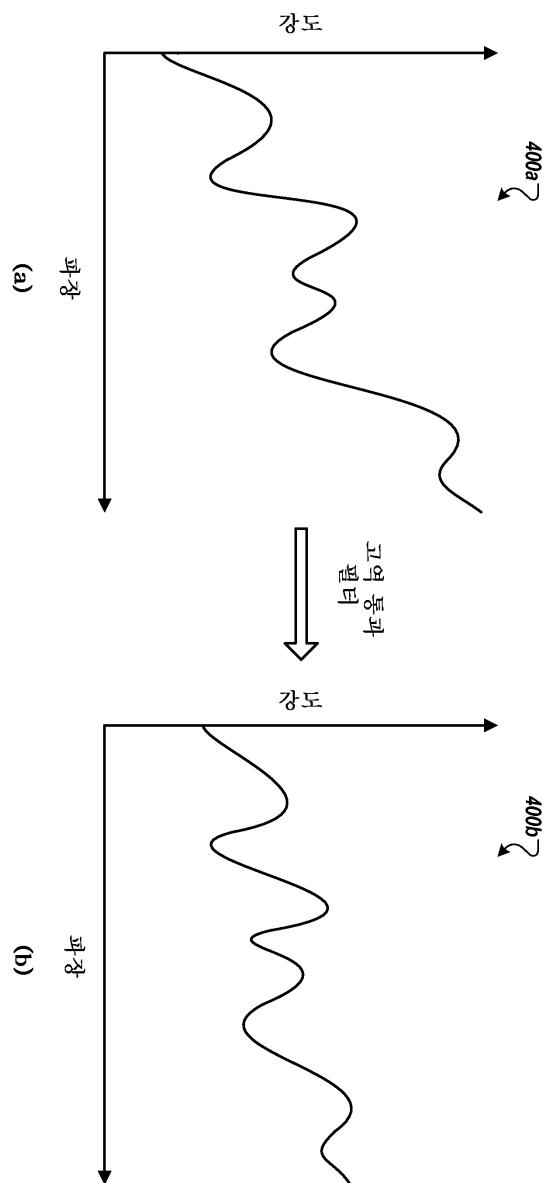
도면3a



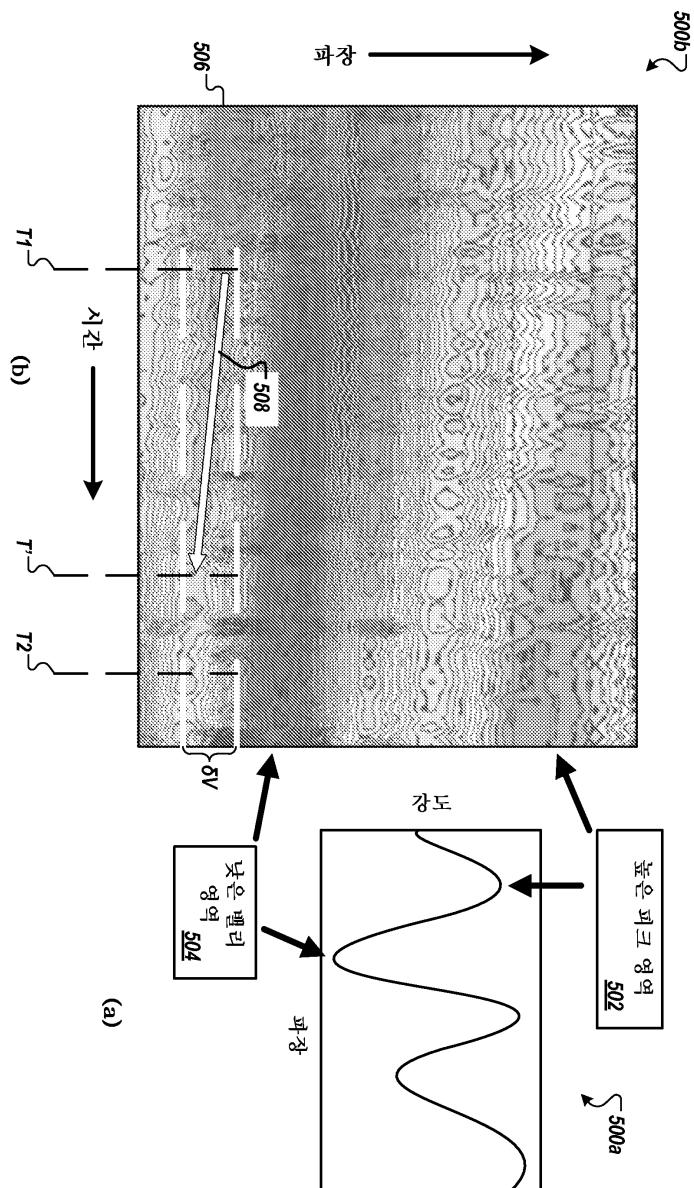
도면3b



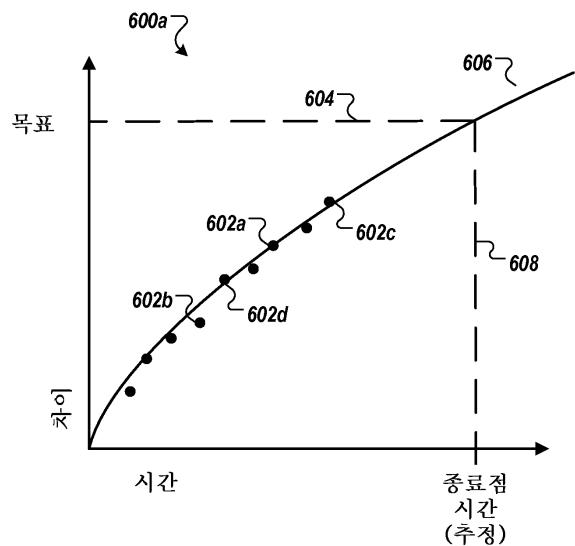
도면4



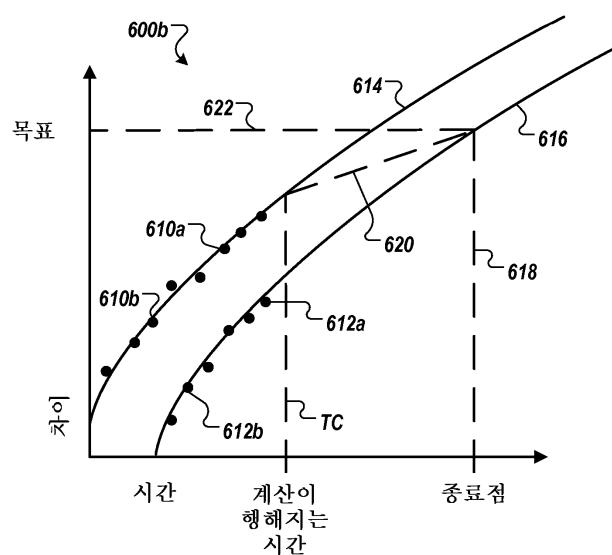
도면5



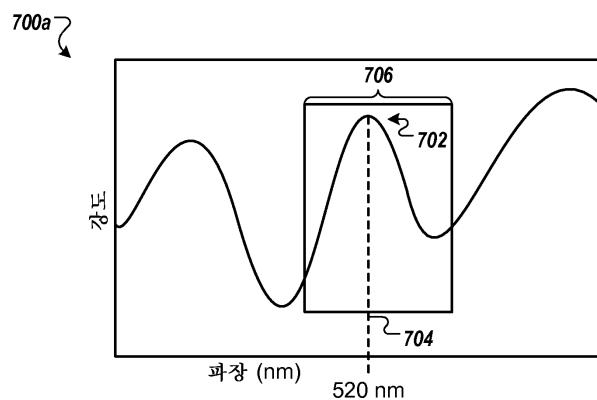
도면6a



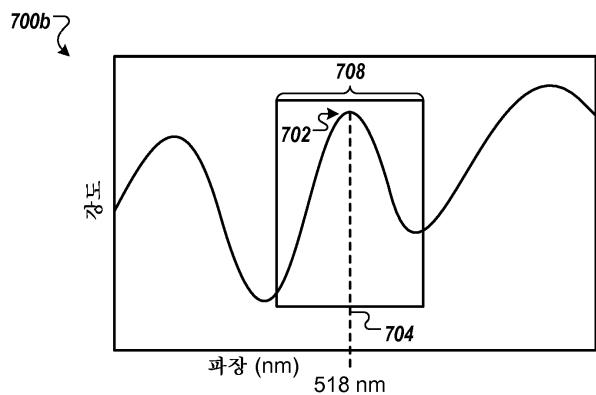
도면6b



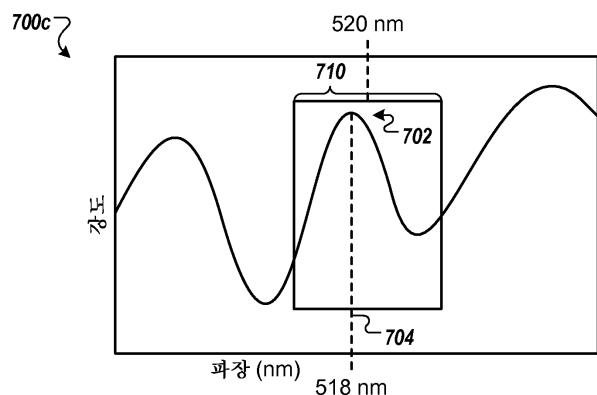
도면7a



도면7b



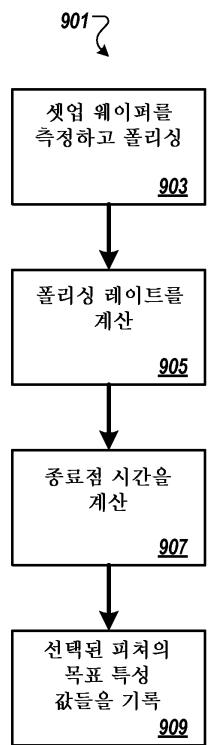
도면7c



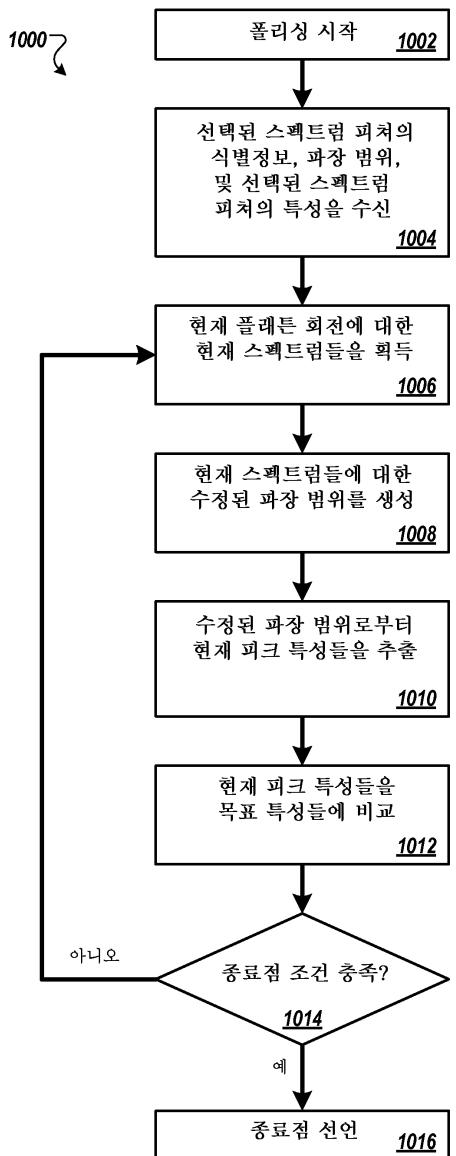
도면8



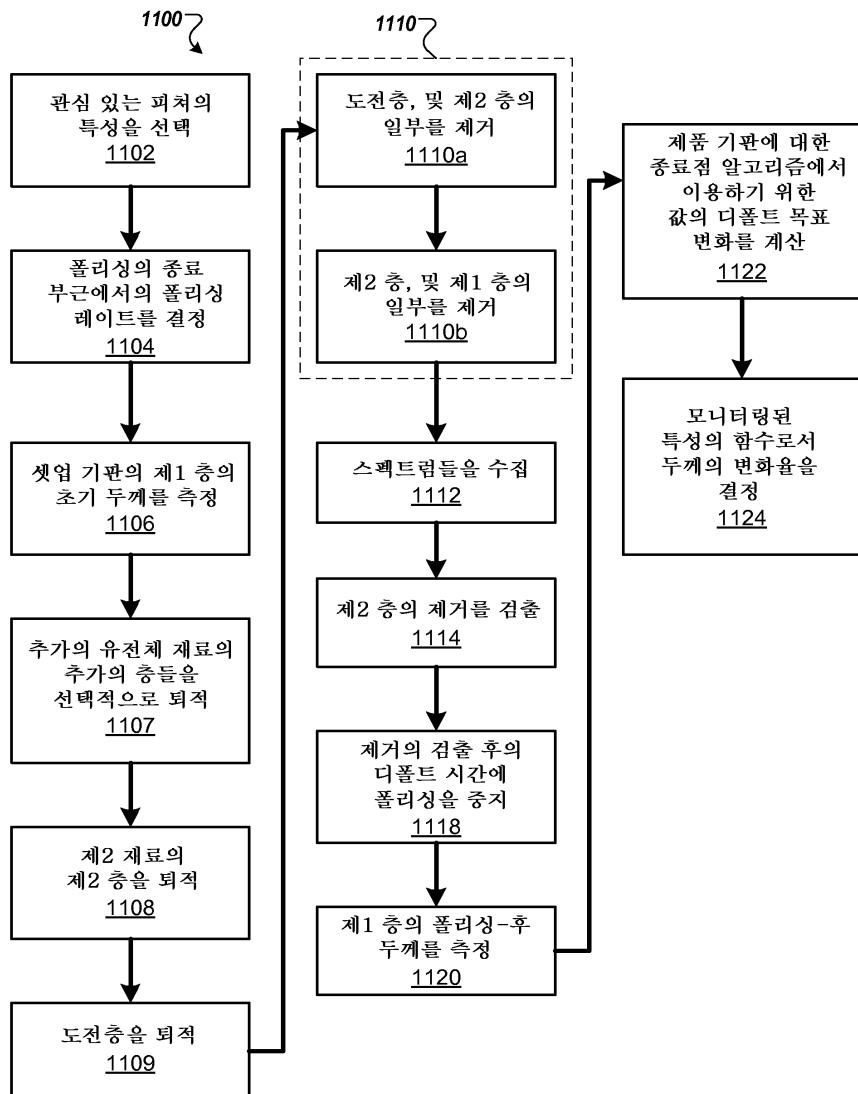
도면9



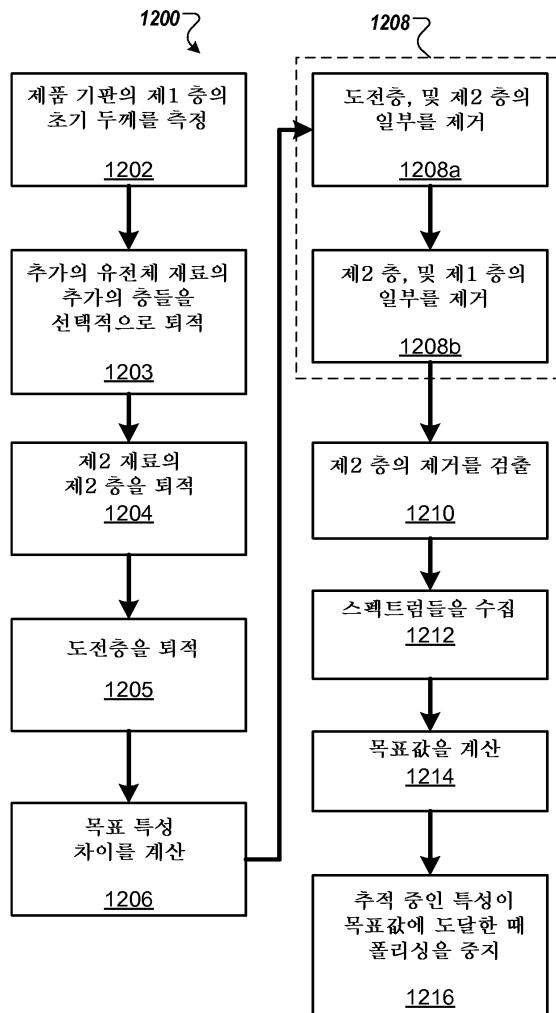
도면10



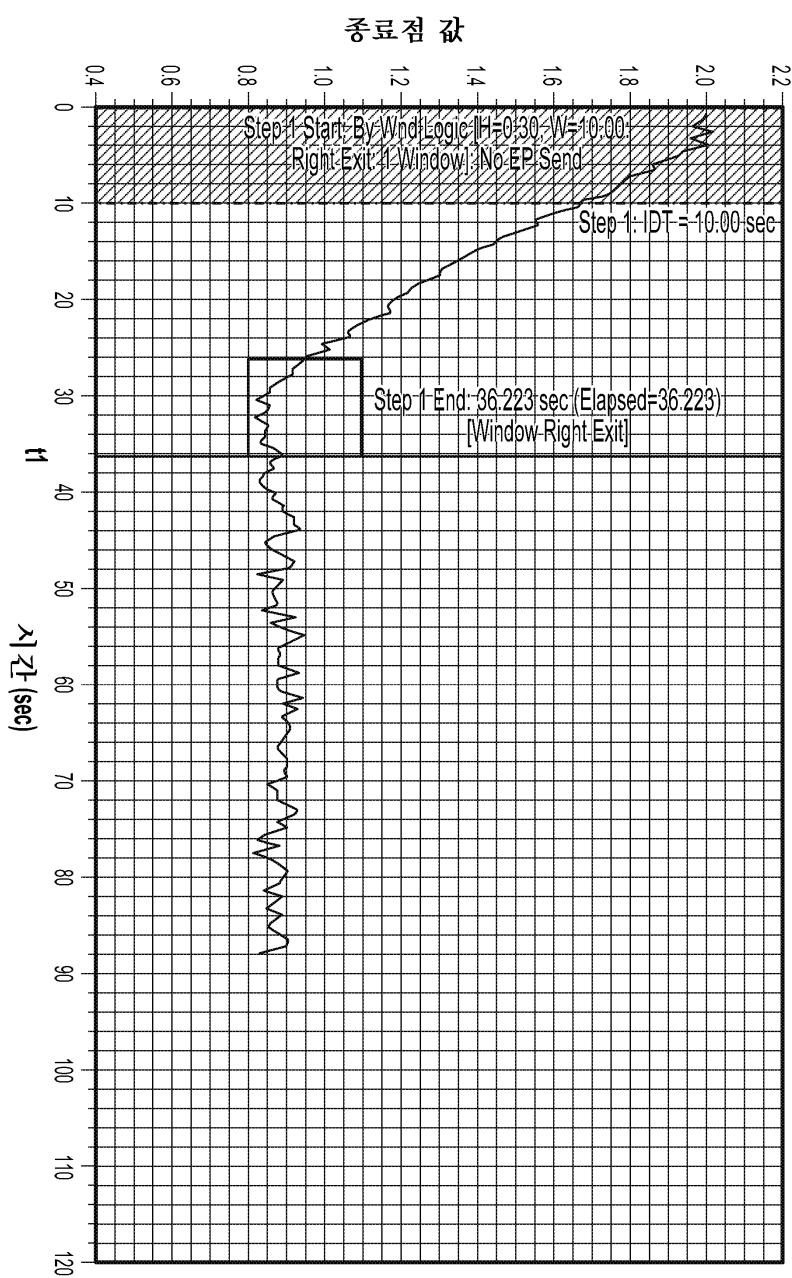
도면11



도면12



도면13



도면14

