



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월05일

(11) 등록번호 10-1834711

(24) 등록일자 2018년02월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B24B 37/005 (2012.01) B24B 37/04 (2006.01)

G05B 19/18 (2006.01) G05D 16/20 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B24B 37/005 (2013.01)

B24B 37/042 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-7015865(분할)

(22) 출원일자(국제) 2012년04월23일

심사청구일자 2017년06월09일

(85) 번역문제출일자 2017년06월09일

(65) 공개번호 10-2017-0071609

(43) 공개일자 2017년06월23일

(62) 원출원 특허 10-2013-7031787

원출원일자(국제) 2012년04월23일

심사청구일자 2017년04월21일

(86) 국제출원번호 PCT/US2012/034702

(87) 국제공개번호 WO 2012/148859

국제공개일자 2012년11월01일

(30) 우선권주장

13/098,257 2011년04월29일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020070055567 A

US20070102116 A1

US20040023606 A1

(73) 특허권자

어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드

미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050

(72) 발명자

장, 후안보

미국 95124 캘리포니아주 산 호세 헤리티지 드라이브 2204

신, 가렛 호

미국 94087 캘리포니아주 서니베일 켄리 웨이 728  
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

양영준, 백만기

전체 청구항 수 : 총 19 항

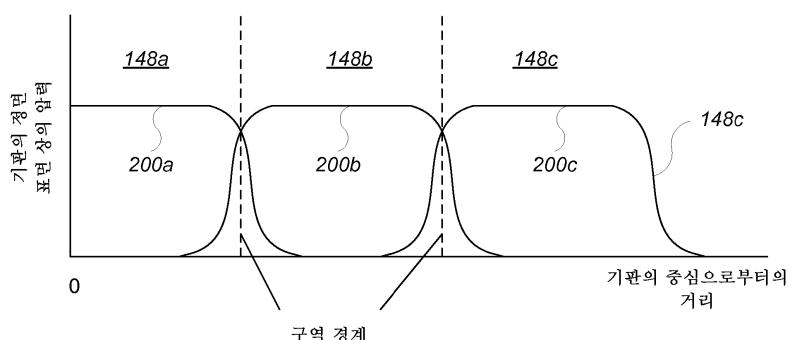
심사관 : 최정섭

(54) 발명의 명칭 제거 프로파일을 생성하기 위한 폴리싱 파라미터들의 선택

**(57) 요약**

기판 상에 독립적으로 제어 가능한 압력들을 인가하기 위해 복수의 구역을 갖는 캐리어 헤드를 포함하는 화학적 기계적 폴리싱 시스템의 복수의 제어 가능한 파라미터에 대한 값들이 선택된다. 기판의 정면 표면 상의 제거 프로파일에서의 변동을 제어 가능한 파라미터들에서의 변동에 관련시키는 데이터가 저장되고, 데이터는 기판의 정면

(뒷면에 계속)

**대표도 - 도4**

표면 상의 복수의 위치에서의 제거를 포함하고, 챔버보다 많은 수의 위치가 존재한다. 타겟 제거 프로파일과, 기판의 정면 표면 상의 제거 프로파일에서의 변동을 파라미터들에서의 변동에 관련시키는 데이터로부터 계산된 예상 제거 프로파일 사이의 차이를 최소화하기 위해 복수의 제어가능한 파라미터 중의 각각의 파라미터에 대한 값이 결정된다. 복수의 제어가능한 파라미터 중의 각각의 파라미터에 대한 값이 저장된다.

(52) CPC특허분류

*G05B 19/182* (2013.01)

*G05D 16/20* (2013.01)

*G05B 2219/45232* (2013.01)

(72) 발명자

홍, 킹 이

미국 95054 캘리포니아주 산타 클라라 맨션 파크  
드라이브 넘버306 550

보한논, 나단

미국 95070 캘리포니아주 사라토가 포르토스 드라  
이브 19231

장, 청

미국 19454 펜실바니아주 노쓰 웨일즈 에이피티.  
넘버B-1 빌딩 넘버6 로어 스테이트 로드 700 잉글  
리쉬 빌리지 아파트먼츠

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

화학적 기계적 폴리싱 시스템 내의 캐리어 헤드의 복수의 독립적으로 제어가능한 챔버 압력에 대한 값들을 선택하기 위한 컴퓨터 프로그램이 저장된 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체로서, 상기 캐리어 헤드는 기판 상의 복수의 대응하는 구역에 상기 독립적으로 제어가능한 챔버 압력들을 인가하기 위한 복수의 제어가능한 챔버를 포함하며,

상기 컴퓨터 프로그램은 프로세서로 하여금:

상기 복수의 제어가능한 챔버의 각각의 챔버에 대하여, 상기 기판의 정면 표면(front surface) 상의 압력 분포(pressure distribution)를 상기 챔버의 챔버 압력에 관련시키는 데이터를 저장하는 동작들 - 상기 데이터는 상기 기판의 상기 정면 표면 상의 복수의 위치(position)에서의 압력을 포함하고, 챔버들의 수보다 더 많은 수의 위치들이 존재하며, 상기 복수의 위치는 상기 챔버에 대응하는 구역 내부의 위치들과 상기 챔버에 대응하는 구역 외부의 위치들을 포함함 -;

상기 복수의 구역 중의 각자의 구역 내의 적어도 일부의 위치들에 대한 예상 압력 프로파일(expected pressure profile)이 상기 각자의 구역에 대응하는 챔버에 대한 챔버 압력의 영향 및 상기 각자의 구역에 대응하지 않는 챔버에 대한 챔버 압력의 영향을 포함하도록, 타겟 압력 프로파일과, 상기 기판의 정면 표면 상의 압력 분포를 챔버 압력에 관련시키는 데이터로부터 계산된 예상 압력 프로파일 사이의 차이를 최소화하기 위해 상기 복수의 제어가능한 챔버의 각각의 챔버에 대한 챔버 압력의 값을 결정하는 동작들; 및

상기 복수의 제어가능한 챔버 압력 중의 각각의 챔버 압력에 대한 값을 저장하는 동작들

을 포함하는 동작들을 수행하게 하도록 동작 가능한 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 위치들은 상기 기판에 걸쳐 규칙적으로(regularly) 이격되는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 복수의 구역은 동심으로(concentrically) 배열되고, 상기 복수의 위치는 상기 기판의 중심으로부터의 방사상 거리들(radial distances)인, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 데이터를 저장하는 동작들은 복수의 압력 분포 프로파일을 저장하는 동작들을 포함하고, 각각의 압력 분포 프로파일은 상기 기판 상의 복수의 위치 각각에서 상기 기판의 정면 표면에 인가되는 압력을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 5

제4항에 있어서, 상기 복수의 압력 분포 프로파일은, 각각의 챔버에 대해, 제1 압력 분포 프로파일 및 제2 압력 분포 프로파일을 포함하고, 상기 챔버가 제1 챔버 압력에 있는 경우에 상기 제1 압력 분포 프로파일은 상기 복수의 위치 각각에 인가된 압력을 제공하고, 상기 챔버가 상이한 제2 챔버 압력에 있는 경우에 상기 제2 압력 분포 프로파일은 상기 복수의 위치 각각에 인가된 압력을 제공하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 각각의 챔버에 대한 챔버 압력의 값을 결정하는 동작들은 적어도 하나의 값을 반복적으로 조절하고, 압력 분포를 각각의 챔버 내의 챔버 압력에 관련시키는 상기 데이터로부터 상기 예상 압력 프로파일을 계산하고, 상기 예상 압력 프로파일과 상기 타겟 압력 프로파일 사이의 차이를 결정하는 동작들을 포함하는,

비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜(in-situ) 수집된 데이터로부터 상기 타겟 압력 프로파일을 생성하고, 상기 제1 기판의 폴리싱 동안 인가된 적어도 하나의 압력이 조절되어 상기 챔버 압력에 대한 값에 매칭하게 하는 동작들을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 제1 플래튼(platen)에서 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜 수집된 데이터로부터 상기 타겟 압력 프로파일을 생성하고, 상기 챔버 압력을 이용하여 상이한 제2 플래튼에서 상기 제1 기판이 폴리싱되게 하는 동작들을 더 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 9

제1항에 있어서, 제1 플래튼에서 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜 수집된 데이터로부터 상기 타겟 압력 프로파일을 생성하고, 상기 챔버 압력을 이용하여 상기 제1 플래튼에서 상이한 제2 기판이 폴리싱되게 하는 동작들을 더 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 10

화학적 기계적 폴리싱 시스템 내의 캐리어 헤드의 복수의 독립적으로 제어가능한 챔버 압력에 대한 값을 선택하기 위한 컴퓨터 프로그램이 저장된 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체로서, 상기 캐리어 헤드는 기판 상의 복수의 대응하는 구역에 상기 독립적으로 제어가능한 챔버 압력들을 인가하기 위한 복수의 제어가능한 챔버를 포함하며,

상기 컴퓨터 프로그램은 프로세서로 하여금:

상기 복수의 제어가능한 챔버의 각각의 챔버에 대하여, 상기 기판의 정면 표면 상의 제거 프로파일에서의 변동(variation)을 상기 챔버의 제어가능한 챔버 압력에서의 변동에 관련시키는 데이터를 저장하는 동작들 - 상기 데이터는 상기 기판의 정면 표면 상의 복수의 위치에서의 제거를 포함하고, 챔버들의 수보다 더 많은 수의 위치들이 존재하며, 상기 복수의 위치는 상기 챔버에 대응하는 구역 내부의 위치들과 상기 챔버에 대응하는 구역 외부의 위치들을 포함함 -;

상기 복수의 구역 중의 각자의 구역 내의 적어도 일부의 위치들에 대한 예상 제거율(expected removal rate)이 상기 각자의 구역에 대응하는 챔버에 대한 챔버 압력의 영향 및 상기 각자의 구역에 대응하지 않는 챔버에 대한 챔버 압력의 영향을 포함하도록, 타겟 제거 프로파일과, 상기 기판의 정면 표면 상의 제거 프로파일에서의 변동을 각각의 챔버에 대한 챔버 압력에서의 변동에 관련시키는 데이터로부터 계산된 예상 제거 프로파일 사이의 차이를 최소화하기 위해 상기 복수의 제어가능한 챔버의 각각의 챔버에 대한 챔버 압력의 값을 결정하는 동작들; 및

상기 복수의 제어가능한 챔버 압력 중의 각각의 챔버 압력에 대한 값을 저장하는 동작들

을 포함하는 동작들을 수행하게 하도록 동작 가능한 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 11

제10항에 있어서, 상기 위치들은 상기 기판에 걸쳐 규칙적으로 이격되는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 12

제11항에 있어서, 상기 복수의 구역은 중심으로 배열되고, 상기 복수의 위치는 상기 기판의 중심으로부터의 방사상 거리들인, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

#### 청구항 13

제10항에 있어서, 상기 데이터를 저장하는 동작들은 복수의 측정된 제거 프로파일을 저장하는 동작들을 포함하고, 각각의 측정된 제거 프로파일은 상기 기판 상의 복수의 위치 각각에서 기판의 정면 표면으로부터 제거되는 양을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

**청구항 14**

제13항에 있어서, 상기 복수의 제거 프로파일은, 상기 복수의 제어가능한 챔버 압력에 대한 베이스라인 값들의 집합 하에서 폴리싱된 하나의 기판에 대한 베이스라인 제거 프로파일을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

**청구항 15**

제14항에 있어서, 상기 복수의 제거 프로파일은 추가 기판들에 대한 복수의 조절된 제거 프로파일을 포함하고, 각각의 추가 기판은, 상기 하나의 기판에 대한 베이스라인 값과는 상이한 상기 챔버 압력에 대해 조절된 값으로 설정된 상기 복수의 제어가능한 챔버 중 정확하게 하나의 챔버를 이용하여 폴리싱되는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

**청구항 16**

제10항에 있어서, 상기 프로세서로 하여금, 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜 수집된 데이터로부터 상기 타겟 제거 프로파일을 생성하고, 상기 제1 기판의 폴리싱 동안 챔버 내의 압력이 조절되어 상기 챔버에 대한 챔버 압력에 대한 값에 매칭하게 하는 동작들을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

**청구항 17**

제10항에 있어서, 각각의 챔버에 대한 챔버 압력의 값을 결정하는 동작들은, 적어도 하나의 값을 반복적으로 조절하고, 상기 데이터로부터 상기 예상 제거 프로파일을 계산하고, 예상 압력 프로파일과 타겟 압력 프로파일 사이의 차이를 결정하는 동작들을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

**청구항 18**

제10항에 있어서, 상기 프로세서로 하여금, 제1 플래튼에서 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜 수집된 데이터로부터 상기 타겟 제거 프로파일을 생성하고, 상기 저장된 값으로 설정된 상기 챔버에 대한 상기 챔버 압력을 이용하여 상이한 제2 플래튼에서 상기 제1 기판이 폴리싱되게 하는 동작들을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

**청구항 19**

제10항에 있어서, 상기 프로세서로 하여금, 제1 플래튼에서 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜 수집된 데이터로부터 상기 타겟 제거 프로파일을 생성하고, 상기 저장된 값으로 설정된 상기 챔버에 대한 상기 챔버 압력을 이용하여 상기 제1 플래튼에서 상이한 제2 기판이 폴리싱되게 하는 동작들을 더 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 저장 매체.

**발명의 설명****기술 분야**

[0001] 본 명세서는 화학적 기계적 폴리싱(chemical mechanical polishing) 동안의 캐리어 헤드의 제어에 관한 것이다.

**배경 기술**

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

[0003] 화학적 기계적 폴리싱(CMP: chemical mechanical polishing)은 일반적으로 인정되는 평탄화 방법 중 하나이다. 이 평탄화 방법은 전형적으로 기판이 캐리어 또는 폴리싱 헤드 상에 탑재될 것을 요구한다. 기판의 노출된 표

면은 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 문제점은 기판 층의 균일한 두께를 달성하는 것이다. 슬러리 분포, 폴리싱 패드 상태, 폴리싱 패드와 기판 간의 상대 속도, 및 폴리싱 패드와 기판의 상호작용의 역학(dynamics)의 변동(variation)은 기판에 걸쳐 재료 제거율(material removal rate)의 변동을 유발할 수 있다. 이러한 변동과, 기판 층의 최초 두께에서의 변동은 기판 층의 결과적인 두께의 변동을 야기한다.

[0005] 일부 캐리어 헤드는 복수의 독립적인 가압 챔버(multiple independently pressurizable chambers)를 포함한다. 챔버들은 기판의 상이한 부분들에 독립적으로 제어 가능한 압력을 제공할 수 있다. 상이한 챔버들에 상이한 압력을 제공함으로써, 기판의 대응 부분들에 대한 압력, 그리고 그에 따른 그 대응 부분들 상에서의 폴리싱 레이트(polishing rate)는 기판 층 내의 불균일성을 부분적으로 보상하도록 선택될 수 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 일부 제어 시스템들은 타겟 폴리싱 레이트 프로파일을 달성하기 위해 캐리어 헤드의 챔버들 내의 압력을 조절하는데, 이 때 해당 챔버에 의해 커버되는 기판의 영역에 걸쳐 균일한 압력이 인가된다고 가정된다. 예를 들어, 타겟 폴리싱 레이트 프로파일이 챔버마다 단일의 타겟값만을 포함할 수 있거나, 챔버들에 대한 압력들의 집합을 계산하는 알고리즘이 주어진 챔버에 대한 동일 값을 그 주어진 챔버 아래의 웨이퍼 상의 각 포인트에 대한 타겟 값에 비교할 수 있다.

[0007] 그러나, 실제 동작에서, 챔버에 의해 인가되는 압력은 챔버에 의해 커버되는 기판의 영역에 걸쳐 불균일할 수 있다. 그에 더하여, 한 챔버 내의 압력은 그 챔버 바로 아래에 있지 않은 기판의 영역들에 대한 압력에 영향을 줄 수 있는데, 예를 들면 한 챔버 내의 압력이 다른 챔버들에 의해 커버되는 영역들로 "넘침(spill over)" 수 있다. 챔버들에 대한 압력들을 계산하는 제어기는 이러한 넘침 및 불균일성을 처리할 수 있다. 예를 들어, 챔버에 의해 실제로 생성되는 제거 프로파일이 측정될 수 있고, 이러한 제거 프로파일은 챔버들에 대한 압력들의 집합을 계산할 때에 이용될 수 있다. 더 일반적으로, 제거 프로파일들은 상이한 값들에서의 프로세스 파라미터들에 대하여 생성될 수 있고, 이러한 제거 프로파일들은 타겟 프로파일을 달성하기 위해 프로세스 파라미터들에 대한 값들을 계산할 때에 이용될 수 있다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 일 양태에서, 기판 상에 독립적으로 제어 가능한 압력을 인가하기 위해 복수의 구역을 갖는 캐리어 헤드를 포함하는 화학적 기계적 폴리싱 시스템의 복수의 제어 가능한 파라미터에 대한 값을 선택하는 방법이 있다. 기판의 정면 표면 상의 제거 프로파일에서의 변동을 제어 가능한 파라미터들에서의 변동에 관련시키는 데이터가 저장되고, 데이터는 기판의 정면 표면 상의 복수의 위치(position)에서의 제거를 포함하고, 챔버들보다 더 많은 수의 위치들이 존재한다. 타겟 제거 프로파일과, 기판의 정면 표면 상의 제거 프로파일에서의 변동을 파라미터들에서의 변동에 관련시키는 데이터로부터 계산된 예상 제거 프로파일(expected removal profile) 사이의 차이를 최소화하기 위해 복수의 제어 가능한 파라미터 중의 각각의 파라미터에 대한 값이 결정된다. 복수의 제어 가능한 파라미터 중의 각각의 파라미터에 대한 값이 저장된다.

[0009] 구현들은 이하의 특징들 중 하나 이상을 선택적으로 포함할 수 있다. 복수의 제어 가능한 파라미터는 복수의 구역에 압력을 인가하는 캐리어 헤드 내의 복수의 챔버에 대한 압력을 포함할 수 있다. 복수의 제어 가능한 파라미터는 캐리어 헤드의 리테이닝 링(retaining ring)에 압력을 인가하는 캐리어 헤드 내의 챔버에 대한 압력을 포함할 수 있다. 복수의 구역은 동심으로(concentrically) 배열될 수 있고, 복수의 위치는 기판의 중심으로부터의 방사상 거리들(radial distances)일 수 있다. 복수의 위치는 복수의 구역 중의 제1 구역 아래에 있는 제1의 복수의 위치, 및 복수의 구역 중의 제2 구역 아래에 있는 제2의 복수의 위치를 포함할 수 있다. 복수의 제어 가능한 파라미터는 플래튼 회전 속도(platen rotation rate) 또는 캐리어 헤드 회전 속도(carrier head rotation rate)를 포함할 수 있다. 위치들은 기판에 걸쳐 규칙적으로(regularly) 이격될 수 있다. 파라미터들 보다 더 많은 수의 위치들이 존재할 수 있다. 데이터를 저장하는 단계는 복수의 측정된 제거 프로파일을 저장하는 단계를 포함할 수 있고, 각각의 측정된 제거 프로파일은 기판 상의 복수의 위치 각각에서 기판의 정면 표

면으로부터 제거되는 양을 포함할 수 있다. 복수의 제거 프로파일은 복수의 제어가능한 파라미터에 대한 베이스라인 값들의 집합 하에서 폴리싱된 하나의 기판에 대한 베이스라인 제거 프로파일을 포함할 수 있다. 복수의 제거 프로파일은 추가 기판들에 대한 복수의 조절된 제거 프로파일을 포함할 수 있고, 각각의 추가 기판은 하나의 기판에 대한 베이스라인 값과는 상이한 조절된 값으로 설정된 복수의 제어가능한 파라미터 중 정확하게 하나의 파라미터를 이용하여 폴리싱될 수 있다. 복수의 제어가능한 파라미터 중 하나의 파라미터는 각각의 추가 기판에 대해 다를 수 있다. 예상 제거 프로파일을 계산하는 단계는:

$$ERP = BRP + [K][P'] * BRP$$

[0010] 를 계산하는 단계를 포함할 수 있고, 여기서, ERP는 예상 제거 프로파일이고, BRP는 베이스라인 제거 프로파일이고,  $[K]$ 는 파라미터들의 총 개수  $N$ 과 동일한 개수의 컬럼, 및 프로파일이 측정되는 기판의 표면 상의 방사상 위치들의 총 개수  $M$ 과 동일한 개수의 행을 갖는 상수들(constants)의 행렬이고,  $[P']$ 은 조절된 폴리싱 시스템 파라미터들의 컬럼 행렬일 수 있다. 조절된 폴리싱 시스템 파라미터들은:

$$P'_i = \frac{P_i - P_{0i}}{P_{0i}}$$

[0011] 일 수 있고, 여기서,  $P_i$ 는 계산될 폴리싱 파라미터의 값이고,  $P_{0i}$ 는 폴리싱 파라미터에 대한 베이스라인 값이다. 행렬  $[K]$ 는:

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{1,1} & \cdots & K_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{M,1} & \cdots & K_{M,N} \end{bmatrix}$$

[0012] [0013] 로 표현될 수 있고, 여기서,  $M$ 은 프로파일 측정들이 취해지는 방사상 기판 위치  $x$ 의 총 개수이고,  $N$ 은 파라미터의 총 개수이다. 행렬의 상수들은,

$$K_{x,i} = \frac{ARP_{x,i} - BRP_x}{BRP_x * \left[ \frac{PA_i - P_{0i}}{P_{0i}} \right]}$$

[0014] [0015] 일 수 있고, 여기서,  $K_{x,i}$ 는  $i$ 번째 파라미터에 대한 기판 프로파일 위치  $x$ 에 대응하는 행렬  $[K]$ 의 값이고,  $ARP_{x,i}$ 는  $i$ 번째 조절된 파라미터에 대한 방사상 위치  $x$ 에서 제거되는 재료의 양이고,  $BRP_x$ 는 이전에 계산된 베이스라인 제거 프로파일에 따른 방사상 위치  $x$ 에서 제거되는 재료의 양이고,  $PA_i$ 는  $i$ 번째 조절된 제거 프로파일을 생성하기 위해 이용되는  $i$ 번째 파라미터 값이고,  $P_{0i}$ 는 베이스라인 제거 프로파일에 대한  $i$ 번째 파라미터 값이다. 각각의 파라미터에 대한 값을 결정하는 단계는 적어도 하나의 값을 반복적으로 조절하고, 데이터로부터 예상 제거 프로파일을 계산하고, 예상 압력 프로파일과 타겟 압력 프로파일 사이의 차이를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 각각의 챔버에 대한 챔버 압력에 대한 값을 결정하는 것은 뉴턴의 최적화 방법(Newton's method of optimization)을 포함할 수 있다. 타겟 제거 프로파일은 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜(in-situ) 수집된 데이터로부터 생성될 수 있고, 제1 기판의 폴리싱 동안 인가되는 적어도 하나의 압력은 챔버 압력에 대한 값에 매칭되도록 조절된다. 타겟 제거 프로파일은 제1 플래튼에서 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜 수집된 데이터로부터 생성될 수 있고, 제1 기판은 챔버 압력을 이용하여 다른 제2 플래튼에서 폴리싱된다. 타겟 제거 프로파일은 제1 플래튼에서의 제1 기판의 폴리싱 동안 인-시튜 수집된 데이터로부터 생성될 수 있고, 다른 제2 기판은 챔버 압력을 이용하여 제1 플래튼에서 폴리싱된다.

[0016] [0017] 하나 이상의 구현의 상세가 이하의 첨부 도면 및 설명에 제시된다. 다른 양태, 특징 및 이점은 설명 및 도면으로부터, 그리고 청구항들로부터 명백할 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 예시적인 화학적 기계적 폴리싱 장치의 개략적 단면도를 보여준다.

도 2는 복수의 구역을 갖는 기판의 개략적인 상부도를 보여준다.

도 3은 폴리싱 패드의 상부도이며, 기판 상에서 인-시튜 측정이 행해질 수 있는 위치들(locations)을 보여준다. 도 4는 개별 캐리어 헤드 챔버들을 한 번에 하나씩 가압함으로써 야기되는 측정된 압력 분포들의 집적을 보여준다.

도 5는 인접 챔버들은 가압하지 않고서 캐리어 헤드 챔버를 다양한 압력들로 가압함으로써 야기되는 측정된 압력 분포들의 컬렉션을 보여준다.

도 6은 인접 챔버들을 베이스라인 압력으로 가압하면서 캐리어 헤드 챔버를 다양한 압력들로 가압함으로써 야기되는 측정된 압력 분포들의 컬렉션을 보여준다.

도 7은 압력 분포 프로파일을 생성하는 방법의 흐름도이다.

도 8은 캐리어 헤드 내의 챔버들에 대한 압력들을 선택하는 방법의 흐름도이다.

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

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020]

폴리싱 시스템은 기판의 폴리싱 레이트에 영향을 주는 복수의 제어가능한 파라미터를 가질 수 있다. 각각의 파라미터는 폴리싱 시스템의 관련 하드웨어 컴포넌트의 동작을 제어하고, 파라미터는 예를 들어 제어 시스템 내의 소프트웨어에 의해 설정될 수 있다. 제어가능한 파라미터들의 예는 캐리어 헤드 내의 챔버들 내의 압력(기판 또는 리테이닝 링에 하향 압력(downward pressure)을 인가하는 챔버들 내의 압력을 포함함), 캐리어 헤드 회전 속도, 및 플래튼 회전 속도를 포함한다.

[0021]

도 1은 폴리싱 장치(100)의 예를 도시한다. 폴리싱 장치(100)는 폴리싱 패드(110)가 놓이는 회전식 디스크 형상의 플래튼(platen; 120)을 포함한다. 플래튼은 축(125)에 대하여 회전하도록 동작가능하다. 예를 들어, 모터(121)는 플래튼(120)을 회전시키기 위해 구동 축(124)을 돌릴 수 있다. 폴리싱 패드(110)는 예를 들어 접착제 층에 의해, 플래튼(120)에 분리가능하게 고정될 수 있다. 폴리싱 패드(110)는 외측 폴리싱 층(112) 및 더 연성인 후면 층(backing layer)(114)을 갖는 2층 폴리싱 패드일 수 있다.

[0022]

폴리싱 장치(100)는 결합된 슬러리/세정 암(rinse arm)(130)을 포함할 수 있다. 폴리싱 동안, 암(130)은 슬러리와 같은 폴리싱 액체(132)를 폴리싱 패드(110) 상에 디스펜스(dispense)하도록 동작할 수 있다. 하나의 슬러리/세정 암(130)만이 도시되어 있지만, 캐리어 헤드마다의 하나 이상의 전용 슬러리 암과 같은 추가의 노즐이 이용될 수 있다. 폴리싱 장치는 또한 폴리싱 패드(110)를 일관된 연마 상태로 유지하기 위해 폴리싱 패드(110)를 연삭(abrade)하기 위한 폴리싱 패드 컨디셔너를 포함할 수 있다.

[0023]

폴리싱 장치(100)는 캐리어 헤드(140)를 더 포함할 수 있다. 캐리어 헤드(140)는 기판(10)을 폴리싱 패드(110)에 대고 유지(hold against)하도록 동작할 수 있다. 하나의 캐리어 헤드(140)만이 도시되어 있지만, 일부 구현들에서는 추가의 캐리어 헤드들이 이용될 수 있고 바람직할 수 있다. 그러한 실시예들에서, 각각의 캐리어 헤드(140)는 독립적으로 제어될 수 있고, 캐리어 헤드에 연관된 폴리싱 파라미터들(예를 들어, 챔버 압력, 리테이닝 링 압력, 및/또는 캐리어 헤드 회전 속도)은 독립적으로 설정된다.

[0024]

캐리어 헤드(140)는 가요성 멤브레인(flexible membrane; 144) 아래에 기판(10)을 유지하기 위해 리테이닝 링(142)을 포함할 수 있다. 캐리어 헤드(140)는 또한 멤브레인에 의해 정의되는 복수의 독립 제어가능한 가압 챔버, 예를 들어 3개의 챔버(146a-146c)를 포함할 수 있는데, 이들은 가요성 멤브레인(144) 상의, 그리고 그에 따른 기판(10)의 후면 상의 관련 구역들(148a-148c)에 독립적으로 제어가능한 양의 압력을 인가할 수 있다(도 2 참조). 가요성 멤브레인(144)은 고강도 실리콘 고무(high strength silicone rubber)와 같은 탄성 재료로 형성될 수 있다. 도 2를 참조하면, 중심 구역(148a)은 실질적으로 원형일 수 있고, 나머지 구역들(148b-148c)은 중심 구역(148a) 주위의 동심 환상 구역(concentric annular zones)일 수 있다. 도시의 편의를 위해, 도 1 및 도 2에는 3개의 챔버만이 도시되어 있지만, 2개의 챔버, 또는 4개 이상의 챔버, 예를 들어 5개의 챔버가 있을 수 있다.

[0025]

도 1로 되돌아가면, 캐리어 헤드(140)는 지지 구조물(150), 예를 들어 캐러셀(carousel)에 매달려서, 구동 축(152)에 의해 캐리어 헤드 회전 모터(154)에 접속되므로, 캐리어 헤드는 축(155)에 대하여 회전할 수 있다. 선택적으로, 캐리어 헤드(140)는 횡방향으로(laterally), 예를 들어 캐러셀(150) 상의 슬라이더 상에서, 또는 캐러셀 자체의 회전 진동에 의해 진동할 수 있다. 동작 시에, 플래튼은 자신의 중심 축(125)에 대하여 회전되며, 캐리어 헤드는 자신의 중심 축(155)에 대하여 회전되고, 폴리싱 패드의 최상부면을 가로질러 횡방향으로 병진된다.

다.

[0026] 역시, 하나의 캐리어 헤드(140)만이 도시되어 있지만, 폴리싱 패드(110)의 표면적이 효율적으로 사용될 수 있도록 추가의 기판들을 유지하기 위해, 더 많은 캐리어 헤드가 제공될 수 있다. 따라서, 동시적인 폴리싱 프로세스를 위해 기판들을 유지하도록 되어 있는 캐리어 헤드 어셈블리의 수는 적어도 부분적으로는 폴리싱 패드(110)의 표면적에 기초할 수 있다.

[0027] 폴리싱 장치는 또한 인-시튜 모니터링 시스템(160)을 포함하고, 그것으로부터의 데이터는 이하에 논의되는 바와 같이 폴리싱 레이트를 조절할지의 여부, 및 폴리싱 레이트에 대한 조절을 결정하기 위해 제어기(190)에 의해 이용될 수 있다. 인-시튜 모니터링 시스템(160)은 광학 모니터링 시스템, 예를 들어 분광사진 모니터링 시스템(spectrographic monitoring system) 또는 와전류 모니터링 시스템을 포함할 수 있다.

[0028] 일 실시예에서, 모니터링 시스템(160)은 광학 모니터링 시스템이다. 폴리싱 패드를 통한 광학 액세스(optical access)는 애피처(aperture)(즉, 패드를 통하여 이어지는 홀(hole)) 또는 솔리드 윈도우(solid window)(118)를 포함하는 것에 의해 제공된다. 솔리드 윈도우(118)는 예를 들어 폴리싱 패드 내의 애피처를 채우는 플러그로서 폴리싱 패드(110)에 고정될 수 있고, 예를 들면 폴리싱 패드에 몰딩되거나 접착제로 고정되지만, 일부 구현들에서, 솔리드 윈도우는 플래튼(120) 상에 지지되고 폴리싱 패드 내의 애피처 내로 돌출할 수 있다.

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

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

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

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

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

[0034] 위에서 언급된 바와 같이, 광원(162) 및 광 검출기(164)는 그들의 동작을 제어하고 그들의 신호를 수신하도록 동작가능한 컴퓨팅 장치, 예를 들어 제어기(190)에 접속될 수 있다. 컴퓨팅 장치는 폴리싱 장치 부근에 놓인 마이크로프로세서, 예를 들어 프로그램가능 컴퓨터를 포함할 수 있다. 제어에 관련하여, 컴퓨팅 장치는 예를 들어 광원의 기동을 플래튼(120)의 회전과 동기화할 수 있다. 제어기(190)는 또한 광학 모니터링 시스템(160)으로부터의 데이터에 기초하여 타겟 압력 프로파일을 생성하고, 타겟 압력 프로파일을 저장하고, 타겟 압력 프로파일을 달성하기 위해 캐리어 헤드 내의 챔버들에 대한 압력들의 집합을 계산할 수 있다.

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

- [0036] 동작 시에, 제어기(190)는 예를 들어 특정한 광원의 섬광 또는 검출기의 시간 프레임에 대해 광 검출기에 의해 수신된 광의 스펙트럼을 기술하는 정보를 반송하는 신호를 수신할 수 있다. 따라서, 이 스펙트럼은 폴리싱 동안 인-시튜 측정된 스펙트럼이다.
- [0037] 도 3에 도시된 바와 같이, 검출기가 플래튼 내에 설치되는 경우에는, 플래튼의 회전으로 인해(화살표(204)에 의해 나타나 있음), 원도우(108)가 하나의 캐리어 헤드(예를 들어, 제1 기판(10a))을 유지하고 있는 캐리어 헤드 아래를 이동할 때, 샘플링 주파수에서 스펙트럼 측정을 행하는 광학 모니터링 시스템은 스펙트럼 측정이 제1 기판(10a)을 횡단하는 호(arc) 내의 위치들(201)에서 행해지게 할 것이다. 예를 들어, 포인트들(201a-201k) 각각은 제1 기판(10a)의 모니터링 시스템에 의한 스펙트럼 측정의 위치를 표현한다(포인트의 개수는 예시적인 것이며, 샘플링 주파수에 따라, 도시된 것보다 더 많거나 더 적은 측정이 행해질 수 있다). 도시된 바와 같이, 플래튼의 1회의 회전 동안, 기판(10a) 상의 상이한 반경들로부터 스펙트럼들이 획득된다. 즉, 일부 스펙트럼들은 기판(10a)의 중심에 더 가까운 위치들로부터 획득되고, 일부는 에지에 더 가깝다.
- [0038] 위에서 도 1을 참조하여 언급된 바와 같이, 챔버들(146a-146c)의 가압은 폴리싱 패드(110) 쪽으로의 기판(10)의 하향 압력을 제어한다. 일반적으로, 챔버에 의해 맴브레인의 관련 구역에 인가되는 압력의 대부분은 폴리싱 패드 쪽으로 기판의 정면 표면의 대응 구역에 전해진다. 그러나, 인가되는 압력의 일부의 양은 기판의 정면 표면 상의 구역들 간에서 "넘칠" 수 있다(도 4 참조). 그에 더하여, 관련 구역 내의 챔버에 의해 인가되는 압력은 완전히 균일하지 않을 수 있다. 도 4는 수 개의 압력 분포 곡선을 도시하는데, 그 곡선들 각각은 캐리어 헤드 내의 특정 챔버가 가압된다는 가정 하에서, 기판의 정면 표면에서 인가되는 압력을 기판의 중심으로부터의 거리의 함수로서 나타낸 예시적인 그래프이다. 도 4를 참조하면, 본 예에서, 압력 분포 곡선(200a)에 의해 나타난 바와 같이, 챔버(146a)에 의해 제공되는 적어도 일부의 압력은 기판(10)의 구역들(148a 및 148b) 둘 다에 인가된다. 마찬가지로, 압력 분포 곡선(200b)에 의해 나타난 바와 같이, 챔버(146b)에 의해 제공되는 적어도 일부의 압력은 구역들(148a-148c) 각각에 인가되고, 압력 분포 곡선(200c)에 의해 나타난 바와 같이, 챔버(146c)에 의해 제공되는 적어도 일부의 압력은 구역들(148c 및 148b)에 인가된다. 그에 더하여, 기판(10)의 구역(148a) 내에서도, 챔버(146a)에 의해 인가되는 압력이 완전히 균일하지는 않다.
- [0039] 임의의 특정한 이론에 한정되지 않고, 압력 넘침 및 불균일성은 맴브레인(144)의 가요성(flexible nature)의 결과일 수 있다. 즉, 압력 하에서, 맴브레인(144)의 부분들은 본래 정의된 구역들을 넘어서 확장하도록 강제되거나 신장될 수 있다. 또한, 역시 임의의 특정한 이론에 한정되지 않고, 압력 넘침은 기판(10)의 두께에 의해 야기될 수 있다. 예를 들어, 기판(10)은 후면 표면(즉, 맴브레인(144)에 접촉하는 기판 표면)에 인가되는 압력이 정면 표면(즉, 폴리싱 패드에 접촉하는 기판 표면)으로 전파해감에 따라 구역 경계들을 가로질러 방사상으로 확산하도록 충분히 두꺼울 수 있다.
- [0040] 일반적으로, 폴리싱 시스템은 폴리싱 후의 기판이 기판 표면에 걸쳐서 타겟 표면 프로파일, 예를 들어 타겟 두께를 갖도록 제어된다. 타겟 표면 프로파일은 기판 표면을 가로질러 균일하거나(예를 들어, 평면) 불균일할 수 있다. 타겟 표면 프로파일은 폴리싱 시스템의 제조자에 의해 수동으로 설정되거나, 폴리싱 시스템의 운영자, 예컨대 반도체 제조 공장의 직원에 의해 수동으로 설정되거나, 예를 들어 반도체 제조 공장에서의 다른 도구들에 의한 불균일한 퇴적 또는 제거를 보상하기 위해, 그 다른 도구들의 성능의 측정에 기초하여 컴퓨터 소프트웨어에 의해 자동으로 생성될 수 있다.
- [0041] 위에서 언급된 바와 같이, 폴리싱 레이트(즉, 기판(10)으로부터 재료가 제거되는 비율(rate))는 수 개의 폴리싱 시스템 파라미터, 예를 들어 챔버 압력, 리테이닝 링 압력, 캐리어 헤드 회전 속도, 플래튼 회전 속도 등에 따라 달라질 수 있다. 그러한 것으로서, 그러한 파라미터들의 조합은 폴리싱 후의 기판(10)의 표면 프로파일을 결정할 수 있다.
- [0042] 제어기(190)는 타겟 제거 프로파일을 저장하도록 구성될 수 있다. 제어기(190)는 폴리싱 시스템(20)을 위해 프로세스 파라미터들, 예를 들어 캐리어 헤드(140)의 챔버들(146a-146c) 내의 압력들을 설정하기 위해 타겟 제거 프로파일을 이용한다. 타겟 제거 프로파일은 기판의 정면 표면에 걸쳐 제거될 원하는 재료량을 나타낸다. 일부 구현들에서, 타겟 제거 프로파일은 (예를 들어, 폴리싱 전에 계측 스테이션에서 측정되거나 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 측정된) 기판(10)의 초기 표면 프로파일에 기초하여, 예를 들어 제어기(190) 또는 타겟 제거 프로파일을 제어기(190)에 전달하는 다른 컴퓨터 시스템에 의해 결정될 수 있다. 예를 들어, 타겟 제거 프로파일은:

## 수학식 1

$$[0043] \quad TRP = ISP-TSP$$

[0044]로서 계산될 수 있고, TRP는 타겟 제거 프로파일이고, ISP는 초기 표면 프로파일이고, TSP는 타겟 표면 프로파일이다. 대안적으로, 초기 표면 프로파일이 알려져 있지 않은 경우, 초기 표면 프로파일은 디폴트 값으로 설정될 수 있다. 또한, 일부 상황들에서, 폴리싱 시스템의 운영자는 타겟 프로파일을 달성하기 보다는 기판으로부터 타겟량을 제거하기를 원할 수 있다. 그에 더하여, 일부 상황들에서, 폴리싱 시스템의 운영자는 예를 들어 선형적(a priori) 원리 또는 이전의 경험에 기초하여, 단순하게 타겟 제거 프로파일을 설정할 수 있다. 이러한 마지막의 경우에서, 사용자는 예를 들어 제어기(190) 또는 타겟 제거 프로파일을 제어기(190)에 전달하는 다른 컴퓨터 시스템에의 사용자 입력에 의해 타겟 제거 프로파일을 생성할 수 있다.

[0045]제어기(190)는 프로세스 파라미터들에 대한 값들의 주어진 집합에 대하여 예상 제거 프로파일(즉, 기판(10)의 정면 표면에 걸쳐 제거될 것이 예상되는 재료의 양)을 생성하고 저장할 수 있다.

[0046]일반적으로, 예상 제거 프로파일이 타겟 제거 프로파일에 매우 가깝게(closely) 근사되도록(정확한 매칭을 포함), 프로세스 파라미터들, 예컨대 캐리어 헤드의 챔버들 내의 압력에 대한 값을 선택하는 것이 유리하다. 예를 들어, 예상 제거 프로파일이 타겟 제거 프로파일에 매우 가깝게 근사된다면, 실제 제거 프로파일, 즉 폴리싱에서 기판으로부터 실제로 제거된 양도 타겟 제거 프로파일에 매우 가깝게 근사될 것이다.

[0047]여기에서 설명되는 제거 프로파일은 기판 표면으로부터 제거되는 재료의 양으로서, 또는 다의적으로는, (예를 들어 제거 프로파일을 폴리싱에 소요되는 실제 또는 예상 시간으로 나누는 것에 의해) 재료 제거율로서 표현될 수 있다. 또한, 계산에 이용되는 데이터는 그 데이터가 계산을 위해 일관된 유닛들로 변환될 수만 있다면, 다양한 상이한 유닛들로 저장될 수 있음을 이해해야 한다.

[0048]일부 구현들에서, 예상 제거 프로파일은 폴리싱 파라미터들, 예를 들어 챔버들(146a-146c)에 의해 제공되는 압력의 선형 함수로서 계산될 수 있다. 예를 들어, 특정 챔버 내의 압력을 증가시키면, 폴리싱 패드 상에서의 기판의 압력의 선형 증가가 야기될 수 있고, 그에 따라 폴리싱 레이트의 선형 증가가 야기될 수 있으며, 그에 따라 제거되는 양의 선형 증가가 야기될 수 있다. 특히, 기판 상의 복수의 상이한 포인트, 예를 들어 기판의 중심으로부터 상이한 방사상 거리들에 있는 포인트들에 대하여, 제거는 폴리싱 파라미터들, 예를 들어 챔버들 내의 압력의 선형 조합으로서 계산될 수 있다.

[0049]폴리싱 파라미터들과 제거 프로파일 사이의 관계는 측정된 데이터에 기초하여 결정될 수 있다. 예를 들어, 테스트 기판들에 대하여 제거 프로파일이 측정될 수 있으며, 각각의 테스트 기판은 폴리싱 파라미터들에 대한 값들의 상이한 집합을 이용하여 폴리싱된다. 특히, 하나의 기판은 폴리싱 파라미터들에 대한 베이스라인 값들의 집합 하에서 폴리싱될 수 있고, 베이스라인 제거 프로파일은 그 하나의 기판으로부터 측정된다. 다음으로, 프로세스에 의해 설정될 각각의 파라미터에 대하여, 해당 파라미터를 베이스라인 값과는 다른 조절된 값으로 설정하여(다른 파라미터들은 베이스라인 값으로 설정함) 추가 기판이 폴리싱되고, 그 추가 기판으로부터 조절된 제거 프로파일이 측정된다.

[0050]일부 구현들에서, 예상 제거 프로파일은:

## 수학식 2

$$[0051] \quad ERP = BRP + [K][P'] * BRP$$

[0052]와 같이 계산될 수 있고, 여기서 ERP는 예상 제거 프로파일이고, BRP는 베이스라인 제거 프로파일이고, [K]는 파라미터들의 총 개수 N과 동일한 개수의 컬럼, 및 프로파일이 측정되는 기판 표면 상의 방사상 위치들의 총 개수 M과 동일한 개수의 로우를 갖는 상수들의 행렬이고, [P']은 조절된 폴리싱 시스템 파라미터들의 벡터이다. 위치의 총 개수 M은 캐리어 헤드 내의 챔버의 개수보다 클 수 있고, 제어 가능한 파라미터들의 총 개수 N보다 클 수 있다.

[0053] 베이스라인 제거 프로파일은 디폴트 폴리싱 파라미터들  $P_{0_1}, P_{0_2}, \dots, P_{0_N}$ 의 집합에서 테스트 웨이퍼를 폴리싱하고, 폴리싱 후에 (예를 들어, 계측 스테이션에서) 측정된 표면 프로파일을 초기 표면 프로파일에 비교함으로써 결정될 수 있다. 예를 들어, 베이스라인 제거 프로파일은:

### 수학식 3

$$BRP = ISP - BSP$$

[0055] 로서 계산될 수 있고, 여기에서 BRP는 베이스라인 제거 프로파일이고, ISP는 초기 표면 프로파일이고, BSP는 베이스라인 파라미터들  $P_{0_1}, P_{0_2}, \dots, P_{0_N}$ 에서 테스트 기판을 폴리싱한 결과로서 달성된 베이스라인 표면 프로파일이다.

[0056] 행렬  $[K]$ 의 상수들은 베이스라인 제거 프로파일 및 조절된 제거 프로파일에 기초하여 결정될 수 있다. 위에서 언급된 바와 같이, 조절된 제거 프로파일들은 각각의 파라미터에 대하여, 해당 파라미터를 수정하면서 한 번에 하나의 기판씩 추가 기판을 폴리싱함으로써 생성될 수 있다. 예를 들어, 조절된 제거 프로파일은 각각의 수정된 파라미터에 대하여 이하의 수학식:

### 수학식 4

$$ARP_i = ISP - ASP_i$$

[0058] 예 따라 계산될 수 있고,  $ARP_i$ 는  $i$ 번째 폴리싱 파라미터의 조절로 야기되는 조절된 제거 프로파일이고, ISP는 초기 표면 프로파일이고,  $ASP_i$ 는  $i$ 번째 파라미터를 조절한 결과로서 측정되는 조절된 표면 프로파일이다. 구체적으로, 행렬  $[K]$ 의 상수 값들은:

### 수학식 5

$$K_{x,i} = \frac{ARP_{x,i} - BRP_x}{BRP_x * \left[ \frac{PA_i - P_{0_i}}{P_{0_i}} \right]}$$

[0060] 로서 계산될 수 있고, 여기에서  $K_{x,i}$ 는  $i$ 번째 파라미터에 대한 기판 프로파일 위치  $x$ 에 대응하는 행렬  $[K]$ 의 값이고,  $ARP_{x,i}$ 는  $i$ 번째 조절된 파라미터에 대한 방사상 위치  $x$ 에서 제거되는 재료의 양이고,  $BRP_x$ 는 이전에 계산된 베이스라인 제거 프로파일에 따라 방사상 위치  $x$ 에서 제거되는 재료의 양이고,  $PA_i$ 는  $i$ 번째 조절된 제거 프로파일을 생성하기 위해 이용되는  $i$ 번째 파라미터 값이고,  $P_{0_i}$ 는 베이스라인 제거 프로파일에 대한  $i$ 번째 파라미터 값이다. 그러한 것으로서, 행렬  $[K]$ 는:

### 수학식 6

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{1,1} & \cdots & K_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{M,1} & \cdots & K_{M,N} \end{bmatrix}$$

[0062] 로서 표현될 수 있고,  $M$ 은 프로파일 측정이 행해지는 방사상 기판 위치  $x$ 의 총 개수이고,  $N$ 은 파라미터의 총 개수이다. 백터  $[P']$ 의 변수 표현(variable expressions)  $P'_1, P'_2, \dots, P'_N$ 은:

## 수학식 7

$$P'_i = \frac{P_i - P_{0i}}{P_{0i}}$$

[0063]

[0064] 예 의해 정의되고,  $P'_i$ 는  $i$ 번째 파라미터에 대응하는 벡터  $[P']$ 의 값이고,  $P_{0i}$ 는 베이스라인 제거 프로파일에 대한  $i$ 번째 파라미터 값이고,  $P_i$ 는 변수 제안된 파라미터 값(variable proposed parameter value)이다. 따라서, 예상 제거 프로파일은:

## 수학식 8

$$ERP = BRP + \begin{bmatrix} K_{1,1} & \cdots & K_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{M,1} & \cdots & K_{M,N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P'_1 \\ \vdots \\ P'_N \end{bmatrix} * BRP$$

[0065]

[0066] 로서 표현될 수 있고, ERP는 예상 제거 프로파일이고, BRP는 베이스라인 제거 프로파일이고, 행렬  $[K]$  및 벡터  $[P']$ 에 대한 값들은 수학식 5 및 7을 참조하여 전술한 바와 같이 계산된다.

[0067]

일부 구현들에서, 실험적 측정으로부터 생성된 다양한 프로파일들, 예를 들어 베이스 제거 프로파일 및 조절된 제거 프로파일은 각각의 구역 아래의 복수의 위치, 예를 들어 각각의 챔버 아래의 복수의 위치에 대한 측정된 제거 값들을 포함한다. 마찬가지로, 계산된 예상 제거는 각각의 구역 아래의 복수의 위치, 예를 들어 각각의 챔버 아래의 복수의 위치에서의 예상 제거에 대한 계산된 값들을 포함한다. 일부 구현들에서, 프로파일들, 예를 들어 베이스 제거 프로파일, 조절된 제거 프로파일 및 예상 제거 프로파일은 기관 상의 20 내지 300개의 위치에 대한 값을 포함한다. 예를 들어, 프로파일들은 1mm의 규칙적인 간격으로 기관 상의 위치들에 대한 값을 포함할 수 있다.

[0068]

일부 구현들에서, 파라미터들의 적절한 조합은 예상 제거 프로파일과 타겟 제거 프로파일 사이의 차이를 최소화하는 개별 파라미터들에 대한 해를 구하는 것에 의해 결정될 수 있다. 즉,  $ERP-TRP$ 의 값이 최소화된다. 많은 경우들에서,  $ERP-TRP=0$ 이도록, 타겟 제거 프로파일과 동일한 예상 제거 프로파일을 제공하는 하나 이상의 별개의 파라미터 집합이 수학적으로 결정될 수 있다. 다른 경우들에서, 이하의 수학식을 이용하여 예상 제거 프로파일과 타겟 제거 프로파일 사이의 차이값이 허용가능한 논-제로 값(non-zero value)으로 최소화될 수 있고:

## 수학식 9

$$\Delta = \sum_{x=1}^M (ERP_x - TRP_x)^2$$

[0069]

[0070]  $\Delta$ 는 차이값이고,  $ERP_x$ 는 기관 상의 방사상 위치  $x$ 에서의 예상 제거 프로파일의 변수 값(variable value)이고,  $TRP_x$ 는 방사상 위치  $x$ 에서의 타겟 제거 프로파일의 상수 값이다.  $P_i$ 의 값들은 타겟 제거 프로파일에 매우 가깝게 근사되는 예상 제거 프로파일을 찾기 위해 계산될 수 있다.

[0071]

일부 예들에서, 추정 압력 프로파일과 타겟 압력 프로파일 사이의 최소 차이를 찾기 위해, 예를 들어  $\Delta$ 에 대한 최소값을 찾기 위해 파라미터 값들의 적절한 조합을 결정하기 위해, 수학식 9와 함께 반복적 프로세스 (iterative process)(예를 들어, 뉴턴의 최적화 방법)이 이용될 수 있다. 예를 들어, 파라미터 값들의 적절한 조합을 결정하기 위해, 상용화되어 있는 솔버 함수(solver function)(예를 들어, Microsoft Excel 솔버 함수, MATLAB 솔버 함수 및/또는 Wolfram Mathematica 솔버 함수 등)가 이용될 수 있다. 일부 경우들에서, 파라미터 값들의 수 개의 적절한 조합이 있을 수 있다.

[0072]

제어기(190)는, 전술한 바와 같이 파라미터 값들의 적절한 집합이 결정되고 나면, 그 파라미터 값들을 저장하고

그에 따라 폴리싱 기법을 실행하여, 타겟 표면 프로파일을 갖는 하나 이상의 기판을 제공하도록 구성될 수 있다.

[0073] 대부분의 경우에서, 모든 다른 파라미터 값이 상수로 유지될 때, 기판(10) 상의 특정 위치에서의 폴리싱 레이트는 폴리싱 패드 상에서 기판의 그 위치에서 기판에 인가되는 압력에 따라 선형으로 변할 수 있다.

[0074] 다른 구현에서, 제어기(190)는 타겟 압력 프로파일을 저장하도록 구성될 수 있다. 제어기(190)는 캐리어 헤드(140)의 챔버들(146a-146c) 내의 압력을 설정하기 위해 타겟 압력 프로파일을 이용한다. 타겟 압력 프로파일은 폴리싱 패드 상에서 기판의 정면 표면에 의해 인가될 원하는 압력을 나타낸다. 일부 구현들에서, 타겟 압력 프로파일은 타겟 표면 프로파일을 달성하는 데에 필요한 폴리싱 레이트들을 생성할 압력 분포로 고려될 수 있다. 일부 구현들에서, 타겟 압력 프로파일은 (예를 들어, 폴리싱 전에 계측 스테이션에서 측정되거나 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 측정된) 기판(10)의 초기 표면 프로파일, 및 폴리싱 레이트와 폴리싱 압력 사이의 알려진 선형 관계에 기초하여, 예를 들어 제어기(190) 또는 타겟 압력 프로파일을 제어기(190)에 전달하는 다른 컴퓨터 시스템에 의해 결정될 수 있다. 즉, 타겟 압력 프로파일은:

## 수학식 10

$$TPP = m^*(ISP - TSP)$$

[0075] [0076]로서 계산될 수 있고, TPP는 타겟 압력 프로파일이고, ISP는 초기 표면 프로파일이고, TSP는 타겟 표면 프로파일이고,  $m^*$ 은 경험적으로 결정된 상수이다. 대안적으로, 초기 표면 프로파일이 알려져 있지 않은 경우, 초기 표면 프로파일은 디폴트 값으로 설정될 수 있다. 또한, 일부 상황들에서, 폴리싱 시스템의 운영자는 타겟 프로파일을 달성하기보다는 기판으로부터 타겟량을 제거하기를 원할 수 있다. 이 경우, 타겟 압력 프로파일은 단순히 제거할 타겟량의 선형 함수이다. 그에 더하여, 일부 상황들에서, 폴리싱 시스템의 운영자는 예를 들어 선험적 원리 또는 이전의 경험에 기초하여, 단순하게 타겟 폴리싱 프로파일을 설정할 수 있다. 이러한 마지막의 경우에서, 사용자는 예를 들어 제어기(190) 또는 타겟 압력 프로파일을 제어기(190)에 전달하는 다른 컴퓨터 시스템에의 사용자 입력에 의해 타겟 압력 프로파일을 생성할 수 있다.

[0077] 제어기(190)는 예상 압력 프로파일(즉, 챔버들(146a-146c)이 가압될 때 예상되는, 폴리싱 패드 상에서의 기판(10)의 정면 표면에 걸친 압력 분포)을 생성하고 저장할 수 있다. 일부 구현들에서, 타겟 압력 프로파일은 챔버들(146a-146c)에 의해 인가될 것이 예상되는 압력 프로파일에 의해 근사될 수 있다. 일반적으로, 예상 압력 프로파일이 타겟 압력 프로파일에 매우 가깝게 근사되는 것이 유리하다. 예를 들어, 예상 압력 프로파일이 타겟 압력 프로파일에 매우 가깝게 근사되면, 폴리싱 후에 타겟 표면 프로파일에 매우 가깝게 근사된 기판(10)의 실제 정면 표면 프로파일이 야기될 수 있다.

[0078] 일부 구현들에서, 기판에 의해 폴리싱 패드에 인가되는 예상 압력은 챔버들(146a-146c)에 의해 제공되는 압력의 선형 함수로서 계산될 수 있다. 예를 들어, 특정 챔버 내의 압력을 증가시키면, 폴리싱 패드 상에서의 기판의 압력의 선형 증가가 야기될 수 있고, 그에 따라 폴리싱 레이트의 선형 증가가 야기될 수 있다. 특히, 기판 상의 복수의 상이한 포인트, 예를 들어 기판의 중심으로부터 상이한 방사상 거리들에 있는 포인트들에 대하여, 예상 압력은 챔버들 내의 압력의 선형 조합으로서 계산될 수 있다. 예를 들어, 추정 압력은:

## 수학식 12

$$EP_x = \sum_{i=1}^N A_{i,x} * P_i$$

[0079] [0080]로서 계산될 수 있고,  $EP_x$ 는 위치 x에서 인가되는 추정 압력이고,  $P_i$ 는 캐리어 헤드 내의 N개의 챔버 중 i번째 챔버 내의 압력이고,  $A_{i,x}$ 는 상수이다. 위에서 언급된 바와 같이, 위치 x는 기판의 중심으로부터의 방사상 거리일 수 있다.

[0081] 챔버 압력들과 인가되는 압력 사이의 관계, 예를 들어 상수  $A_{i,x}$ 의 값들은 측정된 데이터에 기초하여 결정될 수 있다. 일부 예들에서, 압력 센서(예를 들어, 1차원 또는 2차원의 압력 센서 어레이가 내장된 실질적으로 평면

인 시트)는 기판(10)의 정면 표면과 폴리싱 패드(110)의 강성 지지체(rigid support) 사이에 삽입될 수 있다. 챔버들(146a-146c) 중 적어도 하나는 베이스라인 압력(예를 들어, 약 0-20 psi 사이)에서 가압된다. 측정 도구에 의해 제공되는 측정치들은 베이스라인 챔버 압력이 인가될 때 기판의 정면 표면에 걸친 하나 이상의 위치(예를 들어, 약 1 내지 100 개의 위치)에서 기판(10)에 전해지는 하향 압력을 반영할 수 있다. 일부 구현들에서, 측정치들은 기판(10)의 중심으로부터의 방사상 거리들에서 규칙적으로 또는 불규칙적으로 이격된 위치들에서 기록된다. 독립적으로 제어가능한 챔버들보다 더 많은 측정치들이 있을 것이다. 일부 구현들에서, 측정치들은 특정 챔버들 아래의 위치들에서 기록된다. 예를 들어, 제1 집합의 복수의 측정치는 챔버(146a) 아래에서 기록될 수 있고, 제2 집합의 복수의 측정치는 챔버(146b) 아래에서 기록될 수 있다.

[0082] 일부 구현들에서, 챔버들(146a-146c)은 한 번에 하나씩 베이스라인 압력으로 가압되고, 다른 챔버들은 가압되지 않는다. 이 때, 측정치들은 기판(10)의 정면 표면에 걸쳐 기록된다(일부 예들에서, 챔버들은 한 번에 하나씩 상이한 베이스라인 압력들로 가압됨). 다음으로, 각각의 챔버에 기초하는 기록된 압력 분포는 정면 기판 표면의 구역들에 걸친 압력 넘침을 반영하는 집적 압력 분포를 제공하도록 결합될 수 있다(도 4 참조). 일부 구현들에서, 각각의 상수  $A_{i,x}$ 의 값들은 단순히 (압력 분포 프로파일로부터의) 특정 포인트에서의 측정된 하향 압력을 측정을 위해 챔버에 인가되었던 베이스라인 압력으로 나누는 것에 의해 계산될 수 있다.

[0083] 일부 예들에서, 다양한 개별 챔버 압력들 하에서의 (전술한 바와 같이 기록된) 각각의 챔버에 대한 복수의 압력 분포가 측정될 수 있다. 총괄하여, 복수의 압력 분포는 추정 압력 프로파일의 계산에서 이용될 수 있다. 근사 정확도(approximation accuracy)를 증가시키기 위해, 각각의 챔버에 대해 다양한 개별 챔버 압력들에서 복수의 압력 분포를 기록하는 것이 유리할 수 있다. 도 5는 다양한 챔버 압력들에서 기판의 정면 표면에 걸쳐 측정된 압력 분포를 도시한다. 도시된 바와 같이, 압력 분포들은 베이스라인 챔버 압력 하에서뿐만 아니라, 베이스라인보다 20% 위 및 아래의 챔버 압력들 하에서도 측정되었다.

[0084] 각각의 챔버에 대한 복수의 압력 분포가 제공될 때, 추정 압력들은:

### 수학식 13

$$EP_x = \sum_{i=1}^N A_{i,x} * P_i + B_{i,x}$$

[0085]로서 계산될 수 있고,  $EP_x$ 는 위치 x에서 인가되는 추정 압력이고,  $P_i$ 는 캐리어 헤드 내의 N개의 챔버 중 i번째 챔버 내의 압력이고,  $A_{i,x}$  및  $B_{i,x}$ 는 상수이다. 역시, 위치 x는 기판의 중심으로부터의 방사상 거리일 수 있다.

[0086] 일부 구현들에서, 상수  $A_{i,x}$  및  $B_{i,x}$ 의 값은 각 챔버 i에 대하여 이하의 연립 방정식의 해를 구하는 것에 의해 계산될 수 있고:

### 수학식 14

$$MP_{i,x,1} = A_{i,x} * P_{i,1} + B_{i,x}$$

### 수학식 15

$$MP_{i,x,2} = A_{i,x} * P_{i,2} + B_{i,x}$$

[0087]  $MP_{i,x,1}$  및  $MP_{i,x,2}$ 는 챔버 i가 제1 챔버 압력  $P_1$  및 제2 챔버 압력  $P_2$ 에서 각각 가압될 때, 기판 상의 방사상 위치 x에서 측정된 압력들이다.

[0088] 일부 구현들에서, 각각의 챔버에 대한 하나 이상의 압력 분포가 측정되는 한편, 다른 챔버들도 가압된다. 예를 들어, 도 6은 압력 분포들의 컬렉션을 보여주는데, 여기에서 챔버(146b)는 챔버들(146a 및 146c)이 가압되는 베이스라인 챔버 압력보다 20% 위 및 아래에서 가압된다. 도 6은 예를 들어 동일 압력에서의 각각의 챔버로부터

의 균일한 압력을 도시하지만, 다양한 챔버들은 (그 챔버들이 가압되어야 하길 하지만) 동일한 압력에 있을 필요는 없고, 기관의 정면 표면에서의 결과적인 압력은 균일할 필요가 없다. 임의의 특정한 이론에 한정되지 않고서, 개별 챔버들을 정의하는 멤브레인 재료가 확장 또는 팽창(bulge)하는 정도(그리고, 그에 따른 압력 분포에의 영향)는 인접 챔버 내의 압력에 의존할 수 있다. 따라서, 동작 시에, 챔버들은 통상적으로 적어도 부분적으로는 가압되므로, 이러한 방식으로 측정된 압력 분포들은 챔버 압력의 변화로 인한 기관의 정면 표면에서의 압력의 변동을 더 정확하게 반영할 수 있다.

[0092] 주어진 챔버에 대하여, 압력 분포는 하나, 둘, 또는 셋 이상의 챔버 압력에서 측정될 수 있다(셋 이상의 챔버 압력을 이용하면, 추정 압력은 개별 라인 세그먼트들의 집합으로서 취급될 수 있고, 또는 단일의 선형 함수가 데이터에 피팅될 수 있음). 주어진 챔버에 대해 압력 분포가 측정되는 챔버 압력들의 수는 이용가능한 컴퓨팅 자원, 정확도 조건, 및 데이터 수집을 위한 시간 간의 균형에 의해 지배될 수 있다.

[0093] 일부 구현들에서, 각각의 챔버에 대한 가변 개별 압력 분포에 관련하여 예상 압력 프로파일을 기술하는 하나 이상의 수학식은 반복적 프로세스(예를 들어 뉴턴의 최적화 방법)에 의해 최적화되어, 타겟 압력 프로파일에 매우 가깝게 근사될 수 있다. 반복적 프로세스의 제1 단계는 베이스라인 챔버 압력(들)에서 측정된 압력 분포 프로파일을 타겟 압력 프로파일에 비교하는 것일 수 있다. 다음으로, 비교에 기초하여, 수학식의 적어도 하나의 변수(예를 들어, 챔버들 중 하나에 기초한 압력 분포)가 조절될 수 있고, 그 조절된 변수에 기초하여 예상 압력 프로파일이 계산될 수 있다. 다음으로, 예상 압력 프로파일은 타겟 압력 프로파일에 비교될 수 있고, 다른 조절이 수행될 수 있다. 반복적 조절 및 비교는 타겟 압력 프로파일에 매우 가깝게 근사되는 예상 압력 프로파일이 결정될 때까지(즉, 비교 값에서의 임계에 도달할 때까지) 계속될 수 있다.

[0094] 일부 예들에서, 타겟 압력 프로파일(TPP)은 기관 표면 상의 개별 방사상 위치들에서의 복수의 타겟 압력에 관련하여 기술될 수 있다. 마찬가지로, 추정 압력 프로파일(EPP)은 기관 표면 상의 개별 방사상 위치들에서의 복수의 예상 압력(즉, EP<sub>x</sub> - 전술한 수학식 12 및 13 참조)에 관련하여 기술될 수 있다. 위에 나타난 바와 같이, 임의의 위치에서의 예상 압력은 챔버 압력들의 함수로서 계산될 수 있다. 따라서, 타겟 압력 프로파일의 적절한 근사를 제공하기 위한 챔버 압력들의 조합은 추정 압력 프로파일과 타겟 압력 프로파일 사이의 차이를 최소화하는 개별 챔버 압력들에 대한 해를 구하는 것에 의해 결정될 수 있다. 즉, EPP-TPP의 값이 최소화된다.

[0095] 예를 들어, 예컨대 제곱 또는 절대 값들의 합산을 이용한 추정 압력 프로파일과 타겟 압력 프로파일 사이의 차이 값, 및 챔버 압력들의 값은 이러한 차이를 최소화하기 위해 계산될 수 있다. 예를 들어, 이것은 이하의 수학식들 중 하나를 이용하여 수행될 수 있고:

### 수학식 16

$$\Delta = \sum_{x=1}^M (\left[ \sum_{i=1}^N A_{i,x} * P_i + B_{i,x} \right] - TP_x)^2$$

### 수학식 17

$$\Delta = \sum_{x=1}^M (\left[ \sum_{i=1}^N A_{i,x} * P_i \right] - TP_x)^2$$

[0098] 여기에서  $\Delta$ 는 차이 값이고,  $TP_x$ 는 기관 상의 M개의 방사상 위치 중 x번째 방사상 위치에서 인가되는 타겟 압력이고,  $P_i$ 는 캐리어 헤드 내의 N개의 챔버 중 i번째 챔버에서의 압력이고,  $A_{i,x}$  및  $B_{i,x}$ 는 이전에 측정된 데이터에 기초하여 결정된 상수들이다.  $P_i$ 의 값들은  $\Delta$ 에 대한 값들을 찾도록 계산될 수 있다.

[0099] 일부 예들에서, 추정 압력 프로파일과 타겟 압력 프로파일 사이의 최소 차이를 찾기 위해, 예를 들어  $\Delta$ 에 대한 최소값을 찾기 위해 챔버 압력들의 적절한 조합을 결정하기 위해, 수학식 16 또는 17 중 어느 하나와 함께 반복적 프로세스(예를 들어, 뉴턴의 최적화 방법)가 이용될 수 있다. 예를 들어, 챔버 압력들의 적절한 조합을 결정하기 위해, 상용화된 솔버 함수가 이용될 수 있다. 일부 경우들에서, 챔버 압력들의 수 개의 적절한 조합이 있을 수 있다.

[0100] 허용가능한 예상 압력 프로파일이 결정되고 나면, 각각의 챔버에 대한 대응 챔버 압력을 결정하기 위해, 내삽

및/또는 외삽 기법(다른 알려진 수학적 근사 기법들도 이용될 수 있음)이 측정된 베이스라인 압력 분포들에 적용될 수 있다. 단일 베이스라인 압력으로부터의 압력 분포를 이용할 때, 제로 스케일 압력 분포(zero scale pressure distribution)를 가정할 필요가 있을 수 있다(즉, 챔버들이 가압되지 않을 때, 폴리싱 압력은 거의 또는 전혀 인가되지 않음).

[0101] 도 7 및 도 8을 참조하면, 예시적인 흐름도가 도시되어 있다. 일부 경우들에서, 도 7에 도시된 프로세스 단계들은 폴리싱 장치(100)의 제조자의 한 명 이상의 직원에 의해 수행될 수 있다. 예를 들어, 각각의 챔버에 대한 하나 이상의 압력 분포는 전술한 바와 같이 제조자에 의해 측정되고 기록될 수 있다(단계(702)). 압력 분포는 전술한 바와 같이, 예를 들어 상수  $A_{i,x}$  및  $B_{i,x}$ 를 계산함으로써, 폴리싱 패드 상에서의 기판의 하향 압력과 챔버 압력 사이의 관계를 계산하기 위해(또는 다르게 결정하기 위해) 이용될 수 있다(단계(704)). 이 정보는 폴리싱 장치(100)의 제조자에 의해 반도체 제조 공장에 제공될 수 있다.

[0102] 일부 경우들에서, 도 8에 도시된 프로세스 단계들은 반도체 제조 공장의 한 명 이상의 직원에 의해 수행될 수 있다. 예를 들어, 기판에 대한 적절한 타겟 표면 프로파일은 집적 회로를 형성하기 위한 평탄화 기법의 일부로서 반도체 제조 공장에 의해 결정될 수 있다(단계(802)). 기판의 초기 표면 프로파일이 측정될 수 있다(단계(804)). 예를 들어, 기판의 표면 프로파일은 폴리싱 전에 계측 스테이션에서 측정될 수 있거나, 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 폴리싱 동안 측정될 수 있다. 폴리싱 패드 상에서의 기판의 하향 압력과 폴리싱 레이트 사이의 관계가 결정될 수 있다(단계(806)). 일부 경우들에서, 이 정보는 폴리싱 장치 또는 폴리싱 패드의 공급자에 의해 제공된 데이터로부터 획득될 수 있다. 일부 다른 경우들에서, 이 관계는 예를 들어 상수  $m$ 을 실험적으로 결정함으로써(수학식 10 참조), 반도체 제조 공장에 의해 경험적으로 결정될 수 있다. 일부 구현들에서, 타겟 압력 프로파일은 전술한 바와 같이, 초기 표면 프로파일, 타겟 표면 프로파일, 및 폴리싱 레이트와 압력 사이의 관계에 기초하여 결정될 수 있다(단계(808)). 다음으로, 전술한 바와 같이, 기판 표면에 걸쳐 폴리싱 패드 쪽으로의 기판 상에서의 하향 압력과 챔버 압력 사이의 알려진 관계에 기초하여, 타겟 압력 프로파일을 달성하고, 그에 의해 타겟 표면 프로파일을 달성하기 위한 챔버 압력들의 적절한 조합이 결정될 수 있다(단계(810)).

[0103] 본 명세서에서 사용될 때, 기판이라는 용어는 예를 들어 제품 기판(예를 들어 복수의 메모리 또는 프로세서 단위를 포함하는 것), 테스트 기판, 베어 기판(bare substrate) 및 게이팅 기판(gating substrate)을 포함할 수 있다. 기판은 집적 회로 제조의 다양한 스테이지에 있을 수 있는데, 예를 들면 기판은 베어 웨이퍼일 수 있거나, 하나 이상의 퇴적된 및/또는 패터닝된 층을 포함할 수 있다. 기판이라는 용어는 원형 디스크 및 직사각형 시트를 포함할 수 있다.

[0104] 본 명세서에 설명된 본 발명의 실시예들 및 기능적 동작들 전부는 본 명세서에 개시된 구조적 수단들 및 그들의 구조적 등가물을 포함하는 컴퓨터 소프트웨어, 펌웨어 또는 하드웨어로, 또는 디지털 전자 회로로, 또는 그들의 조합으로 구현될 수 있다. 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(information carrier) 내에, 예를 들어 머신 판독 가능한 비-일시적인(non-transitory) 저장 장치 내에, 또는 전파되는 신호 내에 유형으로(tangibly) 구현되는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램으로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 프로그램(프로그램, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션 또는 코드로도 알려져 있음)은 컴파일 또는 해석된 언어를 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 작성될 수 있고, 독립형 프로그램(stand-alone program)으로서, 또는 모듈, 컴포넌트, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서 이용하기에 적합한 다른 유닛으로서 배치되는 것을 포함하여, 임의의 형태로 배치될 수 있다. 컴퓨터 프로그램이 반드시 파일에 대응하지는 않는다. 프로그램은 다른 프로그램 또는 데이터를 보유하는 파일의 부분 내에, 해당 프로그램에 전용인 단일 파일 내에, 또는 복수의 코드네이트된 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 배치될 수 있다.

[0105] 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 회로망, 예를 들어 FPGA(field programmable gate array) 또는 ASIC(application-specific integrated circuit)에 의해 수행될 수 있으며, 장치 또한 그러한 특수 목적의 논리 회로망으로서 구현될 수 있다.

[0106]

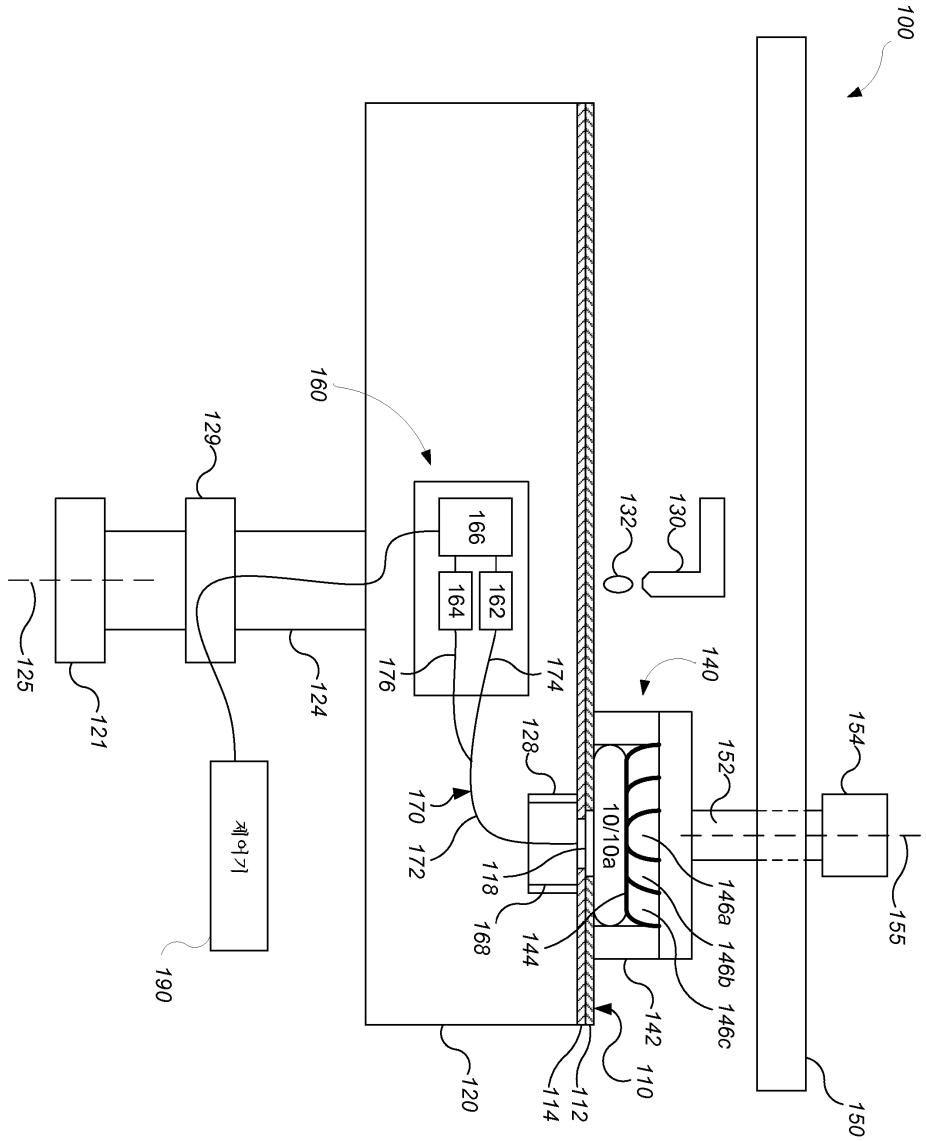
전술한 폴리싱 장치 및 방법은 다양한 폴리싱 시스템에서 적용될 수 있다. 폴리싱 패드 또는 캐리어 헤드, 또는 둘 다가 폴리싱 표면과 기판 사이의 상대적인 움직임을 제공하기 위해 이동할 수 있다. 예를 들어, 플래튼은 회전이 아니라 궤도를 그리며 돌 수 있다. 폴리싱 패드는 플래튼에 고정된 원형(또는 소정의 다른 형상)의 패드일 수 있다. 종료점 검출(endpoint detection) 시스템의 일부 양태들은, 예를 들면 폴리싱 패드가 선형으로 이동하는 연속적 또는 릴-투-릴(reel-to-reel) 벨트인, 선형 폴리싱 시스템에 적용가능할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

[0107]

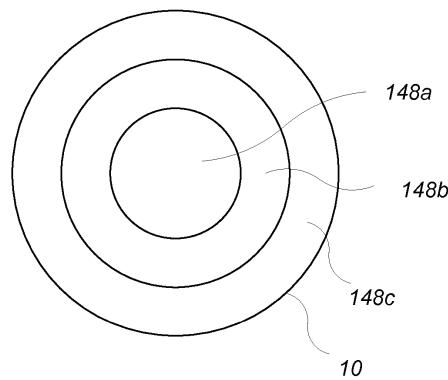
본 발명의 구체적인 실시예들이 설명되었다. 다른 실시예들은 이하의 청구항들의 범위 내에 있다. 예를 들어, 청구항들에 기재된 동작들은 상이한 순서로 수행되면서도 바람직한 결과를 달성할 수 있다.

## 도면

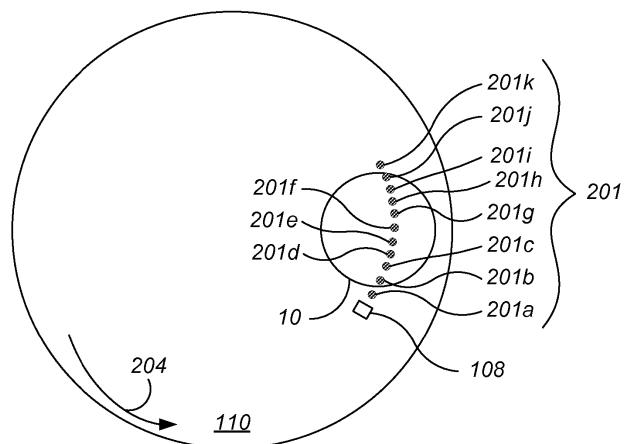
### 도면1



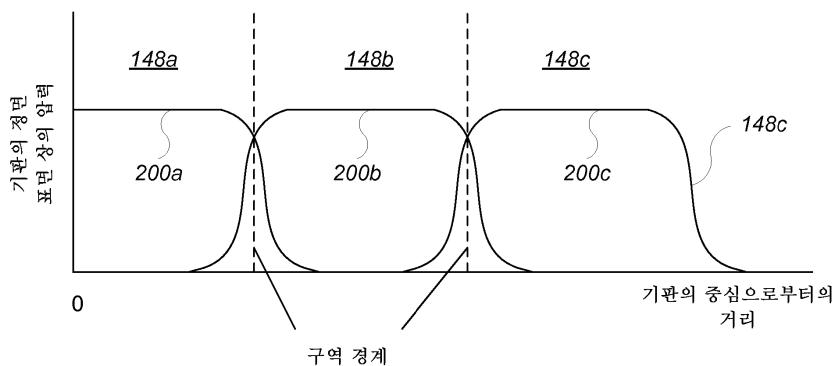
도면2

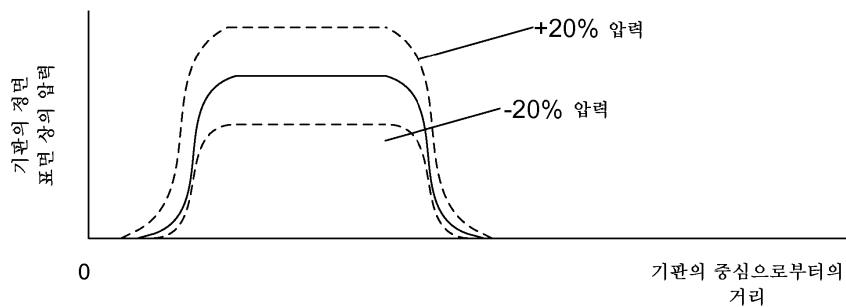
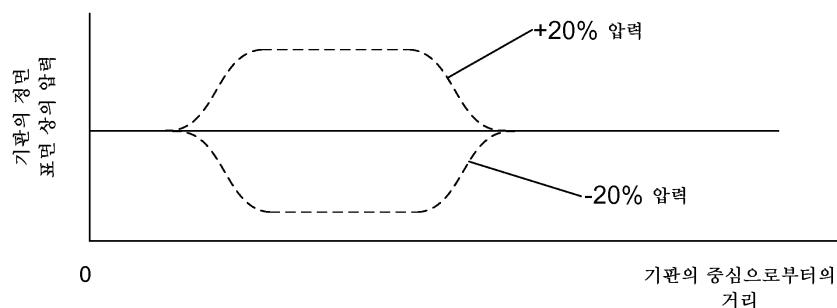
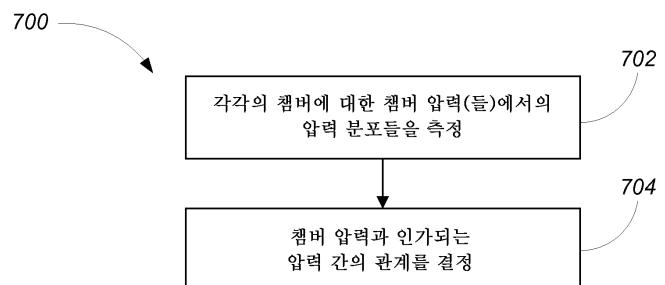


도면3



도면4



**도면5****도면6****도면7**

## 도면8

