



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년01월09일  
(11) 등록번호 10-1694574  
(24) 등록일자 2017년01월03일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/78 (2006.01) B24B 37/04 (2006.01)  
B24B 37/08 (2012.01) B24B 37/28 (2012.01)  
B24B 49/00 (2006.01) B24B 9/14 (2006.01)  
H01L 21/304 (2006.01) H01L 21/461 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2012-7025126  
(22) 출원일자(국제) 2011년03월18일  
심사청구일자 2016년03월17일  
(85) 번역문제출일자 2012년09월25일  
(65) 공개번호 10-2013-0008572  
(43) 공개일자 2013년01월22일  
(86) 국제출원번호 PCT/IB2011/051152  
(87) 국제공개번호 WO 2011/117792  
국제공개일자 2011년09월29일  
(30) 우선권주장  
61/317,919 2010년03월26일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2002307275 A\*  
JP2009525621 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자  
썬에디슨, 인크.  
미합중국 미주리 (우:63376-5000) 세인트 피터스  
피.오.박스 8 펄 드라이브 501
- (72) 발명자  
바가바트, 수미트 에스.  
미국 63376 미주리주 에스티. 피터스 펄 드라이브  
501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈, 인크. 내  
반다메, 롤랜드 알.  
미국 63376 미주리주 에스티. 피터스 펄 드라이브  
501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈, 인크. 내  
고무라, 도모미  
미국 63376 미주리주 에스티. 피터스 펄 드라이브  
501 엠이엠씨 일렉트로닉 머티리얼즈, 인크. 내
- (74) 대리인  
양영준, 백만기, 정은진

전체 청구항 수 : 총 10 항

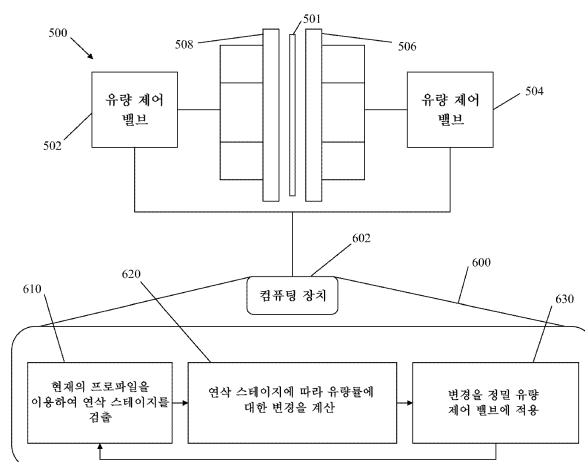
심사관 : 이준희

(54) 발명의 명칭 동시 양면 웨이퍼 연삭기에서의 유체정역학적 패드 압력 조정

(57) 요약

한 쌍의 연삭 휠을 갖는 양면 웨이퍼 연삭기에서 유체정역학적 압력을 조절하기 위한 시스템 및 방법이 개시된다. 이 시스템 및 방법은 연삭 휠들에 의해 유도되는 전류의 양을 측정하기 위해 프로세서를 이용한다. 패턴 검출 소프트웨어는 측정된 전류에 기초하여 연삭 스테이지를 예측하는데 이용된다. 유체정역학적 압력이 각 스테이지에서 유량 제어 밸브들에 의해 변경되어 웨이퍼에 가해지는 클램핑 압력을 변경함으로써 처리된 웨이퍼에서의 나노토폴로지를 향상시킨다.

대표도



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

연삭 동작 동안에 한 쌍의 연삭 휠과 한 쌍의 유체정역학적 패드 사이에 웨이퍼를 유지하는 타입의 양면 연삭기를 이용하여 반도체 웨이퍼를 처리하는 방법으로서 - 상기 연삭 동작은 순차적으로 수행되는 제1 스테이지, 제2 스테이지 및 제3 스테이지를 포함함 - ,

상기 양면 연삭기의 연삭 휠들에 의해 이용되는 전류의 양을 측정하는 단계;

상기 양면 연삭기의 연삭 휠들에 의해 이용되는 전류의 측정된 양에 기초하여 상기 제1 스테이지 내지 제3 스테이지 중 상기 연삭 동작의 현재 스테이지를 판정하는 단계;

상기 현재 스테이지가 상기 연삭 동작의 제1 스테이지인 것으로 판정되는 경우, 상기 웨이퍼를 처음으로 클램핑하기 위해 상기 유체정역학적 패드들의 제1 유체정역학적 압력을 설정하는 단계;

상기 현재 스테이지가 상기 연삭 동작의 제2 스테이지인 것으로 판정되는 경우, 상기 웨이퍼의 연삭 동안에 상기 유체정역학적 압력을 상기 제1 유체정역학적 압력보다 낮은 제2 유체정역학적 압력으로 감소시키는 단계; 및

상기 현재 스테이지가 상기 연삭 동작의 제3 스테이지인 것으로 판정되는 경우, 상기 유체정역학적 압력을 제3 유체정역학적 압력으로 증가시켜 상기 웨이퍼를 클램핑함으로써 상기 처리된 웨이퍼의 나노토폴로지를 향상시키는 단계

를 포함하는, 반도체 웨이퍼 처리 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제3 유체정역학적 압력은 상기 제1 유체정역학적 압력과 실질적으로 동일한, 반도체 웨이퍼 처리 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 웨이퍼는 상기 웨이퍼의 연삭 동안에 연삭 휠들에 의해 실질적으로 클램핑되는, 반도체 웨이퍼 처리 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 유체정역학적 압력은 유량 제어 밸브들을 이용하여 변경되는, 반도체 웨이퍼 처리 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 웨이퍼는 실질적으로 수직인 평면으로 유지되는, 반도체 웨이퍼 처리 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 측정된 전류가 나머지 상태(residual state)로부터 초기 상태(initial state)로 증가할 때 상기 연삭 동작의 현재 스테이지는 상기 제1 스테이지인 것으로 판정하는 단계를 더 포함하는, 반도체 웨이퍼 처리 방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 상기 측정된 전류가 피크 레벨에 있을 때 상기 연삭 동작의 현재 스테이지는 상기 제2 스테이지인 것으로 판정하는 단계를 더 포함하는, 반도체 웨이퍼 처리 방법.

#### 청구항 8

제7항에 있어서, 상기 측정된 전류가 피크 레벨로부터 감소할 때 상기 연삭 동작의 현재 스테이지는 상기 제3 스테이지인 것으로 판정하는 단계를 더 포함하는, 반도체 웨이퍼 처리 방법.

## 청구항 9

한 쌍의 연삭 휠, 프로세서, 한 쌍의 유체정역학적 패드, 및 유량 제어 밸브들을 포함하는 양면 연삭기로서,

상기 연삭 휠들과 유체정역학적 패드들은, 대체로 편평한(flat) 웨이퍼를, 상기 연삭 휠들 사이에 위치한 상기 웨이퍼의 제1 부분과 상기 유체정역학적 패드들 사이에 위치한 상기 웨이퍼의 제2 부분을 갖는 평면으로 유지하 게끔 동작가능하고,

상기 프로세서는, 상기 연삭 휠들에 의해 이용되는 전류의 양을 측정하도록 동작가능하고,

상기 유체정역학적 패드들은 유체정역학적 압력을 유지하도록 그 내부를 통해 흐르는 물을 포함하며, 상기 유량 제어 밸브들은 상기 패드를 통하는 물의 유량률을 제어하여 상기 유체정역학적 압력을 제어하기 위해 동작가능 하고,

상기 프로세서는 상기 연삭 휠들에 의해 이용되는 전류의 측정된 양에 기초하여 연삭 공정의 다양한 스테이지들 을 검출하기 위한 패턴 검출 소프트웨어를 포함하고,

상기 프로세서는 상기 패턴 검출 소프트웨어에 의해 검출된 스테이지에 응답하여 상기 유량 제어 밸브들을 통해 물 유량률을 제어하도록 동작가능한, 양면 연삭기.

## 청구항 10

제9항에 있어서, 상기 프로세서는 상기 패턴 검출 소프트웨어가 상기 연삭 공정의 시작과 끝에 있는 연삭 스테 이지들을 검출할 때 상기 밸브들을 통해 상기 물 유량률을 증가시키도록 상기 유량 제어 밸브들을 제어하는, 양 면 연삭기.

## 청구항 11

삭제

## 청구항 12

삭제

## 청구항 13

삭제

## 청구항 14

삭제

## 청구항 15

삭제

## 청구항 16

삭제

## 청구항 17

삭제

## 청구항 18

삭제

## 청구항 19

삭제

## 청구항 20

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 개시는 대체로 반도체 웨이퍼의 동시 양면 연삭에 관한 것으로, 더 구체적으로는 향상된 웨이퍼 나노토폴로지(nanotopology)를 위한 양면 연삭(grinding) 장치 및 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 반도체 웨이퍼는 회로가 인쇄되는 집적 회로(IC) 칩의 생산에 흔히 이용된다. 회로는 먼저 웨이퍼의 표면 상에 축소화된 형태로 인쇄된 다음, 웨이퍼들이 회로 칩들로 쪼개진다. 그러나, 이러한 작은 회로는, 웨이퍼 전체 표면 위에 회로가 적절하게 인쇄될 수 있도록 보장하기 위해 웨이퍼 표면이 극히 편평하고 평행할 것을 요구한다. 이를 달성하기 위해, 웨이퍼들이 잉곳(ingot)으로부터 절단된 후 웨이퍼들의 소정 특징들(예를 들어, 편평성 및 평행성)을 향상시키기 위해 연삭 공정(grinding process)이 통상 이용된다.

[0003] 동시 양면 연삭 공정은 웨이퍼의 양면 상에 동시에 작용하며 고도로 평탄화된 표면을 갖는 웨이퍼를 생성한다. 따라서, 이것이 바람직한 연삭 공정이다. 이를 달성하기 위해 이용될 수 있는 양면 연삭기는 Koyo Machine Industries Co., Ltd.에 의해 제조된 것을 포함한다. 이들 연삭기는 연삭 동안에 반도체 웨이퍼를 유지(hold)하기 위해 웨이퍼 클램핑 장치를 이용한다. 클램핑 장치는 통상 한 쌍의 유체정역학적 패드(hydrostatic pad)와 한 쌍의 연삭 휠을 포함한다. 패드와 휠은 그들 사이에 웨이퍼를 수직 방향으로 유지하기 위해 대향하는 관계로 배향되어 있다. 유체정역학적 패드는, 연삭 동안에 단단한 패드가 웨이퍼에 물리적으로 접촉하지 않고 웨이퍼를 유지하기 위해 각각의 패드와 웨이퍼 표면 사이에 유체 장벽을 유익하게 생성한다. 이것은 물리적 클램핑에 의해 야기될 수도 있는 웨이퍼에 대한 손상을 줄이고, 웨이퍼가 더 적은 마찰과 함께 패드 표면에 대해 접선으로 움직이는 것(회전)을 허용한다. 이러한 연삭 공정은 연삭된 웨이퍼 표면의 편평성과 평행성을 상당히 향상시키지만, 웨이퍼 표면의 토폴로지 및 나노토폴로지(NT)의 열화를 야기할 수도 있다.

[0004] 불량한 나노토폴로지는 이후의 연마(CMP) 공정에서 불균일한 산화물층 제거로 이어진다. 이것은 IC 제조자와 같은 웨이퍼 이용자에게 상당한 수율 손실을 초래할 수 있다. IC 제조자가 22 나노미터 공정 기술로 이동함에 따라, 나노토폴로지에 대한 허용 공차는 더욱 엄격해지고 있다.

[0005] 토폴로지 열화 문제를 인지하고 해결하기 위하여, 장치 및 반도체 재료 제조자는 웨이퍼 표면의 나노토폴로지를 고려한다. 나노토폴로지는 약 0.2 mm 내지 약 20 mm의 공간 파장(spatial wavelength) 내에서의 웨이퍼 표면의 편차로서 정의되어 왔다. 이 공간 파장은 처리된 반도체 웨이퍼에 대한 나노미터 규모의 표면 피처(surface feature)에 매우 가깝게 대응한다. 전술된 정의는, Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI), 반도체 산업 국제 무역 연합(SEMI document 3089)에 의해 제안되었다. 나노토폴로지는 웨이퍼의 한 표면의 고도 편차를 측정하고, 전통적인 편평성 측정에서와 같이, 웨이퍼의 두께 변동(variation)을 고려하지 않는다. 이러한 종류의 표면 변동을 검출하고 기록하기 위해 몇 가지 계측 방법이 개발되어 왔다. 예를 들어, 입사광으로부터 반사된 광의 측정 편차는 매우 작은 표면 변동의 검출을 허용한다. 이들 방법들은 파장 내의 피크 대 밸리(PV; peak to valley) 변동을 측정하는데 이용된다.

[0006] 양면 연삭은 완성된 웨이퍼의 나노토폴로지(NT)를 지배하는 한 공정이다. C-Mark(일반적으로 중심의 반경 0 내지 50 mm 이내의 PV값) 및 B-Ring(중심의 반경 100 내지 150 mm 이내의 PV값)과 같은 NT 결함은 연삭 공정 동안에 형태를 취하며 상당한 수율 손실을 초래할 수도 있다. 이들이, NT에 기인한 상당한 수율 손실을 초래하는 2개의 결함이다. NT에 기인한 손실을 초래하는 세 번째 결함은 실톱 슬라이싱(wiresaw slicing) 동안에 웨이퍼 상에 생성되는 진입 마크(entrance mark)이다. 양면 연삭은, 연삭 휠이 웨이퍼에 관하여 바람직하게 배향되어 있다면, 잠재적으로 진입 마크를 줄일 수 있다. 현재의 관행에서는, 웨이퍼의 휠과 TTV는 Kobelco SBW 330과 같은 커패시턴스 툴(capacitance tool)을 이용하여 연삭 직후에 측정된 다음, 웨이퍼가 예칭되고 Wafercom과 같은 레이저 기반의 툴을 이용하여 측정된다. 그 후, 웨이퍼는, 나노맵퍼에 의해 NT 검사를 받기 전에 편평성 및 엣지 결함에 대한 측정 뿐만 아니라, 엣지 연마, 양면 연마, 및 최종 연마와 같은 다양한 후속 공정을 겪는다.

[0007] NT를 제어하는 현재의 방법은, 연삭기에 대한 조정을 행함으로써 문제를 해결하려고 시도하지만, 이들 해결책은 NT 열화의 원인을 만족스럽게 해결하지 못하고 있다. NT 열화의 적어도 한 원인은, 패드의 유체정역학적 프로파일과 진입 웨이퍼 간의 상호작용에 의해 좌우되는 클램핑 상태인 것으로 생각된다.

- [0008] 웨이퍼가 연삭기에 로드된 후에, 웨이퍼는 패드에 의해 발생된 유체정역학적 압력에 의해 웨이퍼의 양쪽 대향면 상에서 클램핑된다. 웨이퍼는, 인입 웨이퍼의 형상과 유체정역학적 패드의 유체정역학적 압력 프로파일 사이의 상호작용에 기초한 초기 클램핑 상태에서 탄성 변형될 수 있다. 휠이 웨이퍼와의 접촉을 시작한 후에, 휠이 재료의 상당한 양을 제거하지 않은 상태에서 웨이퍼를 움켜 쥐려고(grip) 시도하는 기간이 있다. 이 기간 동안에 웨이퍼는 휠의 경사(tilt) 및 이동(shift)과 초기 클램핑 상태 사이의 상호작용에 따라 추가의 탄성 변형을 겪는다. 휠이 웨이퍼의 연삭을 개시하고 일단 안정된 상태에 도달하고 나면 웨이퍼로부터 재료가 제거된다. 안정된 상태에서 물질이 제거되고 있음에 따라, 웨이퍼의 NT는 휠과 웨이퍼의 안정된 상태 사이의 기하학적 상호작용의 함수인 것으로 생각된다.
- [0009] 설정된 양의 물질이 제거된 후에, 휠이 퇴거(retract)되고, 웨이퍼의 탄성 변형이 역전된다. 휠의 퇴거 후의 탄성 변형의 역전은 NT를 더욱 열화시킨다. NT 열화에 대한 2개의 기여분 — 휠과 웨이퍼의 안정 상태 사이의 기하학적 상호작용, 및 탄성 변형의 역전 — 의 결합 효과는 제어하기 어렵다. 이전의 접근법들은 웨이퍼의 탄성 변형으로부터 생긴 NT 열화를 제어하는데 있어서 만족스럽지 못한 결과를 내어 놓았다.
- [0010] 종래 기술의 양면 연삭기의 전형적인 웨이퍼-클램핑 장치(1')가 도 1 및 도 2에 개략적으로 도시되어 있다. 연삭 휠(9')과 유체정역학적 패드(11')는 서로 독립적으로 웨이퍼(W)를 유지한다. 이들은 각각 클램핑 면(71' 및 73')을 정의한다. 웨이퍼(W)에 대한 연삭 휠(9')의 클램핑 압력은 휠의 회전축(67')에 중심을 두고 있는 반면, 웨이퍼에 대한 유압 패드(11')의 클램핑 압력은 웨이퍼의 중심(WC) 부근에 중심을 두고 있다. 연삭 동안에 클램핑 면(71' 및 73')이 일치하는 한(도 1), 웨이퍼는 평면으로 유지되고(즉, 구부러지지(bend) 않고), 휠(9')에 의해 균일하게 연삭된다. 클램핑 면들의 정렬에 관한 일반적 논의는 미국 특허 제6,652,358호에 개시되어 있다. 그러나, 만일 2개의 면(71' 및 73')이 오정렬되면, 연삭 휠(9')과 유체정역학적 패드(11')의 클램핑 압력은 웨이퍼(W)에서 구부림 모멘트(bending moment), 또는 유체정역학적 클램핑 모멘트를 생성하여, 웨이퍼가, 연삭 휠 개구(39')의 주변 엣지(41')에 대체로 인접하여 날카롭게 굽어지게끔 한다(도 2). 이것은 웨이퍼(W)에서 높은 국부적 스트레스 영역을 생성한다.
- [0011] 양면 연삭 동작 동안에 클램핑 면(71' 및 73')의 오정렬은 흔하며, 일반적으로 유체정역학적 패드(11')에 대한 연삭 휠(9')의 움직임에 의해 야기된다(도 2). 오정렬의 가능한 모드가 도 2 및 도 3에 개략적으로 예시되어 있다. 이들은 3개의 구분되는 모드의 조합을 포함한다. 제1 모드에서는, 연삭 휠의 회전축(67')을 따른 이동시에 유체정역학적 패드(11')에 상대적인 연삭 휠(9')의 측방향 이동(S)이 있다(도 2). 제2 모드는, 각각의 연삭 휠의 중심을 통한 수평축(X)에 대한 휠(9')의 수직 경사(VT)를 특징으로 한다(도 2 및 도 3). 도 2는 제1 모드와 제2 모드의 조합을 나타낸다. 제3 모드에서는, 각각의 연삭 휠의 중심을 통한 수직축(Y)에 대한 휠(9')의 수평 경사(HT)가 있다(도 3). 이들 모드들은 개념을 예시하기 위해 도면에서는 크게 과장되어 있다; 실제적 오정렬은 비교적 작을 수도 있다. 또한, 휠(9')의 각각은 서로 독립적으로 이동가능하여, 왼쪽 휠의 수평 경사(HT)는 오른쪽 휠의 수평 경사와 상이할 수 있으며, 2개 휠의 수직 경사(VT)에 대해서도 마찬가지이다.
- [0012] 클램핑 면(71' 및 73')의 오정렬에 의해 야기되는 유체정역학적 클램핑 모멘트의 크기는 유체정역학적 패드(11')의 설계와 관련되어 있다. 예를 들어, 웨이퍼(W)의 더 큰 면적을 클램핑하는 패드(11')(예를 들어, 큰 작업 표면 영역을 갖는 패드)에 의해, 패드 클램핑의 중심이 연삭 휠 회전축(67')으로부터 비교적 멀리 떨어져 위치해 있는 패드에 의해, 웨이퍼에 높은 유체정역학적 패드 클램핑력을 가하는(즉, 웨이퍼를 매우 단단히 쥐는) 패드에 의해, 또는 이들 특징의 조합을 보이는 패드에 의해, 일반적으로는 더 높은 모멘트가 야기된다.
- [0013] 종래 기술의 패드(11')를 이용하는 클램핑 장치(1')(한 종래 기술의 패드의 예가 도 4에 도시됨)에서, 웨이퍼(W)에서의 구부림 모멘트는 클램핑 면(71' 및 73')이 오정렬될 때 비교적 큰 데, 이것은, 웨이퍼가, 연삭 휠 개구(39')의 주변 엣지(41') 부근을 포함하여, 패드(11')에 의해 매우 단단하고 강하게 클램핑되기 때문이다. 웨이퍼는 연삭 휠(9')의 움직임을 조정할 수 없고, 웨이퍼는 개구 엣지(41') 부근에서 매우 날카롭게 굽는다(도 2). 웨이퍼(W)는 균일하게 연삭되지 않고, 후속 공정(예를 들어, 연마(polishing))에 의해 제거될 수 없는 바람직하지 않은 나노토폴로지 피처를 발생시킨다. 클램핑 면(71' 및 73')의 오정렬은 또한, 연삭 휠(9')이 불균일하게 마모되게 할 수도 있고, 이것은 연삭된 웨이퍼(W) 상에 바람직하지 못한 나노토폴로지 피처의 출현에 더욱 기여할 수 있다.
- [0014] 도 5a 및 도 5b는, 연삭 동작 동안에 클램핑 면(71' 및 73')이 오정렬되고 웨이퍼가 굽을 때 연삭된 웨이퍼(W)의 표면 상에 형성될 수 있는 바람직하지 못한 나노토폴로지 피처를 나타낸다. 피처는 중심-마크(C-mark)(77') 및 B-링(79')을 포함한다(도 5a). 중심-마크(C-mark)(77')는 일반적으로, 연삭 휠(9')의 측방향 이동(S)과 수직 경사(VT)의 조합에 의해 야기되는 반면, B-링(79')은 일반적으로 휠의 측방향 이동(S)과 수평 경사(HT)의 조

합에 의해 야기된다. 도 5b에 도시된 바와 같이, 양쪽 피쳐(77' 및 79')는 이들과 연관된 비교적 큰 피크-대-밸리 변동을 가진다. 따라서, 이들은 불량한 웨이퍼 나노토폴로지를 나타내며, 웨이퍼 표면 상에 축소된 회로를 프린팅하는 능력에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

- [0015] 본 섹션은, 이하에서 설명되고 및/또는 청구되는 본 발명의 다양한 양태들에 관련될 수도 있는 기술의 다양한 양태들을 독자에게 소개하기 위함이다. 본 논의는, 본 발명의 다양한 양태들의 더 나은 이해를 용이하게 하기 위해 독자에게 배경 정보를 제공하는데 도움이 될 것으로 여겨진다. 따라서, 이들 설명은 이러한 점에 비추어 읽혀져야 하고, 종래 기술의 인정으로서 받아들여져서는 안 된다.

## 발명의 내용

### 과제의 해결 수단

- [0016] 한 양태는, 한 쌍의 연삭 휠과 내부에 유체정역학적 압력을 갖는 한 쌍의 유체정역학적 패드 사이에 웨이퍼를 유지하는 타입의 양면 연삭기를 이용한 반도체 웨이퍼의 처리 방법이다. 연삭기는 연삭 휠에 의해 유도된 전류를 검출하는 패턴 검출 소프트웨어를 포함하는 프로세서를 포함한다. 이 방법은, 웨이퍼를 클램핑하고, 웨이퍼를 연삭하며, 연삭 휠과의 접촉으로부터 웨이퍼를 제거하는 복수의 스테이지를 포함한다. 이 방법은 또한, 상기 소프트웨어를 이용하여, 각 스테이지를 검출하는 단계, 및 각 스테이지에서 유체정역학적 압력을 변경하여 웨이퍼에 가해지는 클램핑 압력을 변경함으로써 처리된 웨이퍼에서의 나노토폴로지를 향상시키는 단계를 포함한다.

- [0017] 또 다른 양태는, 연삭 공정 동안에 한 쌍의 연삭 휠과 한 쌍의 유체정역학적 패드 사이에 웨이퍼를 유지하는 타입의 양면 연삭기를 이용한 반도체 웨이퍼의 처리 방법이다. 이 방법은 연삭 동작의 제1 스테이지 동안에 처음으로 웨이퍼를 클램핑하기 위해 유체정역학적 패드 내의 제1 유체정역학적 압력을 설정하는 단계를 포함한다. 이 유체정역학적 압력은, 연삭 동작의 제2 스테이지에서 웨이퍼의 연삭 동안에 제1 압력보다 낮은 제2 유체정역학적 압력으로 감소된다. 이 유체정역학적 압력은, 연삭 동작의 제3 스테이지 동안에 웨이퍼를 클램핑함으로써 처리된 웨이퍼의 나노토폴로지를 향상시키기 위해 제3 압력으로 증가된다.

- [0018] 역시 또 다른 양태는, 한 쌍의 연삭 휠, 프로세서, 및 한 쌍의 유체정역학적 패드를 포함하는 양면 연삭기이다. 연삭 휠과 유체정역학적 패드는, 대체로 편평한 웨이퍼를, 연삭 휠들 사이에 위치한 웨이퍼의 제1 부분과, 유체정역학적 패드들 사이에 위치한 웨이퍼의 제2 부분을 갖는 평면으로 유지하도록 동작할 수 있다. 유체정역학적 패드는 유체정역학적 압력을 유지하기 위하여 그 내부부를 통해 흐르는 물을 포함한다. 연삭기는 패드를 통하는 물 유량률(water flow rate)을 제어함으로써 유체정역학적 압력을 제어하기 위한 유량 제어 밸브(flow control valve)를 더 포함한다. 유량 제어 밸브는 프로세서에 의해 제어된다.

- [0019] 전술된 양태들에 관해 언급된 특징들에 대한 다양한 개선이 존재한다. 추가의 특징들이 또한 전술된 양태들에 포함될 수도 있다. 이들 개선 및 추가의 특징은 개별적으로 존재하거나 임의의 조합으로 존재할 수도 있다. 예를 들어, 예시된 임의의 실시예와 관련하여 이하에서 논의되는 다양한 특징들이, 단독으로 또는 조합하여, 전술된 임의의 양태에 포함될 수도 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은, 사이에 반도체 웨이퍼가 개재되어 있는 유체정역학적 패드와 연삭 휠을 포함하는 종래 기술의 웨이퍼-클램핑 장치의 개략적 측면도로서, 유체정역학적 패드는 단면으로 도시되어 있다.

도 2는 도 1과 유사한 개략적 측면도이지만, 연삭 휠이 측방향으로 이동되고 수직으로 기울어져 있는 도면이다.

도 3은 연삭 휠의 수평 경사와 수직 경사를 나타내는 개략적 정면도이다.

도 4는 도 1의 종래 기술의 유체정역학적 패드들 중 하나의 웨이퍼측의 개략도이다.

도 5a는 도 1의 웨이퍼-클램핑 장치를 이용하여 연삭(grind)되고 후속하여 연마(polish)된 반도체 웨이퍼의 나노토폴로지 표면 피쳐의 그림 도면이다.

도 5b는 도 5a의 웨이퍼의 표면의 반지름 프로파일(radial profile)의 그래픽 표현이다.

도 6은 본 발명의 웨이퍼-클램핑 장치를 포함하는 연삭기의 개략적 측면도로서, 유체정역학적 패드들이 단면으로 도시되어 있다.



도 7은 반도체 웨이퍼가 사이에 개재되어 있는 유체정역학적 패드와 연삭 휠을 포함하는 웨이퍼-클램핑 장치의 확대된 측면도이다.

도 8은 본 발명의 좌측 유체정역학적 패드의 사시도로서, 연삭 동작 동안에 웨이퍼와 대향하는 패드면의 유체정역학적 포켓 구성(hydrostatic pocket configuration)을 도시하고 있다.

도 9a는 도 8의 좌측 유체정역학적 패드의 웨이퍼측 도면으로서, 패드와의 위치 관계를 나타내기 위해 점선으로 표시된 연삭 휠과 웨이퍼를 도시하고 있다.

도 9b는 도 9a의 유체정역학적 패드의 하부면으로서, 웨이퍼가 다시 한번 점선으로 도시되어 있다.

도 10은 도 9a와 유사한 웨이퍼측 도면으로서, 패드의 유체정역학적 포켓 내부의 유체 주입 포트들을 연결하는 채널을 도시하고 있다.

도 11은 도 9a의 유체정역학적 패드의 확대 단면도로서, 패드의 연삭 휠 개구에 대한 유체정역학적 포켓의 위치를 나타내고 있다.

도 12는, 웨이퍼가 2개의 패드 사이에 유지될 수 있도록 연삭 동작 동안에 좌측 유체정역학적 패드와 대향하는 우측 유체정역학적 패드의 도 8과 유사한 사시도이다.

도 13a는 우측 유체정역학적 패드의 도 9a와 유사한 도면이다.

도 13b는 그 하부면도이다.

도 14는 도 5a와 유사한 그림 도면이지만, 도 6의 웨이퍼-클램핑 장치를 이용하여 연삭되고 후속하여 연마된 반도체 웨이퍼를 도시한다.

도 15a는 본 발명에 따른 유체정역학적 패드에 의해 웨이퍼가 유지될 때 연삭 동안에 반도체 웨이퍼의 표면에 가해지는 클램핑 스트레스의 도해적 표현이다.

도 15b는 종래 기술의 유체정역학적 패드에 의해 유지되는 웨이퍼 상의 클램핑 스트레스의 도 15a와 유사한 도해적 표현이다.

도 16은 연삭 휠이 측방향 이동할 때 연삭 동안에 연삭 휠의 주변부에 인접하는 반도체 웨이퍼에서의 스트레스를 도시하는 그래프로서, 본 발명에 따른 유체정역학적 패드에 의해 유지되는 웨이퍼와 종래 기술의 유체정역학적 패드에 의해 유지되는 웨이퍼를 비교하고 있는 그래프이다.

도 17은 연삭 휠의 측방향 이동과 수직 경사로부터 생기는 웨이퍼에서의 스트레스를 비교하는 도 16과 유사한 그래프이다.

도 18은 연삭 휠의 수평 경사와 조합한 측방향 이동으로부터 생기는 웨이퍼에서의 스트레스를 비교하는 도 16과 유사한 그래프이다.

도 19는 연삭 휠의 측방향 이동, 수직 경사, 및 수평 경사의 결합된 효과로부터 생기는 웨이퍼에서의 스트레스를 비교하는 도 16과 유사한 그래프이다.

도 20은 종래 기술의 웨이퍼-클램핑 장치에서 연삭된 웨이퍼에 대한 상위 0.05 퍼센트 나노토폴로지 값을 본 발명의 웨이퍼-클램핑 장치에서 연삭된 웨이퍼와 비교하는 그래프이다.

도 21은 본 발명의 제2 실시예에 따른 유체정역학적 패드의 개략도로서, 연삭 동안에 반도체 웨이퍼와 대향하는 패드면의 유체정역학적 포켓 구성을 도시한다.

도 22는 부분적으로 블록도 형태의 본 발명의 나노토폴로지 시스템의 개략적 정면도이다.

도 23은 나노토폴로지 평가 시스템의 개략적 측면도이다.

도 24는 나노토폴로지 평가 시스템의 복수의 센서로부터의 출력을 도시하는 그래프이다.

도 25a는 웨이퍼 클램핑 조건의 파악(knowledge)으로부터 유한 요소 분석(finite element analysis)에 대한 경계 조건이 도출될 수 있는 위치들의 한 예의 개략도이다.

도 25a는 웨이퍼의 유한 요소 구조적 분석에 적합한 메쉬(mesh)이다.

도 26a 및 도 26b는 나노토폴로지 평가 시스템을 이용하여 얻어진 웨이퍼의 나노토폴로지 프로파일이다.

도 27은 웨이퍼에 대한 본 발명의 한 실시예에 따른 예측된 프로파일과, 나노맵퍼로부터 얻어지는 연마 이후의 그 웨이퍼에 대한 평균 반지름 프로파일을 나타내는 그래프이다.

도 28은 도 27의 웨이퍼의 예측된 B-링 값들과 도 27의 웨이퍼의 실제 B-링 값들 간의 상관관계를 나타내는 그래프로서, 상관관계 계수는  $R=0.9$ 이다.

도 29는 웨이퍼 연삭기의 또 다른 실시예의 개략도이다.

도 30은 도 29의 연삭기의 연삭 휠에 의해 유도된 전류의 그래프이다.

도 31은 도 29에 나타난 공정과 이전의 연삭 공정에 대하여 웨이퍼의 표면 상에서의 임계 높이 영역 측정치의 정규 분포(normalized distribution)를 나타내는 그래프이다.

도 32는 도 29에 나타난 공정과 이전의 연삭 공정에 대하여 웨이퍼의 표면 상에서의 정규화된 임계 높이 영역 측정치(threshold height area measurement)를 나타내는 박스 플롯 차트(box plot chart)이다.

수개의 도면들에 걸쳐 대응하는 참조 문자는 대응하는 부분을 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 다시 도면을 참조하면, 도 6 및 도 7은 일반적으로 참조 번호 1로 지정된 본 발명에 따른 웨이퍼-클램핑 장치를 개략적으로 도시한다. 클램핑 장치는, 도 6에서 일반적으로 참조 번호 3으로 지정된 양면 연삭기에서 이용될 수 있다. 웨이퍼 클램핑 장치(1)가 이용될 수도 있는 양면 연삭기의 예로서는, Koyo Machine Industries Co., Ltd.에 의해 제조된 모델 DXSG320과 모델 DXSG300A가 포함된다. 웨이퍼 클램핑 장치(1)는, 도면에서 일반적으로 W로 지정된 단일의 반도체 웨이퍼(넓게는, "작업물")를, 웨이퍼의 양쪽 면이 동시에 균일하게 연삭될 수 있도록 연삭기(3) 내에서 수직 위치로 유지한다. 이것은 연마 및 회로 인쇄 단계들 이전에 웨이퍼의 표면의 편평성(flatness)과 평행성(parallelism)을 향상시킨다. 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 연삭기는 반도체 웨이퍼 이외의 작업물을 유지하는 클램핑 장치를 가질 수도 있다는 것을 이해해야 한다.

[0022] 도 6 및 도 7에서도 도시된 바와 같이, 웨이퍼-클램핑 장치(1)는, 각각 일반적으로 참조 번호 9a 및 9b로 지정된 좌측 및 우측 연삭 휠과, 각각 참조 번호 11a 및 11b로 지정된 좌측 및 우측 유체정역학적 패드를 포함한다. 좌측 및 우측이라는 표현은 설명의 편의를 위한 것일 뿐이고, 휠(9a 및 9b) 및 패드(11a 및 11b)의 어떤 특정한 방향을 지시하는 것은 아니다. 좌측 휠(9a) 및 좌측 패드(11a) 부분을 우측 휠(9b) 및 우측 패드(11b)의 부분과 구별하기 위해 문자 "a" 및 "b"가 이용된다. 연삭 휠(9a 및 9b)과 유체정역학적 패드(11a 및 11b)는 당업자에게 공지된 수단에 의해 연삭기(3)에 장착된다.

[0023] 또한 본 분야에 공지된 바와 같이, 2개의 연삭 휠(9a 및 9b)은 실질적으로 동일하며, 각각의 휠은 대체로 편평하다. 도 6 및 도 7에서 알 수 있는 바와 같이, 연삭 휠(9a 및 9b)은 일반적으로 웨이퍼의 하위 중심을 향하여 웨이퍼(W)와 연삭 맞물림을 위해 배치된다. 각각의 휠(9a 및 9b)의 주변부는 웨이퍼 하부에서 웨이퍼(W)의 주변부 아래로 연장되며, 웨이퍼 중심에서 웨이퍼의 중심축(WC) 위로 연장된다. 이것은 각각의 웨이퍼(W)의 전체 표면 영역이 동작 동안에 연삭되는 것을 보장한다. 또한, 연삭 휠(9a 또는 9b) 중 적어도 하나는 자신과 쌍을 이루는 연삭 휠에 상대적으로 움직일 수 있다. 이것은, 연삭기(3)의 클램핑 장치(1)에서 연삭 휠들(9a 및 9b) 사이의 위치에 반도체 웨이퍼(W)를 로딩하는 것을 용이하게 한다. 예시된 클램핑 장치(1)에서도, 좌측 유체정역학적 패드(11a)는 대응하는 좌측 연삭 휠(9a)에 상대적으로 움직일 수 있고, 고정된 우측 유체정역학적 패드(11b)에 상대적으로 움직일 수도 있어서, 반도체 웨이퍼(W)를 장치(1) 내에 로딩하는 것을 더욱 용이하게 한다. 양쪽 패드가 대응하는 연삭 휠에 상대적으로 움직일 수 있거나 양쪽 패드가 웨이퍼 로딩 동안에 고정되는 웨이퍼-클램핑 장치, 또는 유체정역학적 패드와 대응하는 연삭 휠이 웨이퍼 로딩 동안에 함께 움직이는 웨이퍼-클램핑 장치는 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않는다.

[0024] 도 6 및 도 7에 도시된 웨이퍼-클램핑 장치(1)를 여전히 참조하면, 연삭 동작 동안에, 웨이퍼-클램핑 장치의 2개의 연삭 휠(9a 및 9b)과 2개의 유체정역학적 패드(11a 및 11b)는 그들 사이에 반도체 웨이퍼(W)를 유지하기 위해 대향하는 관계로 배치되어 있다. 연삭 휠(9a 및 9b)과 유체정역학적 패드(11a 및 11b)는 각각 수직 클램핑 평면(71 및 73)을 정의하며, 웨이퍼를 그 수직 위치로 유지하는 것을 돕는 클램핑 압력을 웨이퍼(W) 상에 생성한다. 이것을 이후에 더 상세하게 설명한다.

[0025] 특히 도 6을 참조하면, 유체정역학적 패드(11a 및 11b)는 동작 동안에 여전히 정지되어 있는 반면, 일반적으로 참조 번호 14로 지정된 구동 링(drive ring)은 웨이퍼(W)를 패드 및 연삭 휠(9a 및 9b)에 상대적으로 회전 운동



시킨다. 공지된 바와 같이, 구동 링(14)의 멈춤쇠(detent) 또는 절취 시편(coupon, 15)은 웨이퍼의 주변부에 형성된 일반적으로 (도 6에서는 파선으로 표시된) 노치(N)에서 웨이퍼(W)와 맞물려 웨이퍼를 그 중심축(WC)(중심축(WC)은 일반적으로 패드(11a 및 11b)의 수평축(44a 및 44b)에 대응함(도 8 및 도 12 참조))에 대해 회전 운동시킨다. 동시에, 연삭 휠(9a 및 9b)은 웨이퍼(W)와 맞물려 서로 반대 방향으로 회전한다. 휠(9a 및 9b) 중 하나는 웨이퍼(W)와 동일한 방향으로 회전하며, 다른 하나는 웨이퍼와 반대 방향으로 회전한다.

[0026] 이제 도 8 내지 13b를 참조하면, 본 발명의 유체정역학적 패드(11a 및 11b)가 더 상세히 도시되어 있다. 도 8 내지 도 11은 좌측 유체정역학적 패드(11a)를 나타내고, 도 12 내지 도 13b는 대향하는 우측 유체정역학적 패드(11b)를 나타낸다. 알 수 있는 바와 같이, 2개의 패드(11a 및 11b)는 실질적으로 동일하며, 일반적으로 서로의 거울상(mirror image)이다. 따라서, 우측 패드(11b)의 설명은 동일하다는 이해와 함께 좌측 패드(11a)만을 설명한다.

[0027] 도 8 내지 도 9b에 도시된 바와 같이, 좌측 유체정역학적 패드(11a)는 대체로 얇고 원형의 형상이며, 처리 중인 웨이퍼(W)와 유사한 크기를 가진다. 웨이퍼(W)는 이 관계를 보여주기 위해 도 9a 및 도 9b에서 점선으로 나타나 있다. 예시된 유체정역학적 패드(11a)는 약 36.5 cm(14.4 인치)의 직경과, 동작 동안에 웨이퍼(W)와 면하는 약  $900\text{ cm}^2$ (139.5 인치<sup>2</sup>)의 작업 표면적을 가진다. 따라서, 이것은, 예를 들어, 약 300 mm의 직경을 갖는 표준 웨이퍼를 연삭하는데 이용될 수 있다. 그러나, 유체정역학적 패드는 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 상이한 직경 및 표면적을 가질 수도 있다는 것을 이해하여야 한다. 예를 들어, 패드는 200 mm 웨이퍼를 연삭하는데 이용하기 위해 축소된 스케일로 크기조정될 수도 있다.

[0028] 도 8 및 도 9a에서 최상으로 알 수 있는 바와 같이, 유체정역학적 패드(11a)의 몸체(17a)는, 연삭 동작 동안에 웨이퍼(W)와 바로 마주하는 웨이퍼측 면(19a)을 포함한다. 웨이퍼측 면(19a)에 형성된 6개의 유체정역학적 포켓(21a, 23a, 25a, 27a, 29a 및 31a)은 각각 패드(11a)의 연삭 휠 개구(일반적으로 참조 번호 39a로 표기)에 관해 대체로 반지름 방향으로 위치한다. 웨이퍼측 면(19a)과 마주하는 패드 몸체(17a)의 후면(35a)은 대체로 편평하며 유체정역학적 포켓이 없지만, 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 포켓을 포함할 수 있다. 또한, 6개보다 많거나 적은 수의 유체정역학적 포켓, 예를 들어, 4개의 포켓을 갖는 유체정역학적 패드는 본 발명의 범위를 벗어나지 않는다.

[0029] 6개의 유체정역학적 포켓(21a, 23a, 25a, 27a, 29a 및 31a) 각각은 아치형 형상이며, 패드(11a) 주변에서 대체로 원주 방향으로 연장된다. 각각의 포켓((21a, 23a, 25a, 27a, 29a 및 31a)은 웨이퍼측 면(19a)의 융기면(32a) 내에 움푹 들어가 있으며, 각각은 비교적 편평한 수직 측벽(37a)과 둥근 주변 코너를 가진다. 포켓들은 패드(11a)의 면(19a) 내에 얇은 공동(shallow cavity)을 절삭(cutting)하거나 주조(casting)함으로써 형성된다. 상이한 공정에 의해 형성된 정역학적 포켓들은 본 발명의 범위를 벗어나지 않는다.

[0030] 여전히 도 8 및 도 9a를 참조하면, 포켓쌍들(21a 및 23a, 25a 및 27a, 및 29a 및 31a) 각각은 실질적으로 동일한 크기와 형상이라는 것을 알 수 있다. 게다가, 예시된 패드(11a)에서, 포켓들(21a 및 23a) 각각은 약  $14.38\text{ cm}^2$ (2.23 인치<sup>2</sup>)의 표면적을 가진다; 포켓들(25a 및 27a) 각각은 약  $27.22\text{ cm}^2$ (4.22 인치<sup>2</sup>)의 표면적을 가진다; 그리고, 포켓들(29a 및 31a) 각각은 약  $36.18\text{ cm}^2$ (5.61 인치<sup>2</sup>)의 표면적을 가진다. 패드(11a)의 총 포켓 표면적은 약  $155.56\text{ cm}^2$ (24.11 인치<sup>2</sup>)이며, 패드의 작업 표면적에 대한 총 포켓 표면적의 비율은 약 0.17이다. 이 비율은 0.17 이외의 것일 수 있으며, 여전히 본 발명의 범위 내에 있다. 예를 들어, 비율은 약 0.26 이하일 수도 있다. 종래 기술의 패드(11')(도 4)와의 비교로서, 포켓들(21' 및 23') 각각의 표면적은 약  $31.82\text{ cm}^2$ (4.93 인치<sup>2</sup>)이다; 포켓들(25' 및 27') 각각의 표면적은 약  $36.47\text{ cm}^2$ (5.65 인치<sup>2</sup>)이다; 그리고, 포켓들(29' 및 31') 각각의 표면적은 약  $47.89\text{ cm}^2$ (7.42 인치<sup>2</sup>)이다. 종래 기술의 패드(11')의 총 포켓 표면적은 약  $232.36\text{ cm}^2$ (36.02 인치<sup>2</sup>)이고, 패드 작업 표면적에 대한 총 포켓 표면적의 비율은 약 0.26이다(패드(11')에 대한 작업 표면적은 약  $900\text{ cm}^2$ (139.5 인치<sup>2</sup>)이다).

[0031] 포켓들(21a 및 23a, 25a 및 27a, 29a 및 31a)은, 각각, 웨이퍼측 면(19a)의 (패드(11a)의 수직축(43a)에 의해 분리된) 대향하는 반쪽부들 상에 대칭적으로 위치해 있다. 포켓들(21a 및 23a)은 대체로 패드(11a)의 수평축(44a) 아래에 있는 반면, 포켓들(25a, 27a, 29a, 및 31a)은 대체로 축(44a) 위에 있다. 포켓들(29a 및 31a)은 대체로 포켓들(25a 및 27a) 위에 있으며 연삭 휠 개구(39a)에 인접하여 위치하지 않지만, 개구로부터 멀리 떨어져 있고, 그들 사이에 포켓들(25a 및 27a)이 위치한다. 이러한 포켓 배향에서, 총 포켓 표면적의 약 15%는 수

평축(44a)의 아래에 위치해 있다. 이러한 퍼센트는 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 23% 이하일 수 있다. 종래 기술의 패드(11')와의 비교로서, 총 포켓 표면적의 적어도 약 24%가 패드의 수평축(44') 아래에 위치해 있다. 축(44') 아래의 증가된 포켓 면적은 연삭 휠 개구(39')의 측면을 향하여 패드(11')에 의해 웨이퍼 상에 가해지는 클램핑력을 증가시키고, B-링 형성에 기여한다는 것을 이해하여야 한다.

[0032] 도 8 및 도 9a는, 유체정역학적 패드(11a)의 몸체(17a)의 하위부에 형성되고 패드를 통해 연삭 휠(9a)을 수용하도록 크기조정되고 성형되며 웨이퍼(W)의 하위 중심과 맞물리는 원형의 연삭 휠 개구(39a)를 도시한다(연삭 휠과 웨이퍼가 도 9a에 점선으로 나타나 있다). 개구(39a)의 중심은 대체로, 개구에 수용될 때 연삭 휠(9a)(및 9b)의 회전축(67)에 대응한다. 도시된 패드(11a)에서, 연삭 휠 개구(39a)의 반경(R1)은 약 87 mm(3.43 인치)이고, 연삭 휠(9a)의 주변 엣지와 연삭 휠 개구의 반지름 방향 대향 엣지(41a) 사이의 거리는 비교적 균일하며, 대체로 약 5 mm(0.20 인치) 정도이다. 이들 거리는 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 상이할 수 있다.

[0033] 또한 도시된 바와 같이, 패드(11a)의 용기면(32a)은 각각의 포켓(21a, 23a, 25a, 27a, 29a, 및 31a)의 주변으로 연장되는 동연의 고원지(coextensive plateaus)(34a)를 포함한다. 참조 번호 36a로 지정된 드레인 채널들 각각은, 포켓들(21a, 23a, 25a, 27a, 29a, 및 31a)의 각각의 고원지(34a) 사이의 용기면(32a)에 형성된다. 대략 초승달 형상의 자유 영역(60a)은, 포켓들(21a, 23a, 25a, 및 27a)의 고원지(34a)의 내측부의 엣지(38a)와 연삭 휠 개구 주변 엣지(41a) 사이의 용기면 내에 움푹 들어가 있다. 웨이퍼(W) 상의 클램핑력은 자유 영역(60a)에서 사실상 제로이다. 이들 특징이 이하에서 추가로 설명된다.

[0034] 이제 도 10을 참조하면, 유체정역학적 포켓들(21a, 23a, 25a, 27a, 29a, 및 31a) 각각은 포켓 내에 유체를 도입하기 위한 유체 주입 포트(61a)를 포함한다. 패드 몸체(17a) 내의 (은선으로 나타낸) 채널(63a)은 유체 주입 포트(61a)를 상호접속하며, 외부 유체 소스(미도시)로부터 포켓으로 유체를 공급한다. 유체가 연삭 동안 패드면(19a)이 아니라 웨이퍼(W)와 접하도록, 동작 동안에 비교적 일정한 압력하에서 유체가 포켓들(21a, 23a, 25a, 27a, 29a, 및 31a) 내로 강제된다. 이런 방식으로, 포켓들(21a, 23a, 25a, 27a, 29a, 및 31a)에서의 유체는 패드 클램핑면(73) 내에서 수직으로 웨이퍼(W)를 유지하지만(도 6 및 도 7 참조), 웨이퍼(W)가 연삭 동안에 매우 낮은 마찰 저항과 함께 패드(11a)(및 11b)에 대해 회전하는 것을 허용하는 윤활 베어링 영역(lubricated bearing area) 또는 슬라이딩 장벽(sliding barrier)을 여전히 제공한다. 패드(11a)의 클램핑력은 주로 포켓들(21a, 23a, 25a, 27a, 29a, 및 31a)에서 제공된다.

[0035] 도 11은, 패드(11a)의 웨이퍼측 면(19a)의 좌반부를 참조하여 더 상세하게 포켓들(21a, 25a, 및 29a)의 배향을 도시한다. 반지름 거리 RD1, RD2, 및 RD3는, 각각, 연삭 휠 회전축(67)에 이상적으로 대응하는 연삭 휠 개구의 중심으로부터 포켓들(21a, 25a, 및 29a)의 가장 가까운 수직 측벽(37a)(가장 가까운 수직 측벽(37a)이란 연삭 휠 개구(39a)의 엣지(41a)에 가장 가까운 수직 측벽을 말함)의 주변 엣지의 위치를 나타낸다. 예시된 바와 같이, 거리 RD1은 포켓(21a)의 가장 가까운 수직 측벽(37a) 주변에서 일정하지 않아서, 포켓(21a)의 하단부가 상단부보다 개구(39a)로부터 더 멀다. 구체적으로는, 거리 RD1은 포켓의 하단부를 향한 약 104 mm(4.1인치) 내지 상단부를 향한 약 112 mm(4.4 인치)의 범위이다(이들 값들은 포켓(23a)에 대해서도 동일함). 반지름 거리 RD2 및 RD3는 각각 포켓(25a 및 29a)의 가장 가까운 수직 측벽(37a)에 대해 비교적 일정한데, RD2는 약 113 mm(4.4 인치)의 값을 가지며, RD3는 약 165 mm(6.5 인치)의 값을 가진다(이들 값들은 각각 포켓(27a 및 31a)에 대해 동일하다). 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 반지름 거리 RD1은 일정하고 반지름 거리 RD2 및 RD3는 일정하지 않을 수도 있다.

[0036] 도 11은 또한, 연삭 휠 회전축(67)으로부터 포켓(21a 및 25a)의 고원지(34a)의 반지름 방향으로 가장 내측의 엣지(38a)까지 반지름 방향으로 측정된 반지름 거리 RD11을 도시한다. 엣지(38a)는 제로 압력(자유) 영역(60a)의 끝, 또는 경계를 정의한다. 알 수 있는 바와 같이, 반지름 거리 RD11은 엣지(38a)에 대해 일정하지 않으며, 예시된 패드(11a)에서는 수직 축(43a) 부근의 약 108 mm(4.25 인치)로부터, 엣지(38a)가 연삭 휠 개구 엣지(41a)와 병합되는 포켓(21a)의 하단 부근의 약 87 mm(3.43 인치)까지의 범위이다. 이들 동일한 측정들이, (개구(39a)에 수용될 때의) 연삭 휠(9a)의 주변 엣지로부터 엣지(38a)의 반지름적으로 대향하는 최내측 부분까지에 대해 이루어진 경우, 수직 축(43a) 부근의 약 26 mm(1.02 인치)로부터 포켓(21a)의 하단부 부근의 약 5 mm(0.20 인치)까지의 범위이고, 약 0.30 내지 약 0.057의 범위인 연삭 휠 개구(39a)의 반경 R1을 갖는 비율을 형성한다. 비교로서, 종래 기술의 유체정역학적 패드(11')(도 4)에서의 대응하는 거리는 일정한데, 이것은 용기면(32')의 최내측 주변 엣지(38')가 연삭 휠 개구 엣지(41')와 일치하기 때문이다(즉, 종래 기술의 패드(11')에서는 제로 압력(자유) 영역이 없다). 이 패드(11')에서, 반지름 거리 RD11'는 약 87 mm(3.43 인치)이고, 연삭 휠(9')의 주변 엣지로부터 엣지(38')까지의 동일한 측정치는 약 5 mm(0.20 인치)이다.

- [0037] 본 발명의 유체정역학적 패드(11a 및 11b)는 종래 기술의 유체정역학적 패드(11')에 비해 적어도 다음과 같은 유익한 특징을 가진다. 총 유체정역학적 포켓 표면적은 줄어든다. 이것은 패드에 의해 웨이퍼(W) 상에 가해지는 전체 클램핑력을 효과적으로 저감시키는데, 이것은 동작 동안에 유체정역학적 포켓들(21a, 23a, 25a, 27a, 29a, 31a, 21b, 23b, 25b, 27b, 29b, 및 31b) 내에 수용되는 유체의 체적이 줄어들기 때문이다. 또한, 수평축(44a) 아래의 포켓 표면적이 줄어든다. 이것은 구체적으로 연삭 휠 개구(39a 및 39b)의 좌측 및 우측에서 클램핑력을 저하시킨다. 또한, 내측 포켓들(21a, 23a, 25a, 27a, 21b, 23b, 25b, 및 27b)은 연삭 휠 개구 엣지(41a 및 41b)로부터 멀어지며, 이들 사이에는 제로 압력의 자유 영역(60a 및 60b)이 형성된다. 이것은 구체적으로 연삭 휠 개구(39a 및 39b)의 엣지들(41a 및 41b) 주변의 클램핑력을 저하시킨다.
- [0038] 웨이퍼(W)는 연삭 동작 동안에 유체정역학적 패드(11a 및 11b)에 의해 덜 단단하게 유지되어 연삭 휠(9a 및 9b)의 이동 및/또는 경사 움직임에 더욱 용이하게 순응할 수 있다. 이것은 연삭 휠(9a 및 9b)이 움직일 때 형성되는 유체정역학적 클램핑 모멘트의 크기를 줄인다(즉, 웨이퍼의 구부러진 영역에 더 적은 스트레스가 형성된다). 또한, 웨이퍼(W)는 연삭 휠 개구 엣지(41a)에 인접하여 단단하게 유지되지 않는다. 웨이퍼(W)는, 휠이 움직일 때 연삭 휠 개구 엣지(41a)에 인접하여 여전히 구부러질 수도 있지만, 종래 기술의 연삭 장치에서와 같이 날카롭지는 않다. 따라서, 유체정역학적 패드(11a 및 11b)는 웨이퍼(W)의 표면에 대한 더욱 균일한 연삭을 촉진하며, 연삭된 웨이퍼의 B-링 및 중심-마크(C-마크)의 형성과 같은 나노토폴로지 열화가 저감되거나 제거된다. 이것은 도 5a 및 도 14를 비교함으로써 알 수 있다. 도 5a는 종래 기술의 유체정역학적 패드(11')를 이용하여 연삭된 웨이퍼(W)를 나타내는 반면, 도 14는 본 발명의 패드(11a 및 11b)를 이용하여 연삭된 웨이퍼(W)를 나타낸다. 도 14에 도시된 웨이퍼는 실질적으로 B-링과 중심-마크(C-마크)가 없다.
- [0039] 도 15a 내지 도 19는 본 발명의 패드(11a 및 11b)와 종래 기술의 패드(11')에 의해 유지되는 웨이퍼(W)에서의 스트레스를 나타낸다. 도 15a 및 도 15b는 연삭 휠과 유체정역학적 패드 클램핑면이 정렬될 때 이들 스트레스를 시각적으로 나타낸다. 양쪽 웨이퍼(W)에서, 연삭 휠 개구(39 및 39') 내에서 스트레스는 무시할만하다(패드는 이들 영역에서 웨이퍼를 클램프하지 않는다). 도 15a는 패드(11a 및 11b)에 의해 유지될 때 웨이퍼(W)에 형성되는 더 낮은 스트레스를 나타낸다. 이것은 특히, 연삭 휠 개구 엣지(41a 및 41b)에 인접하는 웨이퍼(W)의 전체 표면 위의 더 낮은 스트레스(98 및 99에 표시된 밝은 색 영역)를 나타낸다. 이것은 또한 웨이퍼를 통해 더욱 균일하게 분포하는 스트레스를 나타낸다. 대조로서, 도 15b에 도시된 바와 같이, 패드(11')에 의해 유지된 웨이퍼(W)에서의 가장 큰 스트레스(97)는 개구(39')의 주변 엣지에 근접해 있다(즉, 제로 압력(자유) 영역이 없다).
- [0040] 도 15a 및 도 15b를 비교함으로써 알 수 있는 바와 같이, 집중된 큰 스트레스 영역(97)은 패드(11a 및 11b)를 이용한 연삭 동안에는 패드(11')를 이용할 때(도 15b)만큼 우세하지 않다. (예를 들어, 연삭 휠 개구 엣지(41a)에 인접한) 구부러진 영역에서의 웨이퍼(W)의 덜 구부러진 변형과 연삭 휠(9a 및 9b)의 더욱 균일한 마모 양쪽 모두가 잇점이다. 균일한 휠 마모는 연삭 동안에 휠의 형상이 변하지 않는다는 것을 보장한다(즉, 차등 없는 휠 마모). 이것은 또한, 연삭기가 더 긴 시간 동안 더 낮은 나노토폴로지 설정을 유지할 수 있는 것을 보장한다. 또한, 휠이 이동하거나 기울어진다면, 이동에 의해 야기되는 스트레스가 웨이퍼(W)를 통해 효과적으로 분산되고, 중심-마크(C-마크) 및 B-링의 형성이 덜 현저해진다. 이것은 바람직하게도 연삭 나노토폴로지를 연삭 휠의 이동과 경사에 덜 민감하게 만든다.
- [0041] 도 16 내지 도 19는, 연삭 휠(9a 및 9b)이 이동 및/또는 기울어질 때 유체정역학적 패드(11a 및 11b)를 이용한 연삭 동작 동안에 웨이퍼(W)에서의 더 낮은 스트레스를 그래픽적으로 나타낸다. 예시된 스트레스는, 연삭 휠 개구 엣지(41a 및 41b)에 인접한 웨이퍼(W)에서 발생하는 것으로서, 약 7시 위치에서 시작하여(0 mm의 호 길이) 주변 엣지 주위로 시계 방향으로 이동하는(약 400 mm의 호 길이) 엣지들(41a 및 41b) 주위의 위치에서 측정된 스트레스이다. 종래 기술의 유체정역학적 패드(11')에 의해 유지되는 웨이퍼(W)에서의 스트레스는 일반적으로 참조 번호(91)로 지정되고, 패드(11a 및 11b)에 의해 유지되는 웨이퍼에서의 스트레스는 일반적으로 참조 번호(93)로 지정된다.
- [0042] 도 16은 연삭 휠이 이동할 때의 스트레스(91 및 93)를 나타낸다. 알 수 있는 바와 같이, 스트레스(93)는 스트레스(91)보다 상당히 낮으며, (약 200 mm의 호 길이에 대응하는) 웨이퍼(W)의 중심(WC)을 포함하여, 스트레스(91)보다 연삭 휠 개구(39a 및 39b)의 전체 주변부 부근에서 더욱 거의 일정하다. 따라서, 본 발명에서, 연삭 휠(9a 및 9b)이 이동할 때, 웨이퍼(W)는 종래 기술의 장치에서 연삭된 웨이퍼에 비해 그 중심 부근에서 날카롭게 구부러지지 않는다.
- [0043] 도 17은 연삭 휠이 이동하고 수직하고 기울어질 때 웨이퍼(W)에서의 스트레스(91 및 93)를 나타낸다. 다시 한

번, 패드(11a 및 11b)와 연관된 스트레스(93)는, 연삭 휠 개구 엣지(39a 및 39b)의 전체 주변부를 따라 대체로 일정하다. 또한, 웨이퍼 중심(WC)에 대응하는 위치에서 패드(11a 및 11b)에 의해 유지되는 웨이퍼(W)에서 스트레스(93)의 현저하게 작은 증가가 있다. 따라서, 연삭 휠(9a 및 9b)이 이동하고 수직으로 기울어지면, 웨이퍼(W)는 연삭 휠 개구(39a 및 39b)의 주변부에 인접하여 날카롭게 구부러지지 않으며, 중심-마크(C-마크) 형성이 줄어든다.

[0044] 도 18은 휠이 이동하고 수평으로 기울어질 때 웨이퍼(W)에서의 스트레스(91 및 93)를 나타낸다. 알 수 있는 바와 같이, 웨이퍼(W)의 좌측에서의 스트레스(93)는 스트레스(91) 만큼 날카롭게 증가하지 않는다. 따라서, 패드(11a 및 11b)에 의해 유지되는 웨이퍼(W)는, 휠(9a 및 9b)이 이동하고 수평으로 기울어질 때 그들의 주변부에서 날카롭게 구부러지지 않으며, B-링 및/또는 C-마크 형성이 줄어든다. 웨이퍼(W)에서의 스트레스(91 및 93)가 연삭 휠의 이동, 수직 경사, 및 수평 경사의 결합된 효과에 의해 야기될 때 유사한 결과가 도 19에 도시되어 있다.

[0045] 도 20은, 종래 기술의 유체정역학적 패드(11')와 본 발명의 유체정역학적 패드(11a 및 11b)를 이용하여 연삭된 웨이퍼에 대한 상부 0.05 퍼센타일 나노토폴로지 값들을 도시한다. 패드(11')를 이용하여 연삭된 웨이퍼에 대한 나노토폴로지 값들은 일반적으로 참조 번호(72)로 표시되고, 패드(11a 및 11b)를 이용하여 연삭된 웨이퍼에 대한 값들은 일반적으로 참조 번호(74)로 표시된다. 본 발명의 패드(11a 및 11b)를 이용하여 연삭된 웨이퍼는 종래 기술의 값(72)보다 일반적으로 더 낮은 나노토폴로지 값(74)을 가진다.

[0046] 본 발명의 유체정역학적 패드(11a 및 11b)는 단일 동작의 셋업에서 한 세트의 웨이퍼 중 복수의 웨이퍼(W)를 연삭하는데 이용될 수도 있다. 한 세트의 웨이퍼는, 예를 들어, 적어도 400개의 웨이퍼를 포함할 수도 있다. 한 세트의 웨이퍼는, 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 400개 보다 많은 웨이퍼를 포함할 수도 있다. 단일 동작 셋업은 일반적으로 연삭 휠(9a 및 9b)의 수동 조정들 사이의 일반적으로 고려되는 연속적 동작(continual operation)이다. 상기 세트의 각각의 연삭된 웨이퍼(W)는 일반적으로, 향상된 나노토폴로지(예를 들어, 저감되거나 제거된 중심-마크)(C-마크) 및 B-링 형성)를 가진다. 특히, 이들 각각은 약 12 nm 미만의 피크-대-밸리 변동을 가진다. 예를 들어, 웨이퍼의 평균 피크-대-밸리 변동은 약 8nm일 수도 있다. 평균 피크-대-밸리 변동은 각각의 웨이퍼(W)의 평균 반지름 스캔에 관한 변동을 나타낸다. 웨이퍼의 복수개 반경에서의 웨이퍼(W)의 원주 주변에서 피크-대-밸리 변동이 결정되고, 이들 값들의 평균이 취해져 평균 변동을 결정한다.

[0047] 도 21은 본 발명의 제2 실시예에 따른 좌측 유체정역학적 패드를 개략적으로 나타낸다. 패드는 일반적으로 참조 번호(111a)로 지정되며, 제1 실시예의 패드(11a)의 부분들에 대응하는 이 패드의 부분들은 동일한 참조 번호에 "100"을 추가한 것으로 지정된다. 이 유체정역학적 패드(111a)는 전술된 유체정역학적 패드(11a)와 실질적으로 동일하지만, 대응하는 포켓들(패드(11a)의 21a, 23a, 25a, 27a, 29a, 및 31a)과는 상이한 형상과 배향의 유체정역학적 포켓(121a, 123a, 125a, 127a, 129a, 및 131a)을 가진다. 패드(11a)와 유사하게, 포켓들(121a, 123a, 125a, 127a, 129a, 및 131a)은 패드(11a)의 연삭 휠 개구(139a) 주변에 반지름 방향으로 위치하며, 포켓들(121a 및 123a), 포켓들(125a 및 127a), 및 포켓들(129a 및 131a)은 유사하며 웨이퍼측 면(119a)의 대향하는 반쪽부들 상에 대칭적으로 위치한다. 추가적으로, 포켓들(121a 및 123a)은 패드(11a) 주변에서 원주 방향으로 연장된다. 그러나, 이 패드(111a)에서, 포켓들(125a, 127a, 129a, 및 131a)은 연삭 휠 개구(139a)로부터 반지름 방향으로 멀어지며 연장된다. 이들 패드들(111a 및 111b)은 다른 모든 양태에서 패드(11a 및 11b)와 동일하다.

[0048] 유체정역학적 패드의 포켓들에 가해지는 물의 압력을 제어함으로써 유체정역학적 패드의 클램핑의 중심이 영향을 받을 수 있다는 것을 추가로 고려한다. 이것은 클램핑의 중심을 낮추어, 웨이퍼-클램핑 장치의 연삭 휠의 회전축에 더 가깝게 이동시킨다. 더 구체적으로는, 각 포켓(또는 포켓들의 일부 서브셋)에서의 유압은 다른 포켓(들)과는 독립적으로 연삭 과정 동안에 변경되거나 및/또는 제어될 수 있다. 수개의 포켓들 간에 압력을 변동시키는 한 방식은 포켓들 내로의 오리피스(orifice) 개구의 크기를 상이하게 하는 것이다. 게다가, 각 포켓과 연관된 영역의 강성(stiffness)은 포켓들의 깊이를 상이하게 만듦으로써 포켓들 간에 변동될 수 있다. 더 깊은 포켓은 더 깊은 포켓의 영역에서 더 얇은 포켓보다 더 유연한(compliant) 웨이퍼(W) 상의 홀딩을 초래하고, 이것은 더 얇은 포켓의 영역에서 웨이퍼를 강하게 유지할 것이다.

[0049] 여기서 예시되고 설명된 유체정역학적 패드(11a, 11b, 111a, 및 111b)는 약 300 mm의 직경을 갖는 웨이퍼(W)에서 사용하기 위한 것으로 설명되었다. 전술된 바와 같이, 유체정역학적 패드는 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 200 mm 웨이퍼를 연삭하는데 이용하기 위한 축소된 규모로 크기조정될 수도 있다. 이것은 여기서 설명된 유체정역학적 패드 크기들 각각에 적용된다.



- [0050] 본 발명의 유체정역학적 패드(11a 및 11b)는, 반복된 연삭 이용을 견딜 수 있고 연삭 동작 동안에 웨이퍼(W)를 지지할 수 있는, 금속과 같은 적절한 강성 재료(rigid material)로 형성된다. 강성 재료와 유사한 다른 재료로 형성된 유체정역학적 패드는 본 발명의 범위를 벗어나지 않는다.
- [0051] 본 발명의 또 다른 양태에 따르면, 나노토폴로지를 평가하기 위한 시스템은, 웨이퍼가 양면 연삭기에 있는 동안 웨이퍼 나노토폴로지에 대한 피드백을 제공하기 시작한다. 나노토폴로지 평가 시스템은, 작업물이 양면 연삭기에 유지되는 동안 작업물의 위치 및/또는 변형에 대한 정보를 수집하도록 구성된 적어도 하나의 센서를 포함한다. 이 센서는 웨이퍼의 유한 요소 구조적 분석에 이용하기 위한 하나 이상의 경계 조건을 정의하는데 이용되는 하나 이상의 측정을 행하도록 동작할 수 있다. (센서를 이용하지 않고 정의되거나 가정될 수 있는 임의의 경계 조건을 포함한, 유한 요소 분석을 행하기에 충분한 경계 조건이 있는 한) 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 이 시스템은 단일의 경계 조건을 정의하는데 이용되는 단일의 측정을 행하는 하나의 센서만을 가질 수도 있다. 그러나, 일부 실시예들에서, 종종 바람직하다고(또는 필요하다고) 인식되는 웨이퍼의 유한 요소 구조적 분석에 대한 추가적 경계 조건을 정의하기 위해, 하나 이상의 센서가 복수의 경계 조건을 정의하는데 이용되는 복수의 측정을 행한다.
- [0052] 예를 들어, 일반적으로 301로 지정된 본 발명의 나노토폴로지 평가 시스템의 한 실시예가 도 22 및 도 23에 개략적으로 도시되어 있다. (이하에서 논의되고, 도 25a 및 도 25b에서 명백한 바와 같이) 본 실시예가 특정한 유체정역학적 패드 구성을 갖는 양면 연삭기와 연계하여 설명되지만, 나노토폴로지 평가 시스템은 본 발명의 범위를 벗어나지 않고 (상이한 작업물 클램핑 시스템을 갖는) 다른 양면 연삭기와 사용하기에 적절하다는 것을 이해하여야 한다. 또한, 본 발명은 나노토폴로지 시스템 그 자체로 한정되지 않고, 본 발명의 나노토폴로지 평가 시스템을 장착한 양면 연삭 장치를 포함한다.
- [0053] 하나 이상의 센서(303)(예를 들어, 복수의 센서)가 유체정역학적 패드(305)의 내측 면에 위치한다. 도면에 도시된 특정 실시예에서, 예를 들어, 복수(예를 들어, 4개)의 센서(303)가 유체정역학적 패드(305) 각각의 내측 작업면을 따라 배치되어 있다(도 23). 웨이퍼의 유한 요소 구조적 분석에 대한 경계 조건을 정의하는데 이용될 수 있는 정보를 수집할 수 있는 임의 타입의 센서가 이용될 수 있다. 예를 들어, 한 실시예에서 센서(303)는, (예를 들어, MARPOSS Model E4N에 의해 제조된) 웨이퍼 상에 가해지는 노즐로부터 나오는 가압된 공기흐름이 직면하는 저항을 측정함으로써 유체정역학적 패드와 웨이퍼(W) 사이의 거리를 측정하는 동적 공압 센서(dynamic pneumatic pressure sensors)를 포함한다. 가압된 공기는 대기로 배기된다. 이러한 노즐은 유체정역학적 패드(305)에 강성 부착되거나 유체정역학적 패드에 대해 기타의 방식으로 고정될 수 있다. 당업자라면, 이러한 동적 압력 센서(303)로부터의 측정치는 유체정역학적 패드(305)와 웨이퍼(W)의 표면 사이의 간격을 나타낸다는 것을 알 것이다. 따라서, 동적 공압 센서에 의한 압력의 측정치는 센서(303)와 웨이퍼(W)의 표면 사이의 거리에 대응한다.
- [0054] 각각의 유체정역학적 패드(305)와 연관된 나노토폴로지 평가 시스템의 센서(303)는, 웨이퍼 W가 x, y 평면에 유지되도록 정의된 x, y, z 좌표 시스템의 x 방향 및 y 방향 중 적어도 하나에서(도 22 및 도 23) 유체정역학적 패드와 연관된 다른 센서들과 이격되어 있다. 이러한 방식으로 센서(303)를 이격시키는 것은, 하나의 센서는 웨이퍼(W)의 표면 상의 한 위치에 대응하는 측정을 행하고 또 다른 센서는 웨이퍼의 표면 상의 상이한 위치에 대응하는 측정을 행하는 이용을 용이하게 한다.
- [0055] 또한, 도면에 도시된 실시예의 유체정역학적 패드(305) 각각은 동일한 갯수의 센서(303)를 가지며, 패드들 중 하나에서의 센서들의 분포는 다른 패드에서의 센서들의 분포의 실질적 거울상이다. 결과적으로, 양쪽 유체정역학적 패드(305)는, x,y,z, 좌표 시스템의 x 방향 및 y 방향 중 적어도 하나에서 서로 이격되어 있는 센서(303)를 가진다. 게다가, 유체정역학적 패드(305)는, (예를 들어, 연삭기가 사용 중일 때) 도 23에 도시된 바와 같이 서로 대향으로 위치하며, 센서(303)는 쌍으로 배열되고, 하나의 유체정역학적 패드 내의 각각의 센서는 다른 유체정역학적 패드 내의 센서와 쌍을 이룬다. 센서 쌍 내의 센서(303)는 x 및 y 방향에서 대체로 서로 일치되며, x,y,z 좌표 시스템의 실질적으로 z 방향으로만 서로 이격되어 있다. 센서 쌍 내의 센서(303)는 유체정역학적 패드(305)에 의해 유지되는 웨이퍼(W)의 대향 측들 상에 위치하여, 동일한 위치에서의 웨이퍼의 대향측들 상에서의 동시 측정을 용이하게 한다. 이것은 그 위치에서의 웨이퍼(W)의 양측 표면 상의 위치들이 동시에 결정되는 것을 허용한다.
- [0056] 센서(303)의 갯수 및 배열은 달라질 수도 있다. 일반적으로, 당업자라면, 많은 수의 센서들은 더 많은 측정치를 획득하고 더 많은 수의 경계 조건을 정의하는데 이용될 수 있어서, 경계 조건들 사이의 영역에서의 웨이퍼 변형에 대한 유한 요소 분석의 결과에서의 불확실성을 줄여주기 때문에, 많은 수의 센서(303)를 갖는 것이 유익

하다고 인식할 것이다. 그러나, 센서(303)의 갯수에는 실제적인 제한이 있다. 예를 들어, 센서(303)가 유체정역학적 패드(305)의 클램핑 기능에 최소한의 충격을 주는 것, 및 그 반대 경우에 최소한의 충격을 주는 것이 바람직하다. 도면에 도시된 나노토폴로지 평가 시스템(301)에서, 예를 들어, 센서(303)는 유체정역학적 포켓(313)이 아니라 유체정역학적 패드(305)의 고원지(311)에 위치한다. (고원지(311) 및 유체정역학적 포켓(313)에 대응하는 위치들이 웨이퍼 클램핑 조건으로부터 도출된 경계 조건의 맵인 도 25a에 도시되어 있다) 이것은 센서(303)와 유체정역학적 포켓(313)에 의해 클램핑되는 웨이퍼(W)의 영역 사이에 약간의 분리를 제공하며, 이에 대해 클램핑 조건의 파악으로부터 경계 조건을 도출하는 것이 가능하다. 센서(303)와 포켓(313) 사이의 분리는 또한, 유체정역학적 포켓이 센서 측정치에 미치는 국부적 영향의 충격을 줄일 수 있다.

[0057] 앞서 언급한 바와 같이, 센서(303)는 웨이퍼(W)의 상이한 부분들에서 측정을 행하도록 배치된다. 예를 들어, 일부 센서(303)는 웨이퍼(W)의 중심 위치와 상관될 수 있는 측정을 행하도록 배치되는 반면, 다른 센서들은 B-링 및/또는 C-마크 결함에 취약한 웨이퍼의 부분에서 측정을 행하도록 배치된다. 도 22 및 도 23에 도시된 특정한 센서 구성을 참조하면, 센서(303)는 웨이퍼(W)의 중심으로부터 복수의 상이한 거리에서 측정을 행하도록 배치된다. 적어도 하나의 센서(예를 들어, C로 지정된 센서 쌍의 복수의 센서)는, 연삭 동안에 웨이퍼의 중심부의 변형에 관련된 측정을 행할 수 있는 웨이퍼(W)의 중심 부근에 배치된다. 적어도 하나의 다른 센서(예를 들어, R 및 L로 지정된 센서 쌍의 복수의 센서)는 연삭 동안에 웨이퍼(W)의 주변부 부근(즉, 웨이퍼의 중심으로부터 비교적 멀리)에 배치된다. 역시 또 다른 센서(예를 들어, U로 지정된 센서 쌍의 복수의 센서)는, 웨이퍼의 주변부 부근에 배치된 적어도 하나의 센서와 웨이퍼의 중심 부근(예를 들어, B-링 및/또는 C-마크 결함에 취약한 웨이퍼의 부분 부근)에 배치된 적어도 하나의 센서에 대해, 웨이퍼(W)의 중심으로부터 중간 거리에 배치된다.

[0058] 웨이퍼(W)는 연삭기에서 회전됨에 따라 구부림 모멘트(bending moment)에 응하여 휘어질 수도 있다. 결과적으로, 웨이퍼 상의 소정 위치에서의 웨이퍼(W)의 변형은 연삭기에서 웨이퍼가 회전함에 따라 변할 수도 있다. 센서(303)는 웨이퍼(W)의 중심으로부터 상이한 거리에서 측정을 행하도록 배치될 뿐만 아니라, 웨이퍼의 중심으로부터 연장되는 상이한 반지름 라인(323, 325, 327) 상에 배치된다. 예를 들어, 센서 쌍 R 및 L은 웨이퍼의 중심으로부터 약 동일한 거리가 되도록 배치되지만, 이들은 상이한 반지름 라인 상에 있다. 센서 쌍 R의 센서들은 대체로 하나의 반지름 라인(323) 상에 있고, 센서 쌍 L의 센서들은 대체로 웨이퍼(W)의 중심으로부터 상이한 방향으로 연장되는 또 다른 반지름 라인(325) 상에 있다. 또한, 센서 쌍 C 및 U의 센서들은, 대체로 웨이퍼(W)의 중심으로부터 역시 또 다른 방향으로 연장되는 제3의 반지름 라인(327) 상에 배치된다. 도면에 도시된 실시예에서, 반지름 라인(323, 325, 327)은 실질적으로 서로 등거리이다. 따라서, 반지름 라인(323, 325, 327)은 서로 약 120도의 각도를 형성한다. 그러나, 서로에 대한 반지름 라인의 이격과, 센서들이 배치된 상이한 반지름 라인들의 갯수는 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 달라질 수 있다.

[0059] 게다가, 센서(303)는 연삭 장치의 컴포넌트들에 대하여 상이한 위치에 배치된다. 예를 들어, 센서 쌍 L의 센서들은 센서 쌍 R의 센서들로부터 연삭 휠(9)의 대향측에 있다. 이것은, 센서 쌍 R의 센서들 중 하나와 센서 쌍 L의 센서들 중 하나를 포함하고 (상기 정의된) 좌표 시스템의 x, y 평면에 수직하는 가상 평면(331)(도 22에 도시)은 연삭 휠(9)을 교차한다는 점에서 명백하다. 센서 쌍 R 및 L의 센서들은 웨이퍼(W)의 중심으로부터 대략 동일한 거리가 되도록 배치되기 때문에, 센서 쌍들 중 하나에 의해 측정되는 웨이퍼의 일부는, 웨이퍼의 회전에 의해 웨이퍼의 그 부분이 다른 센서 쌍에 가져와 지면, 나중에 다른 센서 쌍에 의한 측정에 놓일 수 있다. 그러나, 웨이퍼(W)는 연삭기에서 회전됨에 따라 구부러질 수 있기 때문에, 센서 쌍 R의 센서들에 의한 측정은 센서 쌍 L의 센서들에 의한 대응하는 측정과는 상이할 수 있다.

[0060] 또한, 적어도 하나의 센서(예를 들어, 센서 쌍 R 및 L의 복수의 센서)는 웨이퍼의 수평 중심선(341)(도 22)의 실질적 아래에 배치되는 반면, 적어도 하나의 다른 센서(예를 들어, 센서 쌍 U의 복수의 센서)는 웨이퍼의 수평 중심선의 실질적 위에 배치된다. 또 다른 센서(예를 들어, 센서 쌍 C의 복수의 센서)는 웨이퍼(W)의 수평 중심선(341)에 비교적 가깝게 배치될 수 있다. 도면에 도시된 실시예에서, 예를 들어, 센서 쌍 C의 센서들은 웨이퍼(W)의 수평 중심선(341)의 약간 위에 있다.

[0061] 게다가, 적어도 하나의 센서(예를 들어, 센서 쌍 R, C, 및 L의 복수의 센서)는, 연삭 휠(9)을 수용하기 위한 유체정역학적 패드(305)의 개구(345) 중 하나의 부근에 배치되므로, 동작 동안에 연삭 휠에 인접하게 배치된다. 유사하게, 적어도 하나의 센서(예를 들어, 센서 쌍 R, C, 및 L의 복수의 센서)는 임의의 유체정역학적 포켓(313) 보다 연삭 휠(9)에 더 가깝게 배치된다. 전술된 바와 같이, 일부 연삭기들에서의 연삭기 오정렬은, 연삭기 휠(9)에 의한 클램핑과 유체정역학적 패드(305)에 의한 클램핑 사이의 천이시에 웨이퍼(W)를 비교적 높은 스트레스에 둘 수 있으며, 이 경우, 임의의 유체정역학적 포켓(313) 보다 연삭기 휠에 가깝게 배치된 및/또는 연



삭 동안에 연삭 휠에 인접하게 배치된 임의의 센서(303)는, 연삭기 오정렬시에 비교적 더 높은 스트레스에 놓이는 웨이퍼의 부분에서 측정을 행하도록 배치되는 것으로 간주될 수 있다. 이런 의미에서, (전술된 바와 같이) 클램핑력의 중심을 연삭 휠로부터 멀리 이동시키기 위해 유체정역학적 패드(313)가 연삭 휠(9)로부터 멀어지는 유체정역학적 패드(305)를 이용하는 것에는 몇가지 추가적인 이점이 있을 수 있는데, 이것은 유체정역학적 포켓의 이러한 구성이 나노토폴로지 평가 시스템(301)의 센서(303)가 유체정역학적 포켓과 연삭 휠 사이에 (예를 들어, 실질적 재료의 클램핑 압력인 자유 영역에) 위치할 더 많은 공간을 허용하기 때문이다.

[0062] 적어도 하나의 센서(예를 들어, 센서 쌍 U의 복수의 센서)는 유체정역학적 패드(305)의 개구(345)로부터 더 멀리 위치하도록 배치되므로, 동작시 연삭 휠(9)로부터 더 멀리 배치된다. 그 적어도 하나의 센서(예를 들어, 센서 쌍 U의 복수의 센서)는 또한, 적어도 일부의 유체정역학적 포켓(313) 보다 연삭 휠(9)로부터 더 멀리 있다. 또한, 그 적어도 하나의 센서(예를 들어, 센서 쌍 U의 복수의 센서)는, 오정렬이 있을시 연삭 휠에 의한 클램핑과 유체정역학적 패드에 의한 클램핑과 사이의 천이시에 웨이퍼를 비교적 더 높은 스트레스에 두는 이들 연삭기들에서 연삭기 오정렬이 있을시에 비교적 더 낮은 스트레스에 놓이는 웨이퍼(W)의 일부로부터 측정을 행하도록 배치되는 것으로 간주될 수 있다.

[0063] 이미 언급한 바와 같이, 센서(303)는 센서로부터 웨이퍼(W) 표면까지의 거리에 관한 정보를 검출하도록 동작할 수 있다. 센서(303)는, 센서들로부터 출력되는 센서 데이터를 수신하도록 동작할 수 있는 프로세서(351)(도 22)와 시그널링 접속된다. 프로세서(351)는 연삭 장치로부터 원격지일 수 있지만, 이것이 반드시 요구되는 것은 아니다. 비록 도 22는 프로세서(351)를 센서들에 접속하는 물리적 배선(353)을 도시하고 있지만, 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 프로세서와 센서는 무선 통신할 수도 있다는 것을 이해할 것이다.

[0064] 컴퓨터 워크스테이션의 CPU는 프로세서(351)로서 이용될 수 있다. 또한, 센서(303)로부터의 데이터 및/또는 이로부터 도출되는 정보(355)의 처리는 복수의 처리 유닛들 사이에서 공유될 수 있으며, 이 경우 용어 "프로세서"는 이러한 모든 처리 유닛들을 포함한다. 본 발명의 한 실시예에서, 프로세서(351)는 연삭 동작 동안에 센서(303)로부터 출력된 센서 데이터를 모니터링한다. 센서(303)로부터의 출력은, 정보 수집 목적 및/또는 연삭 장치의 동작을 연구하기 위해 기록될 수 있다. 원한다면, 센서(303)로부터의 출력은 연삭 동작 동안에 및/또는 그 후에, 도 24에 도시된 바와 같이, 그래픽적으로 디스플레이될 수 있다.

[0065] 본 발명의 한 실시예에서, 프로세서(351)는 웨이퍼(W)의 유한 요소 구조적 분석을 실시하기 위해 센서(303)로부터의 모니터링된 센서 데이터를 이용하도록 동작할 수 있다. 프로세서(351)는, 도 24에 나타난 바와 같이, 연삭 동작시의 한 시점(357)에서, 바람직하게는, 주 연삭 스테이지의 끝 부근에서(예를 들어, 연삭의 종료 단계가 개시되기 이전에) 센서 데이터를 수집한다. 주 연삭 사이클은 도 24에서 표시된 제2 단계에 대응한다. 도 24에 도시된 전체 연삭 사이클은 5개 단계로 구성된다: 단계(361)는 = 고속 인피드(fast infeed); 단계(363) = 주 연삭 사이클; 단계(365) = 저속 연삭 사이클; 단계(367) = 스파크 아웃(spark-out) 사이클; 및 단계(369) = 휠 퇴거 사이클. 프로세서(351)는, 센서 데이터로부터 하나 이상의 경계 조건을 결정하고 센서 데이터로부터 도출된 하나 이상의 경계 조건을 이용하여 웨이퍼(W)의 유한 요소 분석을 실시하도록 동작할 수 있다. 센서 데이터로부터 도출된 경계 조건은, 유체정역학적 패드에 의해 생성된 클램핑 조건의 파악으로부터 도출된 추가의 경계 조건으로 보충된다. 연삭 사이클과, 프로세서(351)가 유한 요소 구조적 분석에 대한 데이터를 수집하는 시간은, 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 달라질 수 있다.

[0066] 도 25a는 클램핑 조건의 파악으로부터 경계 조건을 도출할 수 있는 한 세트의 위치의 한 예를 도시한다. 도 25a에서, 유체정역학적 패드(305)의 경계 주변에서, 그리고 유체정역학적 포켓(313)의 경계 주변에서, 경계 조건이 정의된다. 도 25b는 웨이퍼(W)의 유한 요소 구조적 분석을 실시하기에 적합한 메쉬(mesh)를 도시한다. 도 25a 및 도 25b에 도시된 예에서 사용되는 유체정역학적 패드(305)는 전술된 유체정역학적 패드(11a, 11b)와는 약간 상이한 유체정역학적 포켓 구성을 가진다는 점에 유의한다. 그러나, 당업자라면, 경계 조건을 정의하고 임의의 연삭 장치에서 이용되는 특정한 유체정역학적 패드에 대해 적합한 메쉬를 개발하는 방법을 알 것이다.

[0067] 클램핑 조건으로부터 도출된 경계 조건과 조합한 센서 데이터로부터 도출된 경계 조건과 웨이퍼(W)의 특성(예를 들어, 실리콘의 재료 특성)을 이용하여, 프로세서(351)는, 웨이퍼 나노토폴로지의 예측을 포함하여, 웨이퍼의 형상을 예측하기 위해 웨이퍼의 유한 요소 분석을 실시한다. 유한 요소 분석에서 프로세서(351)에 의해 예측되는 웨이퍼(W)의 형상은 로(raw) 웨이퍼 프로파일이다. 연삭 공정은 통상 반지름 방향 대칭성을 보이는 나노토폴로지 특징으로 귀결되기 때문에, 로 웨이퍼 프로파일은, 웨이퍼의 중심으로부터의 거리의 함수로서의 변형의 관점에서 표현될 수 있다. 센서 데이터를 이용한 유한 요소 분석에 의해 예측되는 로 웨이퍼 프로파일의 한 예

가 도 26a에 도시되어 있다.

[0068] 한 실시예에서, 유한 요소 분석을 이용한 변형된 웨이퍼 형상은 다음과 같이 계산된다. 이 분석을 위해 셸 요소(shell element)를 이용한 메쉬가 식별된다. 도 25a에 하나의 메쉬의 상세사항이 예시되어 있다. 웨이퍼 변형은, 웨이퍼 클램핑 각도, 휠 경사 및 이동에 따라, R 또는 L B-링 센서에서 더 많은 가능성이 크다는 점을 기억해야 한다. 더 높은 변형은 NT 열화와의 더 강한 상관관계를 갖는 경향이 있다. 따라서, 이 영향을 포착하기 위해 양쪽 위치에서 2개의 판독치 R 및 L 중 더 높은 쪽이 가해진다. 유체정역학적 패드로 인한 웨이퍼 클램핑이 기초 강성 경계 조건(foundation stiffness boundary condition)을 이용하여 시뮬레이션되었다. 대개 10초 미만으로, 연마후 NT가 계산된다. 연삭 휠의 주변부를 따른 웨이퍼 변위(도 25b에서 호 ABC)가 고려된다. 웨이퍼의 중심으로부터 연장되는 모든 반경 r에 대해, 호를 따라 2개의 포인트가 있다. 이들 2개 포인트에서의 변위가 유한 요소 분석의 결과에 기초하여 결정될 수 있으며, 평균화되어 그 반경에서의 평균 변위를 산출한다. 평균 변위가 로 프로파일 곡선(raw profile curve)으로서 플롯팅될 수 있다(도 26a). 그 다음 로 프로파일 곡선으로부터 판독치가 공간 필터에 전달되어 필터링된 프로파일 곡선을 생성한다(도 26b).

[0069] 당업자라면 연삭 후에 대개는 추가적인 웨이퍼 처리 단계가 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 웨이퍼들은 통상 연삭(grinding) 후에 연마(polishing)된다. 또한, 나노토폴로지 결과는 연삭 이후의 나노토폴로지가 아니라, (통상 웨이퍼의 나노토폴로지를 변경시키는) 후속 공정 단계가 완료된 이후의 나노토폴로지에 의해 결정된다. 따라서, 본 발명의 한 실시예에서, 프로세서(351)는, 유한 요소 분석에서 도출된 로 웨이퍼 프로파일을 이용하여 하나 이상의 후속 공정 단계 이후에 웨이퍼 프로파일이 어떻게 될 것인지를 예측하도록 동작할 수 있다.

[0070] 예를 들어, 하나 이상의 후속 공정(예를 들어, 연마) 단계 이후의 웨이퍼 프로파일을 예측하기 위해 로 웨이퍼 프로파일에 공간 필터가 적용될 수 있다. 당업자라면, 이러한 타입의 공간 필터링을 실시하기 위해 이용할 수 있는 다양한 웨이퍼 결함/수율 관리 소프트웨어 툴에 익숙할 것이다. 몇가지 예로서: 캘리포니아주 Santa Clara, SiGlaz사의 Intelligent Defect Analysis Software; 캘리포니아주 Palo Alto, Zenpire사의 iFAB Software; 메사추세츠주 Waltham, Galaxy Semiconductor Inc.의 Examiner software; 및 캘리포니아주 Sunnyvale, Knights Technology의 Yieldmanager software가 포함된다. 필터링된 웨이퍼 프로파일은, 추가 처리 이후에 나노토폴로지가 어떻게 될 것인지를 나타낸다. 필터링된 웨이퍼 프로파일의 한 예가 도 26b에 도시되어 있다. 다수의 웨이퍼에 대하여 유한 요소 분석으로부터 도출된 로 웨이퍼 프로파일과 후속 공정후(예를 들어, 연마 후) (예를 들어, Nanomapper®에 의한) 실제의 나노토폴로지 측정을 비교함으로써, 유한 요소 분석에 이용되는 파라미터들(예를 들어, 유체정역학적 클램핑에 관련된 경계 조건)이 더 양호한 상관을 위해 미세-튜닝될 수 있다.

[0071] 또한, 프로세서(351)는 센서로부터 센서 데이터를 수신하고 센서 데이터로부터 작업물 나노토폴로지를 평가하도록 동작할 수 있다. 한 실시예에서, 프로세서는 선택사항으로서, (예를 들어, 하나 이상의 웨이퍼 프로파일이 규격이나 기타의 미리결정된 기준을 만족시키지 못한다고 프로세서에 의해 판정될 때와 같은) 부정적인 나노토폴로지 평가에 응답하여 교정 동작(remedial action)을 구현하는 정보(355)(예를 들어, 작업물의 예측된 NT)를 제공하도록 동작할 수 있다. 그 가장 단순한 형태로, 교정 동작에 관한 정보(355)는, 한 명 이상의 인간 오퍼레이터(예를 들어, 공정 엔지니어)에게 향하는, 조정이 이루어져야 하며 및/또는 연삭 공정이 주의를 요한다는 신호의 출력을 포함할 수도 있다. 프로세서(351)로부터의 신호에 응답하여, 인간 오퍼레이터는, 연삭기 성능을 향상시키기 위해 연삭기의 정렬(예를 들어, 연삭 휠의 수평 경사에 대응하는 각도, 연삭 휠의 수직 경사에 대응하는 각도, 및 연삭 휠들 간의 이동 중 하나) 및/또는 유체정역학적 패드의 포켓들에 공급되는 유체의 압력을 조정할 수도 있다. 대안으로서 또는 추가적으로, 오퍼레이터는 연삭기의 초기 설정을 조정함으로써 정렬을 조정할 수도 있다(예를 들어, 설정의 검지법칙). 프로세서(351)는 또한, 연삭 공정 변수를 조정하는 것을 포함한 일부 교정 동작을 구현하는 다른 정보(355)를 제공할 수도 있다. 예를 들어, 프로세서(351)는, 센서 데이터에 응답하여 연삭 휠 및/또는 유체정역학적 패드 중 적어도 하나의 위치 또는 적용에 대한 조정을 나타내고 및/또는 포켓(313)에 공급되는 유체의 압력을 조정함으로써 웨이퍼 상의 클램핑력의 중심에 대한 조정을 나타내는 정보(355)를 제공하도록 동작할 수 있다. 마찬가지로, 프로세서(351)는, 오퍼레이터 입력에 응답하여, 연삭 휠(9)과 유체정역학적 패드(305) 중 적어도 하나의 위치를 조정하여 연삭기를 재정렬하는데 이용되는 한 세트의 액추에이터(미도시)를 제어할 수 있다.

[0072] 본 발명에 따른 반도체 웨이퍼 처리 방법의 한 실시예에서, 반도체 웨이퍼(W)는 전술된 나노토폴로지 평가 시스템(301)을 갖는 양면 연삭기 내에 로딩된다. 웨이퍼(W)의 실제 연삭은 여기서 언급한 것을 제외한 종래의 방식으로 진행한다. 연삭 공정 동안에, 하나 이상의 센서(303)는, 웨이퍼(W) 변형을 나타내고 웨이퍼의 유한 요소

구조적 분석에 대한 하나 이상의 경계 조건을 도출하는데 이용될 수 있는 데이터를 수집한다. 예를 들어, 전술된 나노토폴로지 평가 시스템(301)의 센서(303)는 웨이퍼(W)의 표면과 센서들 사이의 복수의 거리 측정치를 수집한다. 또한, 평가 시스템(301)의 센서(303)는, 전술된 바와 같이, 웨이퍼의 상이한 부분들로부터 동시에, 그리고, 연삭기의 컴포넌트들에 대하여 다양한 위치에서 데이터를 수집할 수 있다.

[0073] 한 실시예에서, 센서들은 B-링 결함과 연관된 작업물의 일부에서의 거리에 관점에서 작업물의 2개 면의 편차를 측정하고, 프로세서(351)는 센서들로부터 이러한 거리 데이터를 수신하고, 수신된 센서 데이터로부터 작업물 나노토폴로지의 B-링 결함을 평가하도록 동작할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 센서들은 C-마크 결함과 연관된 작업물의 일부에서의 거리에 관점에서 작업물의 2개 면의 편차를 측정하고, 프로세서(351)는 센서들로부터 이러한 거리 데이터를 수신하고, 수신된 센서 데이터로부터 작업물 나노토폴로지의 C-마크 결함을 평가하도록 동작할 수 있다.

[0074] 센서(303)는, 센서 데이터를 수신하고 처리하는 프로세서(351)에 센서 데이터를 송신한다. 센서(303)로부터의 출력은, 도 24에 도시된 바와 같이 (연삭 동안에 및/또는 연삭 후에) 선택사항으로, 기록 및/또는 그래픽적으로 디스플레이된다. 센서 데이터는 웨이퍼(W)의 나노토폴로지를 평가하는데 이용된다. 이 방법의 한 실시예에서, 프로세서(351)는 웨이퍼(W)의 나노토폴로지를 평가하기 위해 연삭 처리시의 한 시점으로부터 센서 데이터를 기록한다. 예를 들어, 도 24는 양면 연삭 처리 사이클의 단계들(361, 363, 365, 367, 369)과 함께 플롯팅된 센서들 각각의 시변적 출력을 도시한다. 프로세서(351)는, 센서들 각각으로부터 한 세트의 동시발생적 데이터를 얻기 위해 처리 사이클의 한 시점(예를 들어, 도 24에서 화살표 357로 표시된 시간)에서 센서(303)로부터의 출력을 기록한다. 프로세서(351)는 웨이퍼(W)의 유한 요소 구조적 분석을 실시하기 위한 경계 조건을 도출하기 위해 상기 데이터 세트를 이용한다.

[0075] 프로세서(351)는 센서-도출된 경계 조건과 기타 임의의 경계 조건(예를 들어, 클램핑 조건의 파악으로부터 도출된 경계 조건)을 이용하여 웨이퍼의 유한 요소 분석을 실시한다(도 25a). 유한 요소 분석은 로 나노토폴로지 웨이퍼 프로파일을 생성하는데 이용된다(도 26b). 전술된 공간 필터는, 후속 공정 단계 후의(예를 들어, 연마 후의) 웨이퍼(W)의 가능성있는 나노토폴로지를 예측하기 위해 로 웨이퍼 프로파일에 선택사항으로서 적용된다.

[0076] 프로세서(351)는, 나노토폴로지 요구에 대한 연삭기의 성능을 평가하기 위해 로 웨이퍼 프로파일 및/또는 필터링된 웨이퍼 프로파일을 검토한다. 이 평가는, 연삭기 나노토폴로지 성능이 미리결정된 기준을 만족하는지를 판정하기 위해 한 묶음의 다른 웨이퍼들에 대한 로 웨이퍼 프로파일 및/또는 필터링된 웨이퍼 프로파일을 고려할 수도 있다. 연삭기가 나노토폴로지 기준을 만족하지 않는다고 프로세서(351)가 판정하면, 프로세서는 교정 동작을 개시한다. 한 실시예에서, 교정 동작은 연삭 장치가 주의를 요한다는 것을 한 명 이상의 인간 오퍼레이터에게 시그널링하는 단계를 포함한다. 그러면, 인간 오퍼레이터는 전술된 바와 같이 연삭기 장치의 정렬을 조정 및/또는 클램핑의 중심을 조정한다. 또 다른 실시예에서, 프로세서(351)는 부정적 나노토폴로지 평가 및 오퍼레이터 입력에 응답하여 교정 동작을 구현한다. 예를 들어, 프로세서(351)는, 오퍼레이터 입력에 응답하여 프로세서의 제어하에 하나 이상의 액추에이터를 이용하여 클램핑의 중심을 조정 및/또는 연삭기의 정렬을 조정하기 위해 웨이퍼(W)의 하나 이상의 부분에 가해지는 유체정역학적 압력의 양을 조정할 수 있다.

[0077] 또 다른 실시예에서, 교정 동작은 후속하는 작업물의 연삭을 조정하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 연삭기는 제1 작업물을 연삭하고, 제1 작업물의 연삭 후에 제2 작업물을 연삭하도록 동작할 수도 있다. 프로세서(351)는 센서로부터 데이터를 수신하고 센서 데이터로부터 첫 번째 작업물의 나노토폴로지를 평가하도록 동작할 수 있다. 그 후, 프로세서(351)는, 제2 작업물과 같은 후속 작업물의 연삭시에 사용할 센서 데이터에 응답하여 연삭기 휠 및/또는 유체정역학적 패드 중 적어도 하나의 위치에 대한 조정을 나타내는 정보(355)를 제공하도록 동작할 수 있다. 작업물이 수개 웨이퍼들의 카세트인 상황에서, 카세트 내의 각각의 웨이퍼에 대해 유한 요소 분석이 실시될 수도 있으며, 전체 웨이퍼 카세트가 연삭될 때까지 기다릴 필요가 없다. 만일 설정이 적절하지 않고 하나 이상의 웨이퍼에서 NT 결함이 검출된다면, 카세트 내의 다른 웨이퍼들은 유사하거나 동일한 결함을 가져 어떤 형태의 조정이 없다면 더 큰 수율 손실을 초래할 것이다. 본 발명의 한 실시예에 따르면, 오퍼레이터는 카세트 내의 모든 웨이퍼로부터 피드백을 얻기 위해 기다릴 필요가 없어 상당한 양의 수율 손실을 피할 수 있다. 따라서, 연삭 동안에 연마후 NT 결함의 신뢰성있는 예측이 제공된다. 이러한 예측은, 후속하는 웨이퍼들의 연마 후의 나노토폴로지 결함이 최소화되도록, 후속하는 웨이퍼 및 카세트에 대한 연삭기 설정을 오퍼레이터가 최적화하는 것을 도운다.

[0078] 도 27은, 특정한 웨이퍼에 대한 본 발명의 한 실시예에 따른 예측된 프로파일과, 나노맵퍼로부터 판정되는 연마 후의 바로 그 웨이퍼에 대한 평균 반지름 변위 프로파일을 나타내는 그래프이다. 실선은, 본 발명의 한 실시



예에 따른 유한 요소 분석에 기초한 웨이퍼의 예측된 프로파일의 한 예를 나타낸다. 점선은, 웨이퍼를 분석한 나노맵퍼로부터의 데이터에 기초한 프로파일을 나타낸다. 도 28은 다수의 웨이퍼의 수평축 상에 플롯팅된 예측된 B-링 값들과 수직축 상에 플롯팅된 실제 B-링 값들 간의 상관관계를 나타내는 그래프로서, 상관관계 계수는  $R=0.9$ 이다.

- [0079] 본 발명의 방법은 연삭기의 나노토폴로지 성능에 관한 신속한 피드백을 제공한다. 예를 들어, 웨이퍼 나노토폴로지의 평가는, 웨이퍼 연삭 사이클이 완료되기 이전에 시작될 수 있다. 또한, 나노토폴로지 피드백은 연마 이전에 얻어질 수 있다. 대조적으로, 많은 종래의 나노토폴로지 피드백 시스템은 웨이퍼 나노토폴로지를 측정하기 위해 레이저 검사를 이용한다. 이 시스템들은 통상, 반사 표면이 없는 연마되지 않은 웨이퍼에서 사용하기에는 적합하지 않다. 본 개시에 비추어 당업자라면 본 발명의 방법을 통해 달성가능한 많은 다른 잇점들을 인식할 것이다.
- [0080] 전술된 방법에서, 센서(303)는 연삭 동작 동안에 실질적으로 연속적 기반으로 데이터를 수집할 수 있다. 그러나, 연삭이 완료된 후 웨이퍼가 여전히 연삭기에 있는 동안 센서로부터 데이터가 수집될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 또한, 센서(303)는 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 간헐적으로 또는 하나의 시점에서 측정을 행할 수도 있다. 마찬가지로, 센서 데이터의 처리는, 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 연삭 동작이 완료된 후 및/또는 웨이퍼가 연삭기로부터 제거된 후에 시작되거나 계속될 수 있다.
- [0081] 또한, 전술된 나노토폴로지 시스템의 실시예는 양면 연삭기에 수직으로 유지되는 웨이퍼의 나노토폴로지를 평가하는 것으로 도시되어 있지만, 나노토폴로지 평가 시스템은, 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고, 상이한 배향(예를 들어, 수평)으로 유지되는 웨이퍼의 나노토폴로지를 평가하는데 이용될 수 있다.
- [0082] 본 명세서에서 설명된 나노토폴로지 평가 시스템의 실시예는, 웨이퍼의 나노토폴로지를 평가하기 위해 각각의 웨이퍼의 유한 요소 분석을 실시하지만, 당업자라면, 다수의 이러한 유한 요소 분석으로부터의 실험적 데이터가, 유한 요소 구조적 분석을 실제로 행하지 않고 프로세서가 나노토폴로지를 평가하는 것을 허용하는 기준을 개발하는데 이용될 수도 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들어, 연삭기 내의 웨이퍼에 대한 센서 데이터가 유한 요소 분석이 실시된 또 다른 웨이퍼에 대한 센서 데이터와 충분히 유사한 경우, 연삭기 내에 있는 웨이퍼의 유한 요소 분석을 실제로 행하지 않고 연삭기 내의 웨이퍼의 나노토폴로지를 평가하기 위해 이전의 유한 요소 분석 결과가 이용될 수 있다. 이 공정을 확장시키기 위해 데이터베이스 및 학습 루틴이 이용되어, 프로세서가 유한 요소 분석을 실시하는 경우를 줄이거나 제거할 수 있다. 나노토폴로지 평가 시스템의 숙련된 인간 오퍼레이터는, 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 센서 출력의 그래픽 등의 디스플레이를 시청하고 교정 동작을 수동으로 구현함으로써 나노토폴로지 결함을 나타내는 신호를 인식하는 능력을 개발할 수도 있다는 점을 고려할 수 있다.
- [0083] 게다가, 각각의 웨이퍼에 대해 나노토폴로지 평가가 실시되는 것이 필수적인 것은 아니다. 원한다면, 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 연삭기 내의 연삭된 웨이퍼들의 부분집합(예를 들어, 품질 제어를 위한 샘플)에 대해 전술된 나노토폴로지가 평가될 수 있다.
- [0084] 도 29의 개략도를 참조하면, 웨이퍼 연삭기의 또 다른 실시예가 도시되어 있으며 일반적으로 500으로 표시되어 있다. 웨이퍼 연삭기는 일반적으로 제1 유체정역학적 패드(506), 및 제1 유체정역학적 패드와 대향 배치된 제2 유체정역학적 패드(508)를 포함한다. 웨이퍼(501)(넓게는, 작업물)는 유체정역학적 패드(506, 508) 사이에 위치한다. 한 쌍의 연삭 휠(미도시)이 또한 웨이퍼 연삭기에 포함된다. 웨이퍼 연삭기는 전술된 실시예들과 유사할 수도 있다. 그러나, 도 29의 웨이퍼 연삭기는 웨이퍼 연삭기에 의해 처리된 웨이퍼들의 NT 열화의 저감을 보조하는 추가 컴포넌트들을 포함한다.
- [0085] 제1 유량 제어 밸브(504)는 제1 유체정역학적 패드(506)로의 물의 흐름을 제어하고, 제2 유량 제어 밸브(502)는 제2 유체정역학적 패드(508)로의 물의 흐름을 제어한다. 본 실시예에서는, 패드들 내의 유체정역학적 압력은, 비록 다른 형태도 고려될 수 있지만, 유량에 의해 제어된다.
- [0086] 유량 제어 밸브(502, 504)는 물의 유량이나 압력을 제어할 수 있는 임의의 적절한 밸브이다. 예를 들어, 유량 제어 밸브(502, 504)는 글로브 밸브(globe valve), 볼 밸브(ball valve), 게이트 밸브(gate valve), 다이어프램 밸브(diaphragm valve), 니들 밸브(needle valve), 또는 이들의 임의 조합일 수 있다. 유량 제어 밸브(502, 504)는 임의의 적절한 액추에이터(미도시)에 의해 제어될 수도 있으며, 이들은 별개로 제어될 수도 있다.
- [0087] 제어 시스템(600)은 웨이퍼 연삭기 및 유량 제어 밸브(502, 504)의 동작을 제어한다. 제어 시스템(600)은, 프로세서, 하나 이상의 형태의 컴퓨터 판독가능한 매체, 및 입력/출력 장치를 갖는 컴퓨터 장치(602)를 포함한다.

일부 실시예들에서, 컴퓨팅 장치(602)의 프로세서는 유량 제어 밸브(502, 504)를 제어하도록 동작할 수 있다. 제어 시스템(600)은 연삭 휠에 의해 이용되는 전류의 양을 측정하도록 동작할 수 있다. 제어 시스템(600)은 연삭 휠에 의해 이용되는 전류를 직접 측정하거나, 연삭 휠에 의해 이용되는 전류를 측정하는 별개의 모니터링 장치(미도시)로부터 신호나 기타의 연락을 수신할 수도 있다.

[0088] 연삭 휠에 의해 이용되는 전류의 양은 연삭 동작의 현재 단계를 나타낸다. 예를 들어, 그리고 도 30에 도시된 바와 같이, 연삭 휠이 웨이퍼(501)를 처음 터치할 때, 연삭 휠에 의해 유도되는 전류는 540에 표시된 나머지 상태(residual state)에 비해 550에 표시된 초기 상태(initial state)에서 약간 증가한다. 도 30은 연삭 동작 동안에 각각의 연삭 휠에 의해 유도된 전류를 도시한다. 유도된 전류는, 560으로 표시된 구획을 따라 도시된 바와 같이, 연삭 휠이 웨이퍼(501)를 움켜 쥐려고 함에 따라 계속 증가한다. 이 단계 동안에, 웨이퍼(501)로부터의 물질의 제거는 비교적 거의 없다. 전류가 570에 표시된 구획의 피크치에 도달함에 따라, 웨이퍼(501)로부터 제거되는 물질의 양이 증가한다. 유도된 전류는, 연삭 휠에 의해 웨이퍼(501)로부터 물질의 대부분이 제거되는 동안, 이 피크 레벨에 머무른다. 580에 표시된 스파크 아웃(연삭 휠이 퇴거하기 시작하는) 단계 동안에, 유도된 전류는 급하게 떨어진다. 연삭기 휠이 완전히 퇴거된 후에, 유도된 전류는 590에 표시된 잔여 레벨로 다시 떨어진다.

[0089] 컴퓨팅 장치(602)는 연삭 동작의 현 단계를 예측(즉, 검출 또는 판정)하기 위해 연삭 휠의 모니터링 또는 감지된 유도된 전류를 이용한다. 컴퓨팅 장치(602)는 패턴 검출 소프트웨어 프로그램의 보조에 의해 이 예측을 행한다. 패턴 검출 소프트웨어 프로그램은, 컴퓨팅 장치(602) 상의 하나 이상의 형태의 컴퓨터 판독가능한 매체에 저장된 컴퓨터 실행가능한 명령어를 포함한다. 컴퓨터 실행가능한 명령어는 컴퓨팅 장치(602)의 프로세서에 의해 실행된다.

[0090] 제어 시스템(600)은, 패턴 검출 소프트웨어에 의해 판정된 연삭의 단계에 기초하여 유량 제어 밸브(502, 504)를 이용하여 유체정역학적 패드(506, 508)에서의 압력을 제어하도록 동작할 수 있다. NT 열화를 최소화하기 위하여, 제어 시스템(600)은 연삭 스테이지 동안에 연삭 공정의 시작과 끝에서 유체정역학적 패드의 압력을 증가시킨다. 이들 연삭 스테이지에서, 연삭 휠의 유도된 전류는 그 최저치에 있다. 따라서 제어 시스템(600)은, 밸브들이 유체정역학적 패드(506, 508) 내로 유입되는 물의 유량을 증가시켜 유체정역학적 패드 내의 압력을 증가시키도록 유량 제어 밸브(502, 504)를 제어한다.

[0091] 웨이퍼(501)로부터의 물질의 대부분을 제거하는 연삭 스테이지 또는 단계들 동안에, 제어 시스템(600)은 유량 제어 밸브(502, 504)를 제어하여 유체정역학적 패드(506, 508)에 유입되는 물의 유량을 감소시켜 유체정역학적 패드 내의 압력을 감소시킨다. 이 연삭 스테이지 동안에, 연삭 휠은 웨이퍼(501)를 지지하고 연삭 휠들 사이에서 웨이퍼를 움켜 쥔다. 이 연삭 스테이지 동안에 유체정역학적 패드(506, 508) 내의 압력을 감소시킴으로써, 웨이퍼가 꺾게 되는 탄성 변형의 양이 극적으로 줄어들거나 제거된다. 웨이퍼(501)에서의 이러한 탄성 변형의 감소 또는 제거는 웨이퍼(501)의 표면 상의 감소된 NT로 귀결된다.

[0092] 동작시에, 제어 시스템(600)은 블록(610)에서 패턴 검출 소프트웨어를 이용하여 연삭 스테이지가 검출되는(즉, 판정되는) 방법을 실시한다. 블록(620)에서는, 패턴 검출 소프트웨어에 따라 블록(610)에서 검출된 연삭 스테이지에 따라 유량에 대한 변경이 계산된다. 그 다음, 제어 시스템(600)은 블록(630)에서 유량 제어 밸브(502, 504)를 제어함으로써 이 변경들을 적용한다. 따라서, 제어 시스템(600)은 유체정역학적 압력을 조절하도록 동작할 수 있다.

[0093] 제어 시스템(600)은 또한, 패드들 사이에서 웨이퍼(501)를 처음으로 클램핑하기 위해 유체정역학적 패드(506, 508)에서 제1 유체정역학적 압력을 설정하는 또 다른 방법을 실시하도록 동작할 수 있다. 이 방법에서, 웨이퍼(501)는 실질적으로 수직인 평면으로 유지된다. 유체정역학적 패드(506, 508) 내의 유체정역학적 압력은, 유량 제어 밸브(502, 504)에 의해, 웨이퍼(501)의 연삭 동안의 제1 압력보다 낮은 제2 유체정역학적 압력으로 저장된다. 웨이퍼(501)의 연삭 동안에, 웨이퍼(501)는 연삭 휠에 의해 실질적으로 클램핑될 수도 있다. 그 다음, 유체정역학적 패드는 웨이퍼를 클램핑하기 위해 제3 유체정역학적 압력으로 증가되어, 웨이퍼(501)의 나노토폴로지를 향상시킨다. 제3 유체정역학적 압력은 제1 유체정역학적 압력과 실질적으로 동일할 수도 있다.

[0094] 또 다른 방법에 따르면, 제어 시스템(600)은, 웨이퍼를 클램핑하는 단계, 웨이퍼를 연삭하는 단계, 및 연삭 휠과의 접촉으로부터 웨이퍼를 제거하는 단계를 포함하는 방법을 실시한다. 웨이퍼는 실질적으로 수직인 평면으로 유지된다. 패턴 검출 소프트웨어는, 연삭 동작의 각 단계를 검출하고, 각 단계에서 유체정역학적 압력을 변경하여 웨이퍼에 가해지는 클램핑 압력을 변경함으로써 처리된 웨이퍼에서의 나노토폴로지를 향상시키는 데에 이용된다. 본 실시예의 유체정역학적 압력은, 비록 다른 방식의 압력 변경이 고려될 수 있지만, 유량 제어 밸브

(502, 504)를 통해 유량을 변경함으로써 변경된다. 예시적인 실시예에서, 압력은 연삭 스테이지에서 감소된다. 다른 실시예에서, 압력은 연삭 스테이지 동안에 증가된다.

[0095] 예

[0096] 제1 세트의 웨이퍼와 제2 세트의 웨이퍼의 표면들을 측정함으로써 2개의 데이터 세트가 얻어졌다. 테스트된 웨이퍼들은 진입 및 출구 마크나 기타의 유사한 결함이 없었다. 제1 세트의 웨이퍼는, 연삭 스테이지 동안에 유체정역학적 압력이 변경되지 않는 종래의 공정(즉, 레코드 또는 POR 공정)에 따라 연삭되었다. 제2 세트의 웨이퍼는, 연삭 스테이지 동안에 유체정역학적 압력이 증가된 도 29의 실시예에 따라 연삭되었다. 표면의 구획들(예를 들어, 10mm x 10mm)에 대한 임계 높이 평균(즉, THA1010 측정 표준)에 따라, 테스트된 웨이퍼들의 표면이 측정되었다. THA1010 측정 표준에 따라 행해진 측정은, 웨이퍼의 표면의 한 구획 내의 최대 피크 대 밸리 수직 거리를 나타낸다. (비록 구획들이 중첩할 수 있지만) 상이한 구획들에서 웨이퍼의 표면을 가로질러 이러한 복수의 측정이 이루어진다. THA1010 측정 표준은 웨이퍼 표면의 나노토폴로지를 평가하는데 이용되는 공지된 측정 표준이다. 이 표준을 이용하면, 갯수가 적을수록, 웨이퍼 표면의 나노토폴로지가 더 양호하다.

[0097] 도 31은 양쪽 데이터 세트에 대한 THA1010의 정규 분포를 도시하는 그래프이다. 제1 데이터 세트는 정규 THA1010 POR이라 지칭되고, 제2 데이터 세트는 정규 THA1010 Low Pr이라 지칭된다. 각각의 데이터 세트에 대한 측정치가 정규화되었다(즉, 공약수에 의해 나누어짐). 그래프 상의 데이터 포인트들 각각의 y축은 각 데이터 포인트의 x축과 같거나 작은 측정치의 퍼센트를 나타낸다. 또한, 실선은 제1 데이터 세트의 95% 신뢰 구간의 경계를 나타낸다. 점선은 제2 데이터 세트의 95% 신뢰 구간의 경계를 나타낸다.

[0098] 도 32는 테스트된 웨이퍼의 표면 상의 정규 임계 높이 영역 측정치를 나타내는 박스 플롯팅된 차트이다. 이 차트는 도 31의 2개 데이터 세트의 박스 플롯을 나타내며, 각 데이터 세트에 대해 차트는 각각의 최소값, 제1 사분위수, 중간값, 제3 사분위수, 및 최대값을 도시한다.

[0099] 따라서 도 31 및 도 32는, 도 29의 실시예에 따라 연삭된 웨이퍼의 표면이 POR에 따라 연삭된 것보다 상당히 낮은 피크 대 밸리 측정치를 갖는다는 것을 도시하고 있다. 따라서, 도 29의 실시예에 따라 연삭된 웨이퍼의 표면은 POR에 따라 연삭된 웨이퍼의 표면에 비해 향상된 나노토폴로지를 가진다. 예를 들어, 도 29의 공정에 따라 연삭된 웨이퍼는 0.6346의 정규 평균 THA1010을 갖는 반면, POR에 따라 연삭된 것은 0.6738의 정규 평균 THA1010을 가진다. 표준 편차도, POR에 따라 연삭된 웨이퍼에 비해(표준 편차 = 0.09956), 도 29에 따라 연삭된 웨이퍼(표준 편차 = 0.09826)의 경우 마찬가지로 줄어들었다.

[0100] 게다가, 도 32의 박스 플롯 차트는, 도 29에 따라 연삭된 웨이퍼의 정규 피크 대 밸리 측정치는 POR의 경우에 비해 더 좁은 범위 내에 분포한다는 것을 도시하고 있다. 명료하게 도시된 바와 같이, 제2 데이터 세트(즉, Low Pr)의 제1 및 제3 사분위수가 제1 데이터 세트(즉, POR Pr)의 경우보다 더욱 가깝게 이격되어 있다. 게다가, 제2 데이터 세트의 최대 및 최소는 제1 데이터 세트의 최대 및 최소보다 낮은 값을 가진다.

[0101] 본 발명 또는 그 양호한 실시예(들)의 요소를 소개할 때, 관사 "한(a)", "한(an)", "그 하나(the)", 및 "상기(said)"는 하나 이상의 요소들을 의미하는 것으로 의도한다. 용어 "포함하는(comprising)", "내포하는(including)", 및 "갖는(having)"은 내포적(inclusive)인 것으로서, 열거된 요소들 이외의 추가적인 요소가 있을 수도 있다는 것을 의미하는 것으로 의도한다.

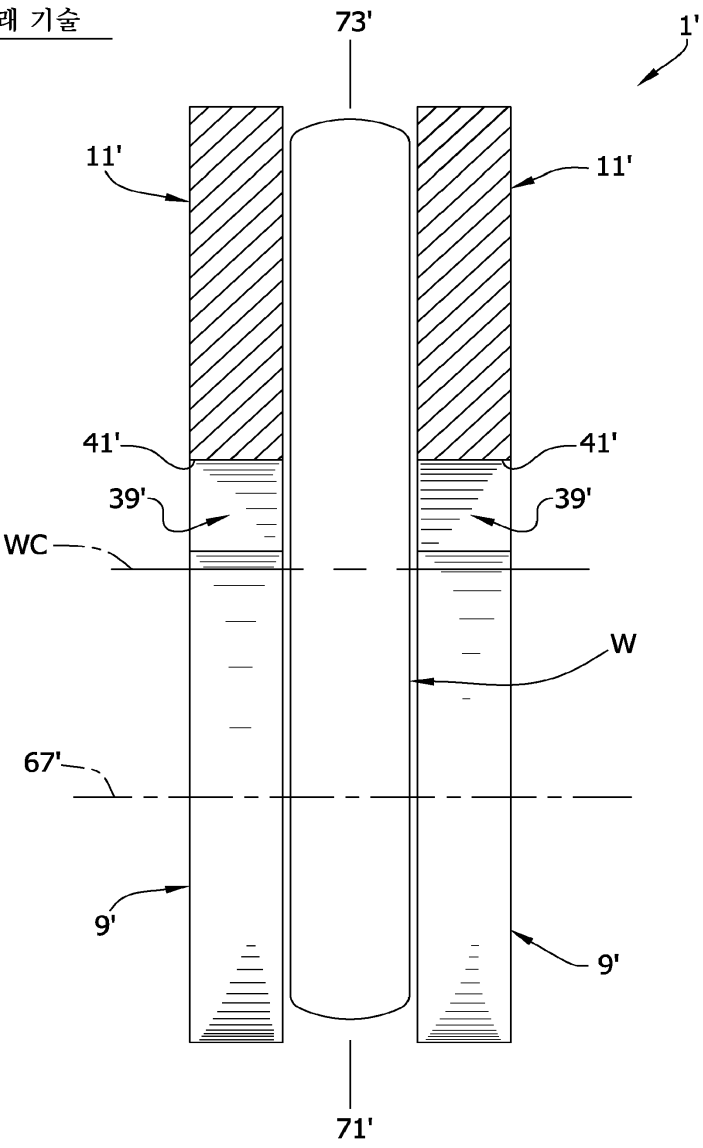
[0102] 본 발명의 범위로부터 벗어나지 않고 상기에서 다양한 변경이 이루어질 수 있기 때문에, 상기 설명에 포함되고 첨부된 도면에 도시된 모든 내용은 제한적 의미가 아니라 설명적 의미로서 해석되어야 한다.



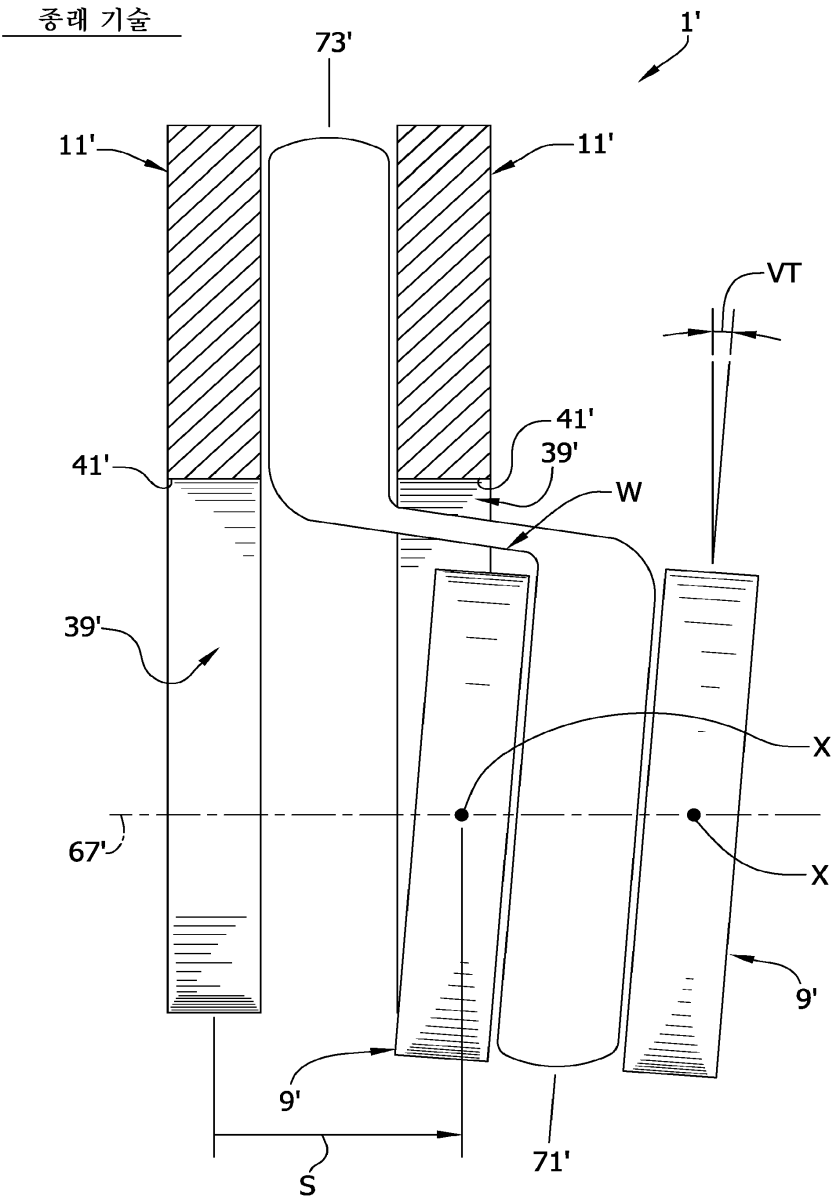
도면

도면1

종래 기술

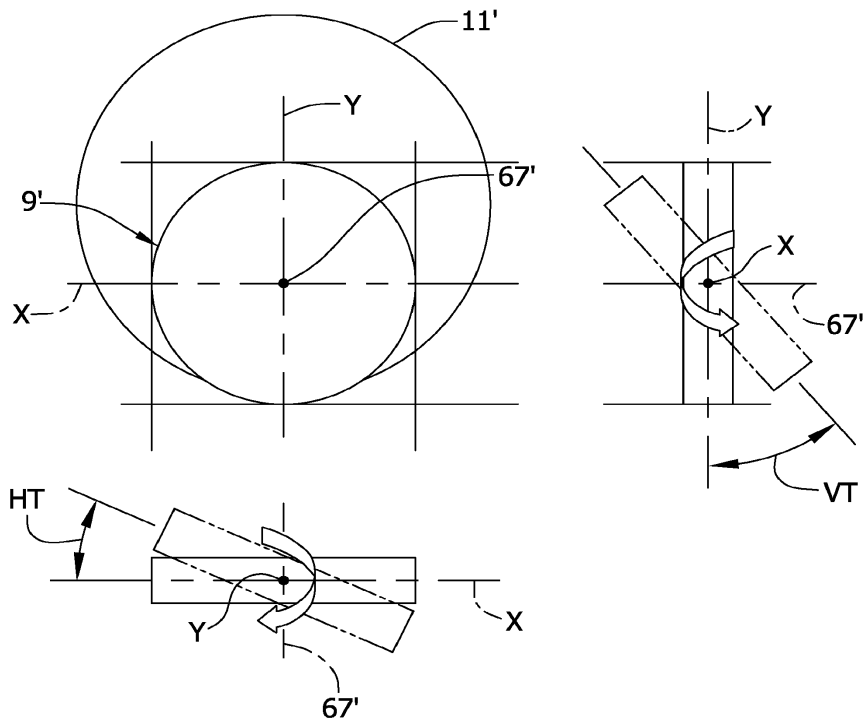


도면2



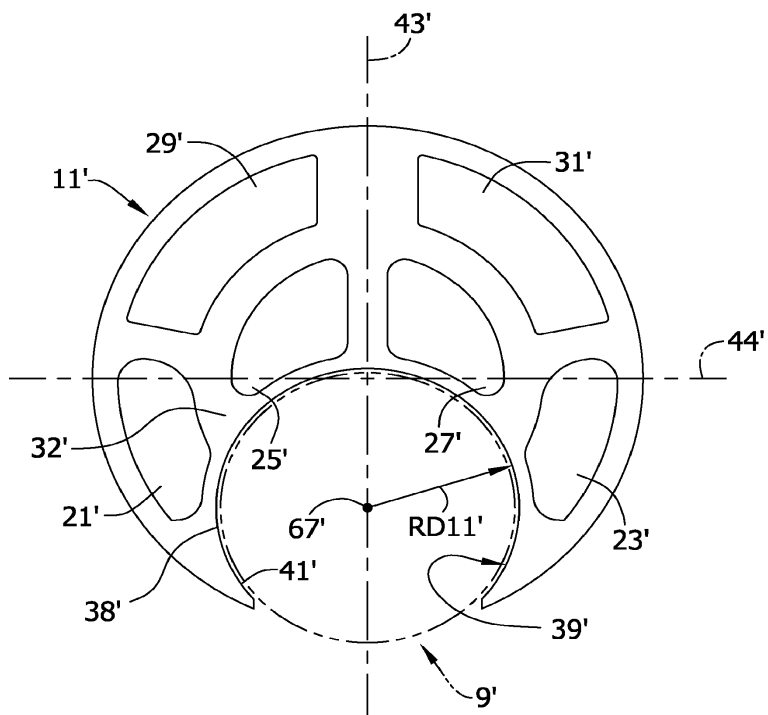
도면3

종래 기술

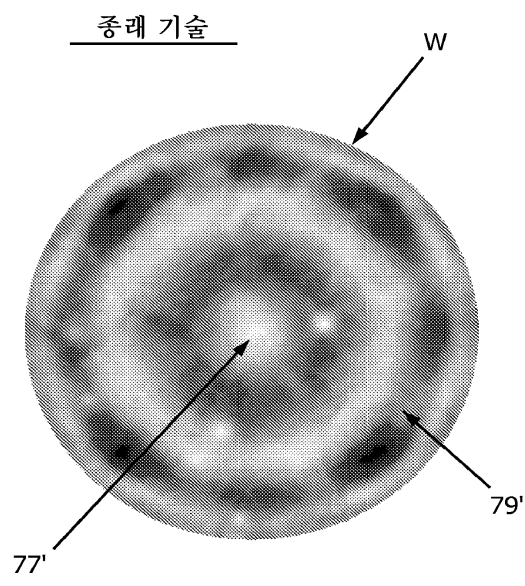


도면4

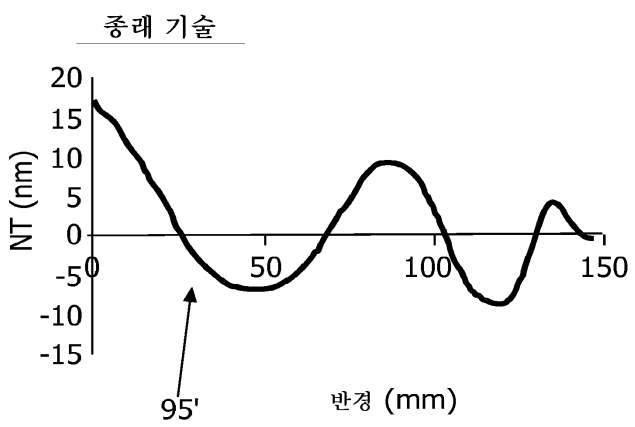
종래 기술



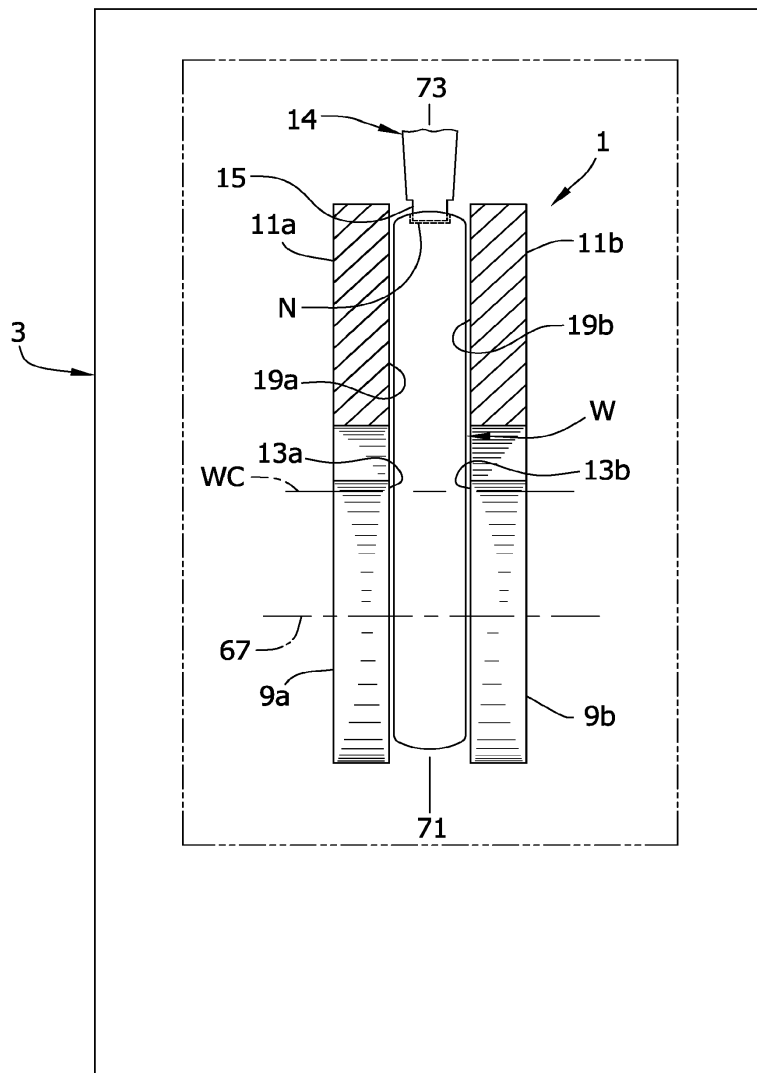
도면5a



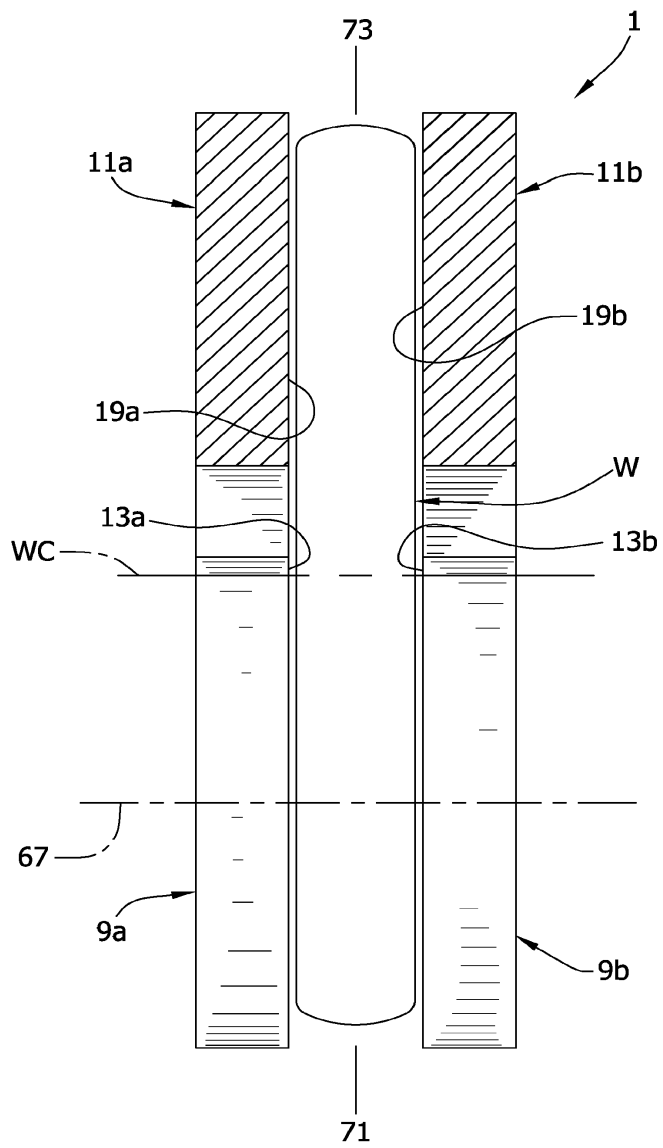
도면5b



도면6

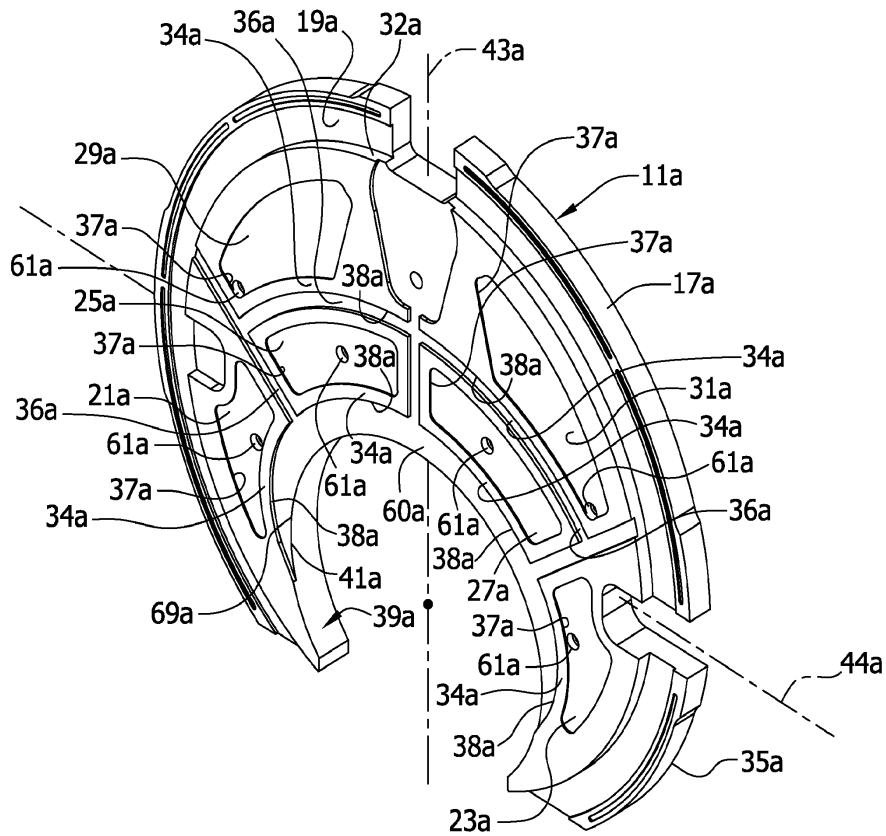


도면7

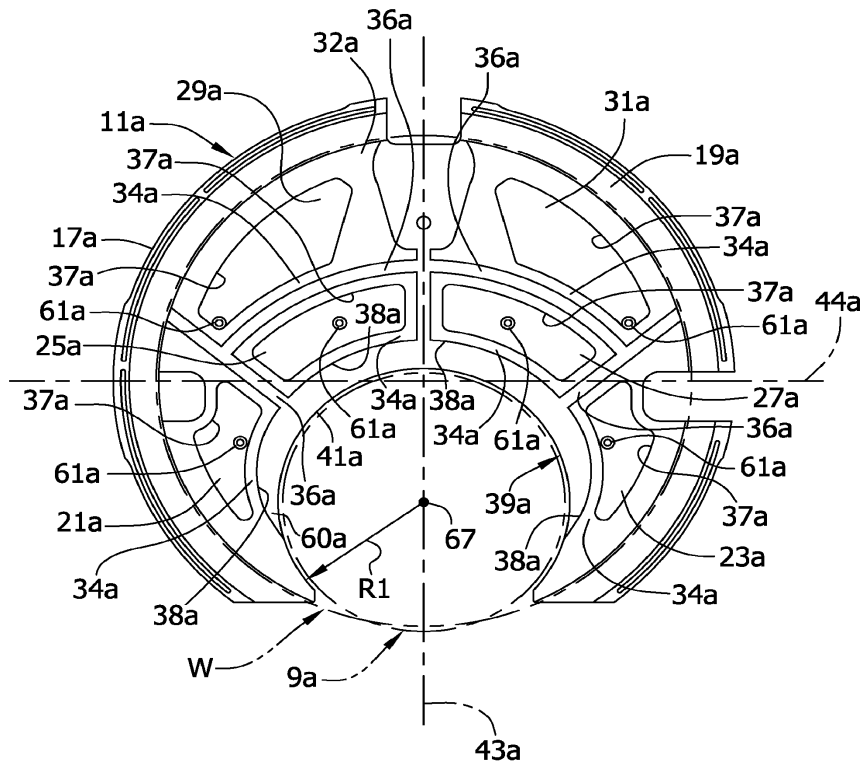




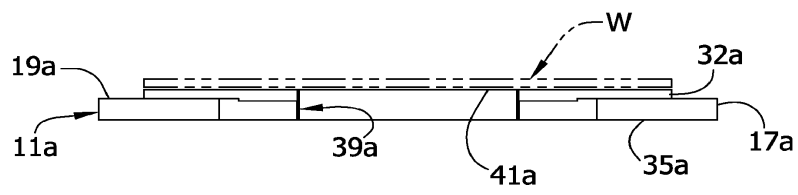
도면8



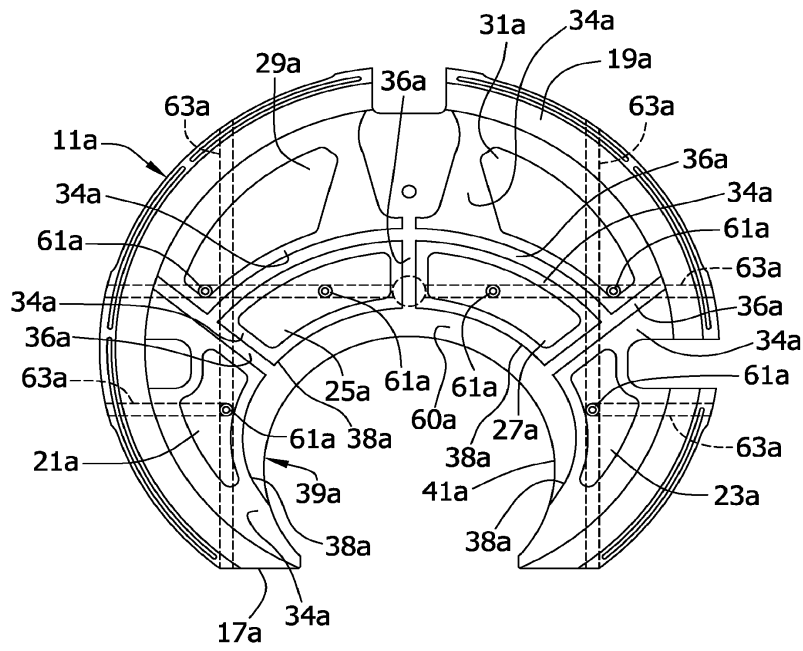
도면9a



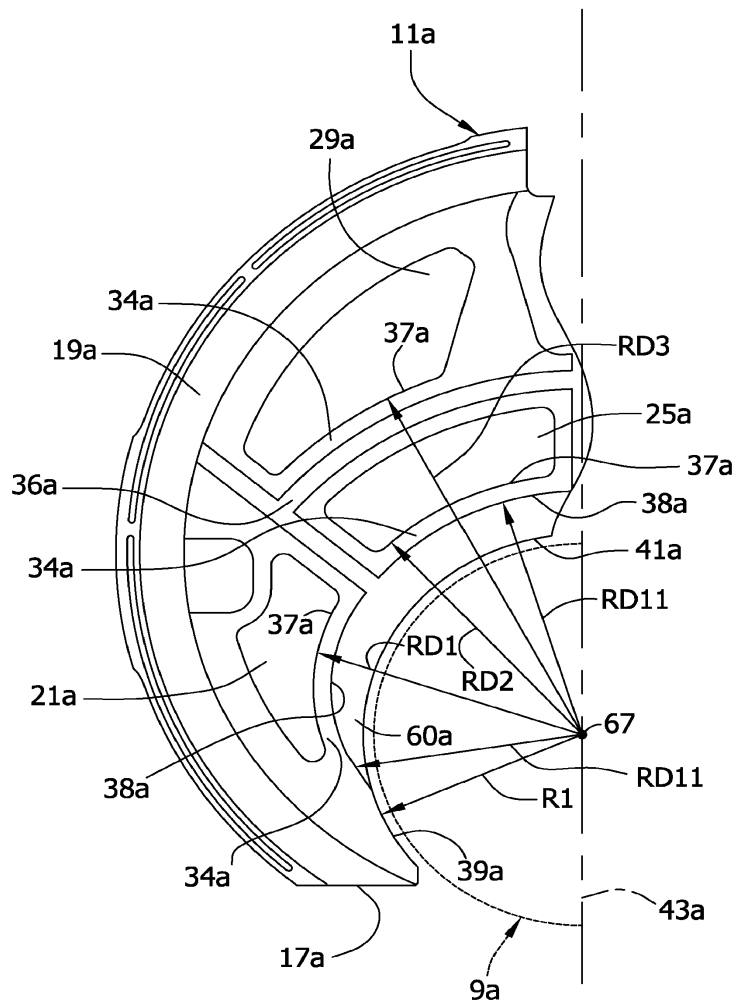
도면9b



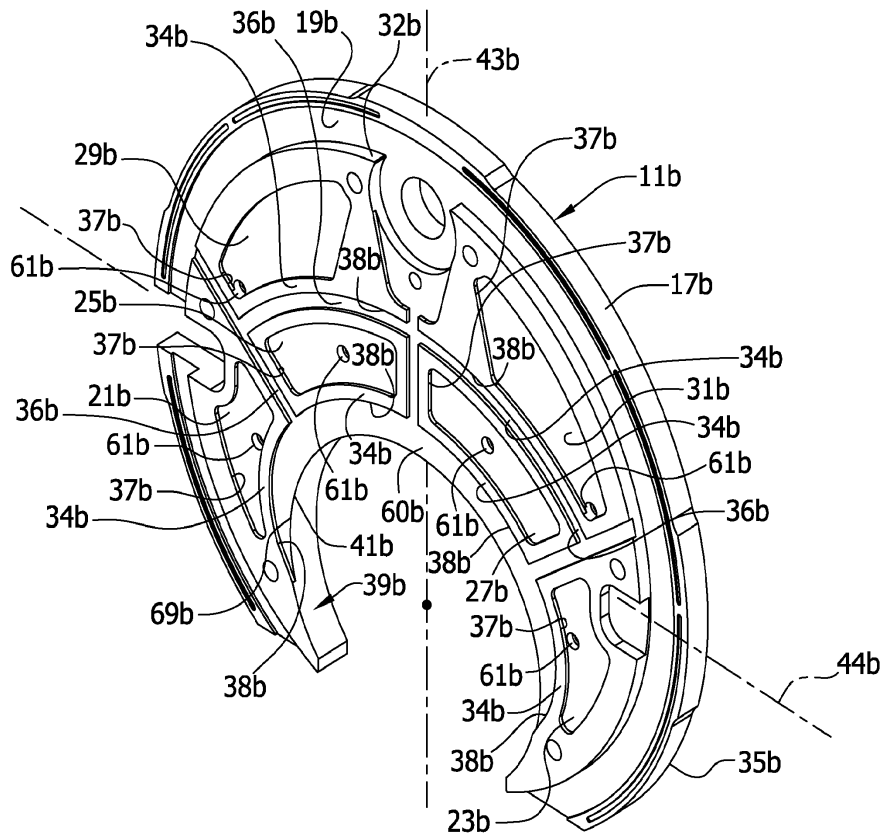
도면10



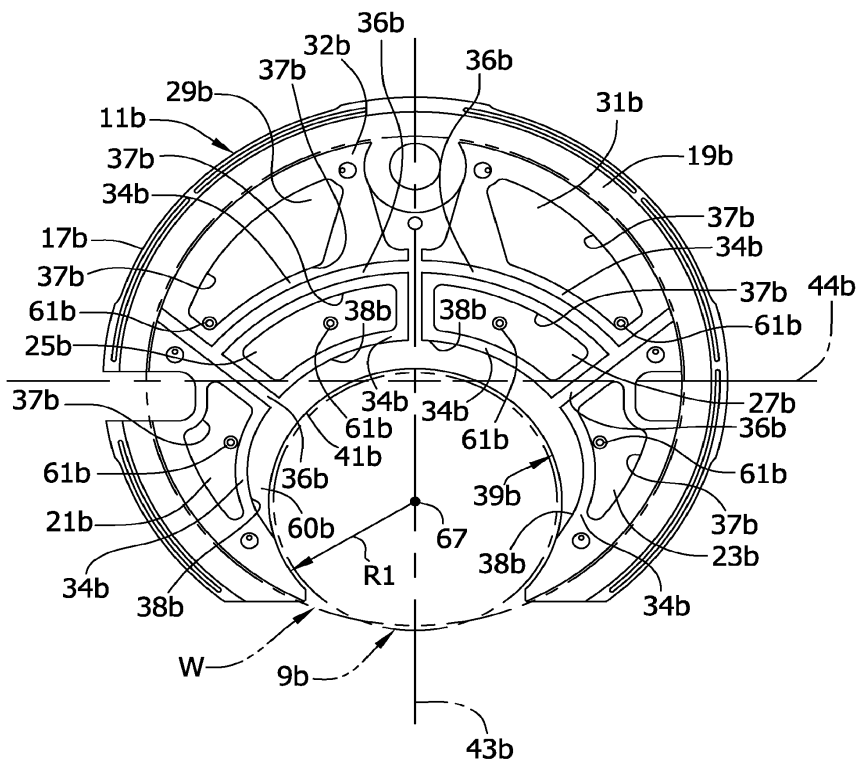
도면11



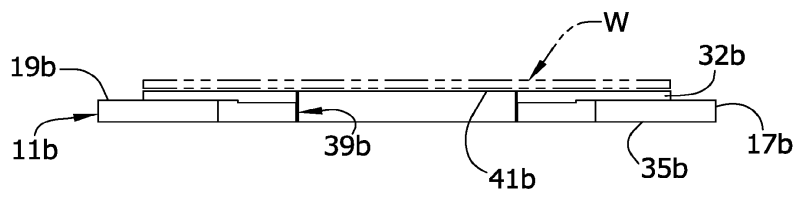
도면12



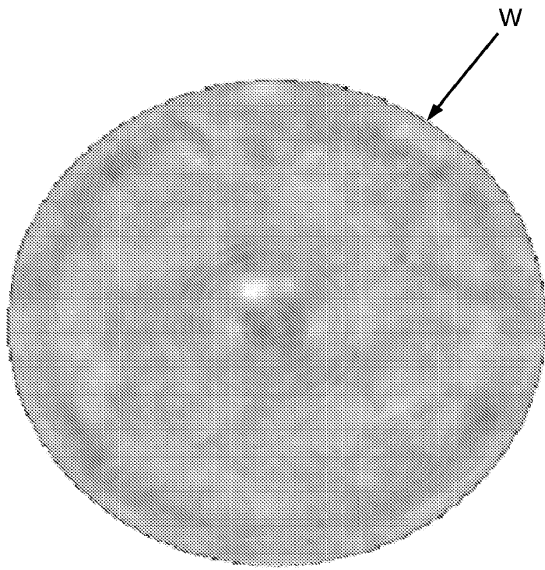
도면13a



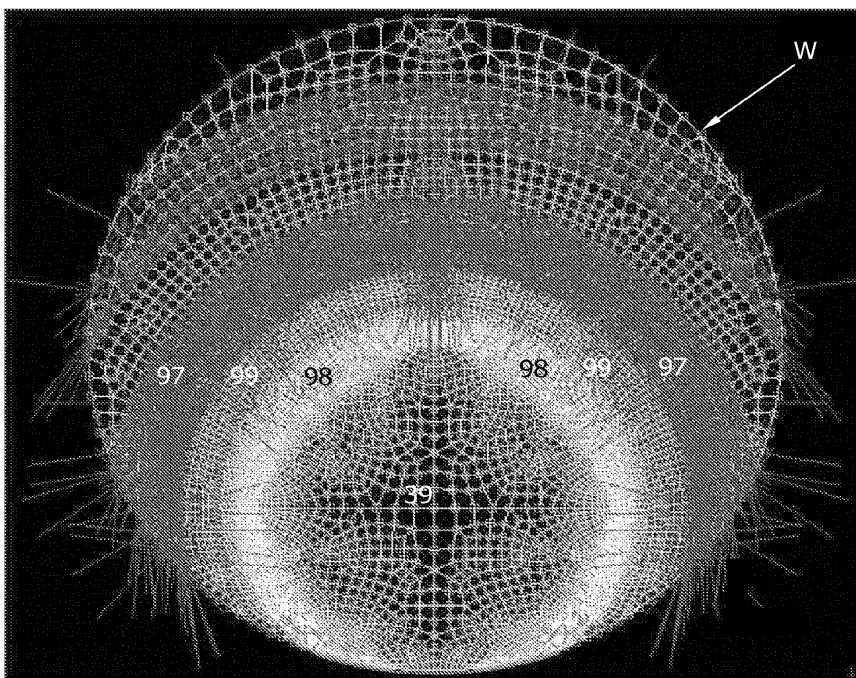
도면13b



도면14

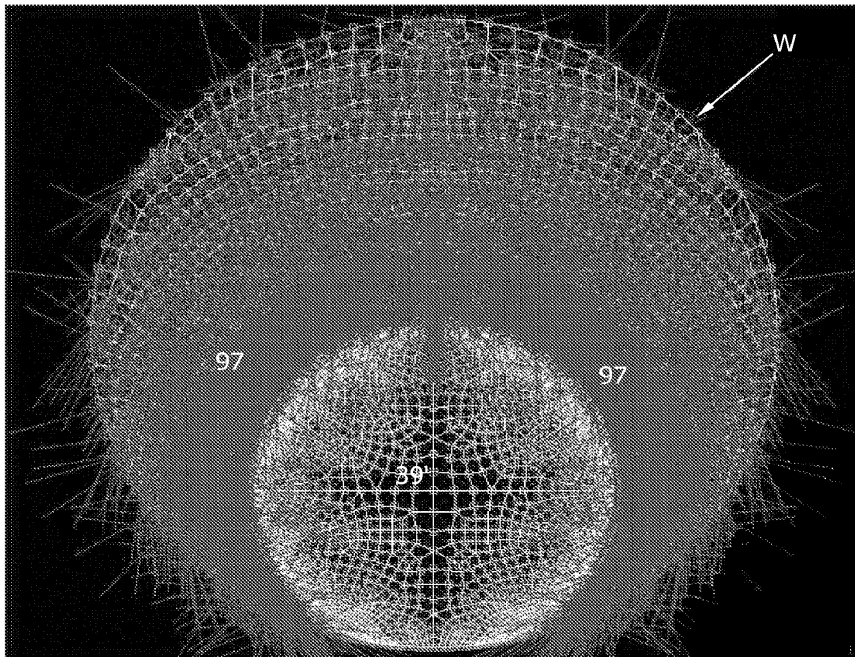


도면15a



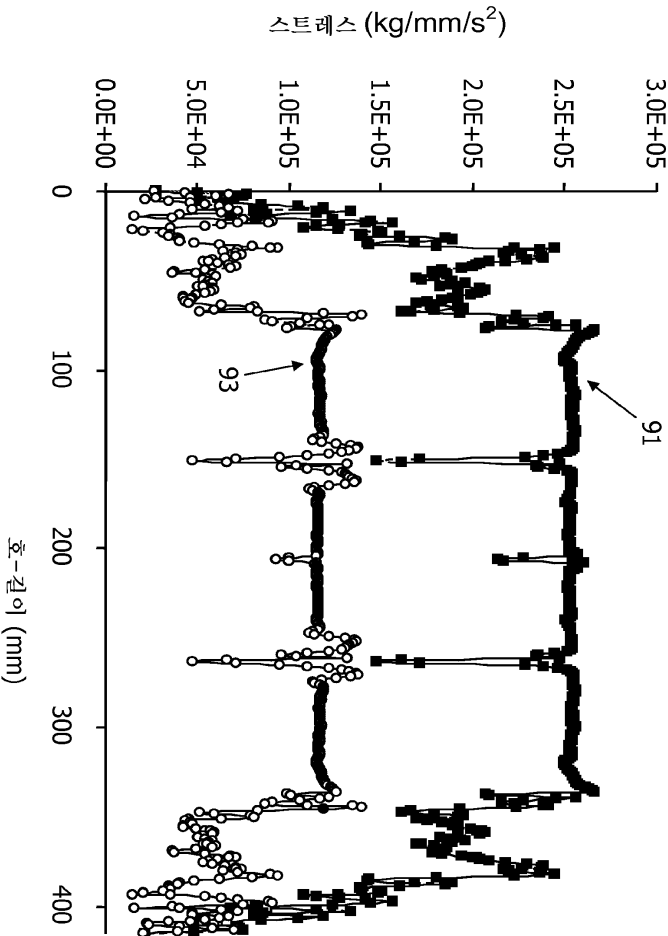
도면15b

종래 기술

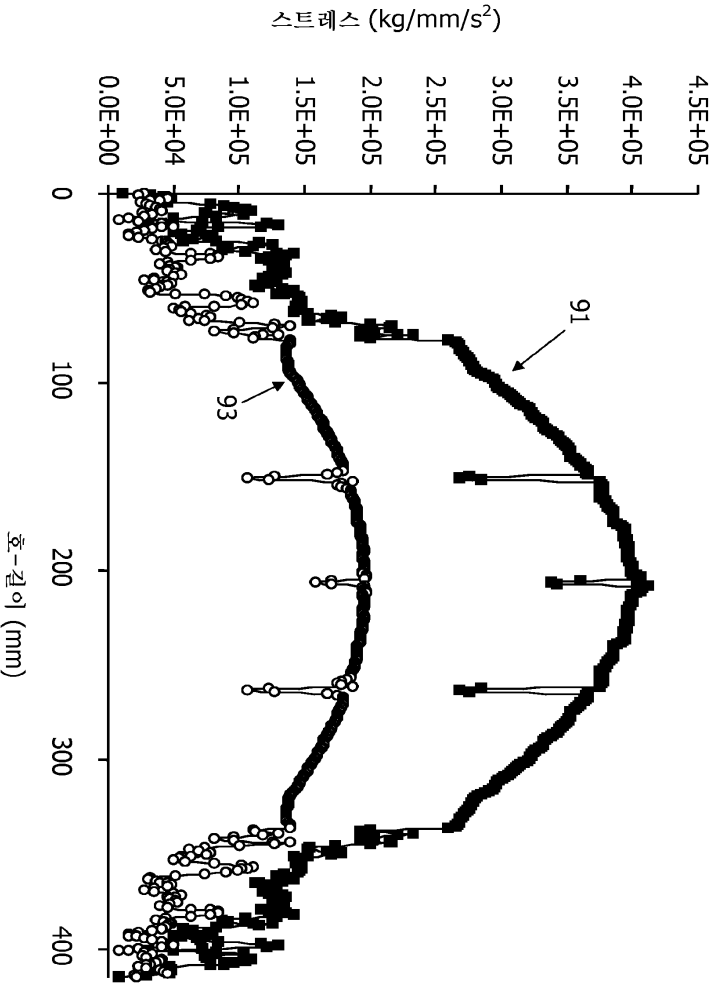




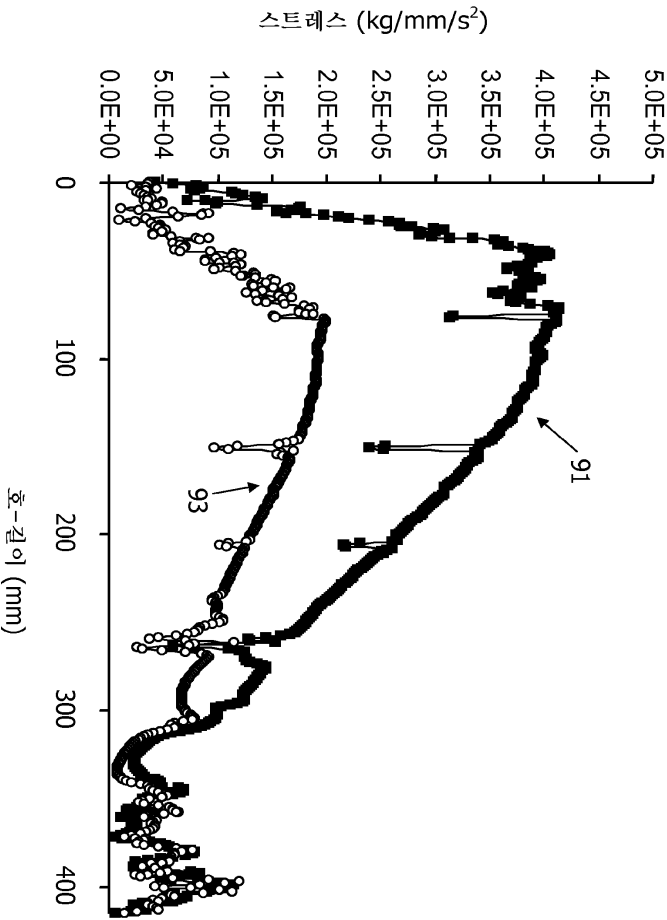
도면16



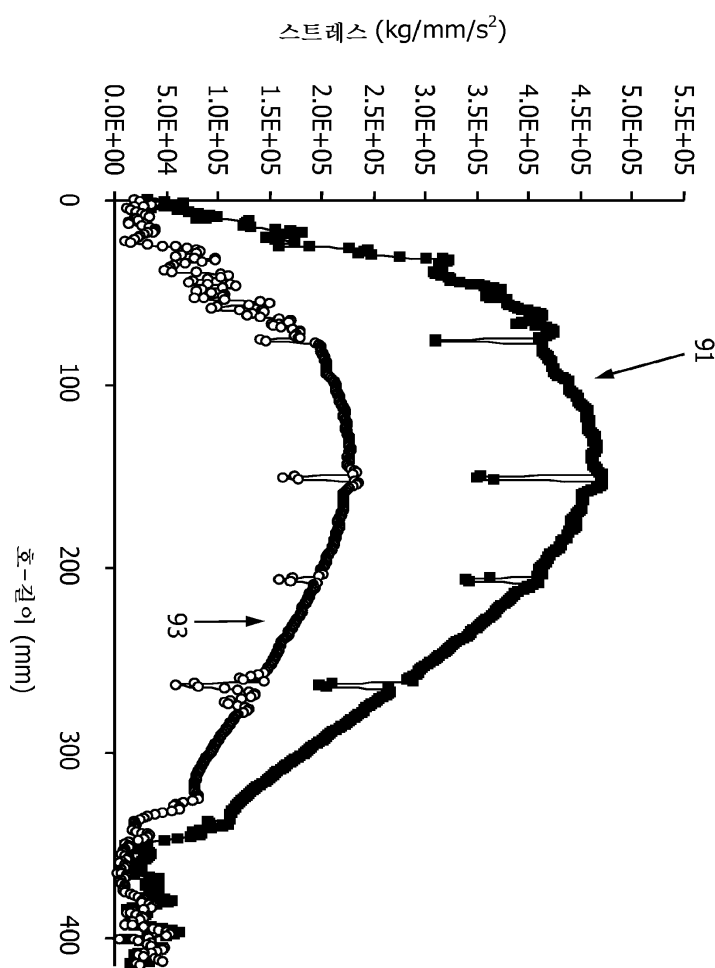
도면17



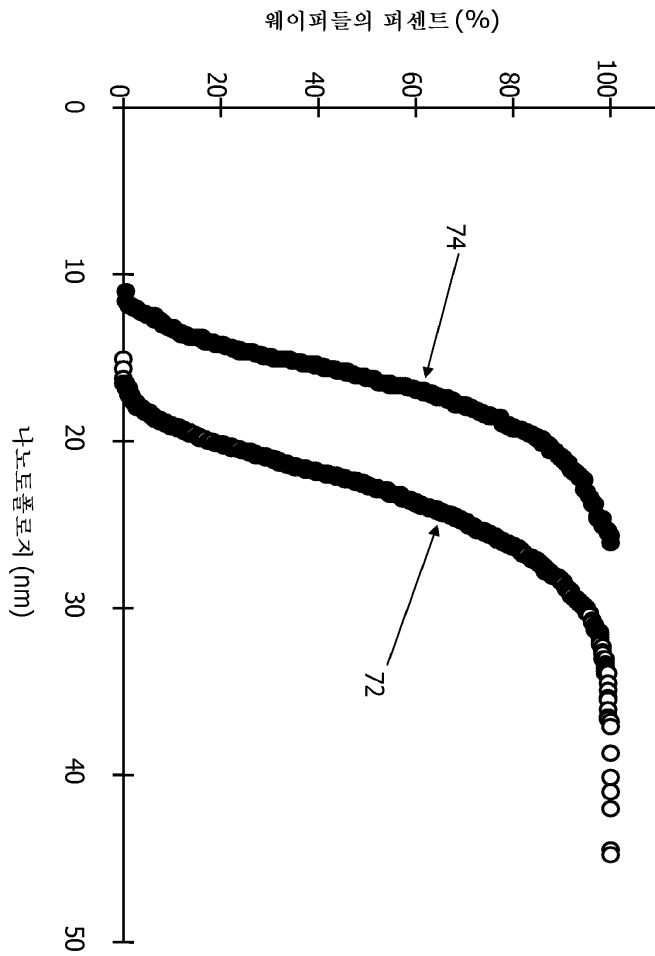
도면18



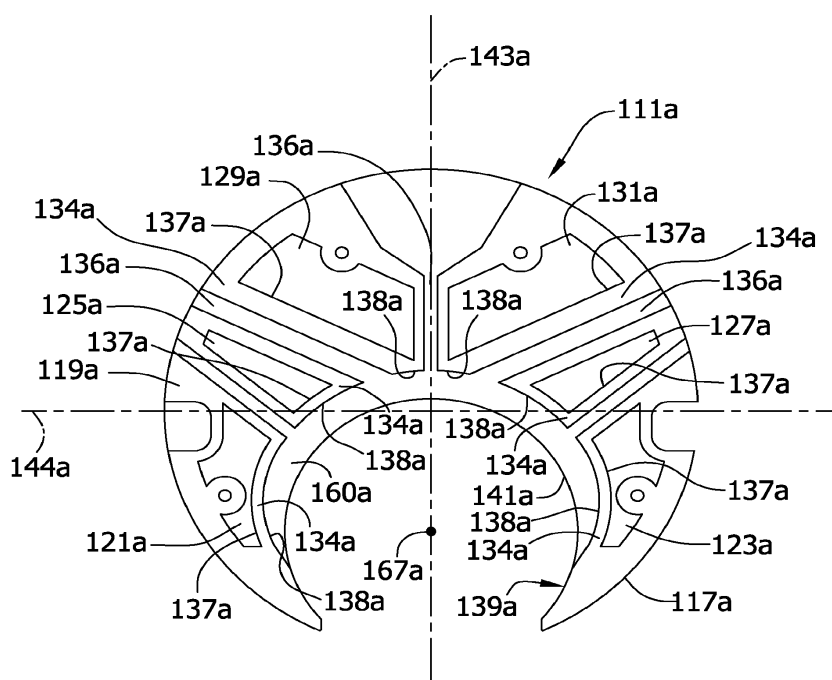
도면19



도면20

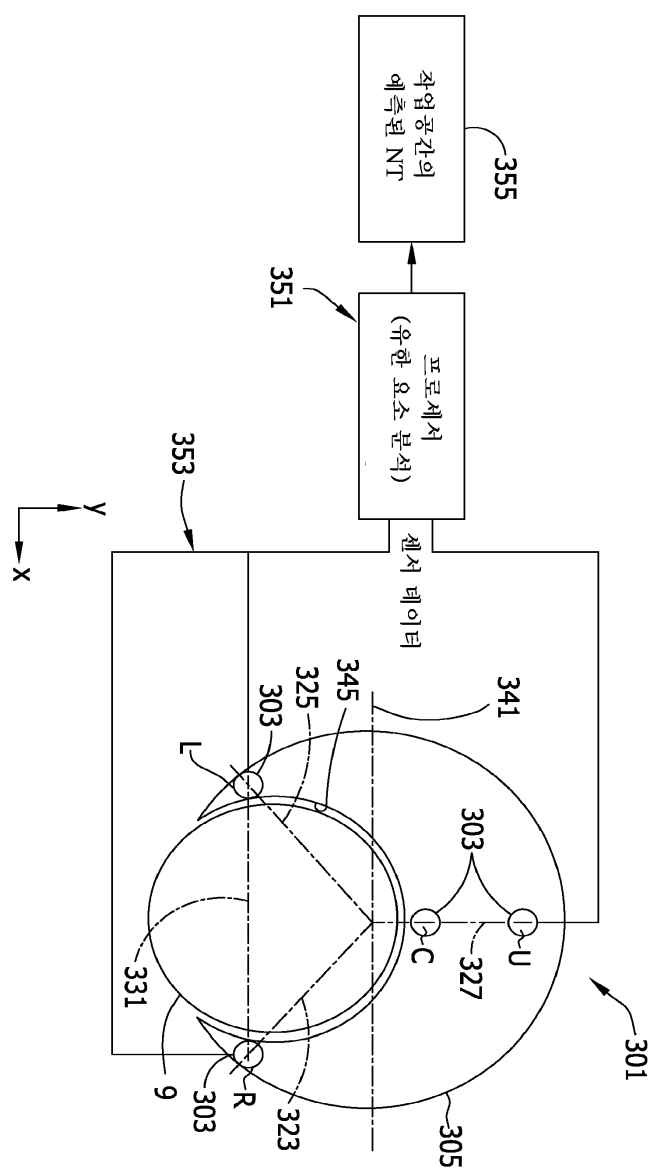


도면21

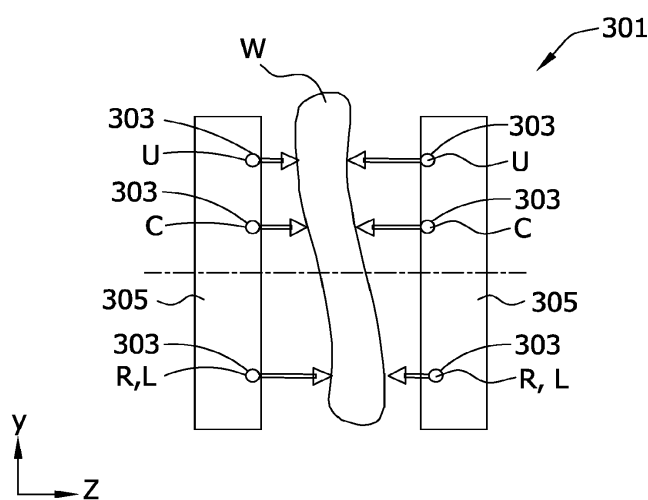




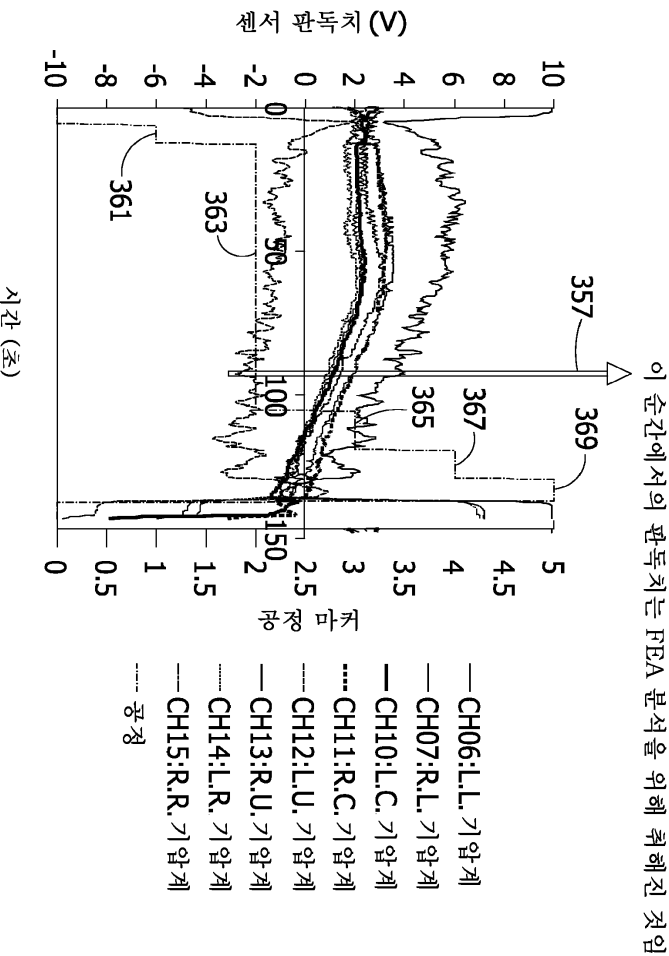
도면22



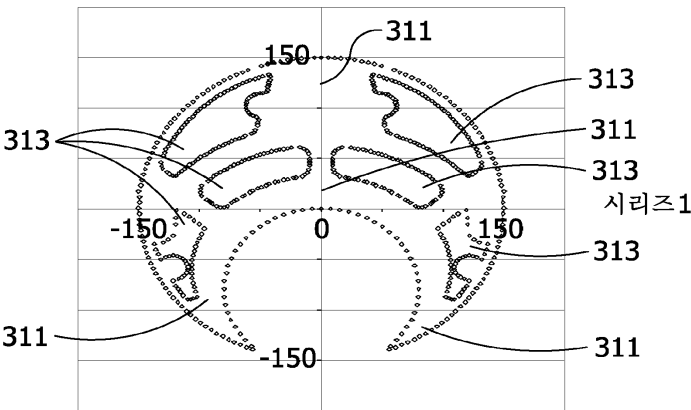
도면23



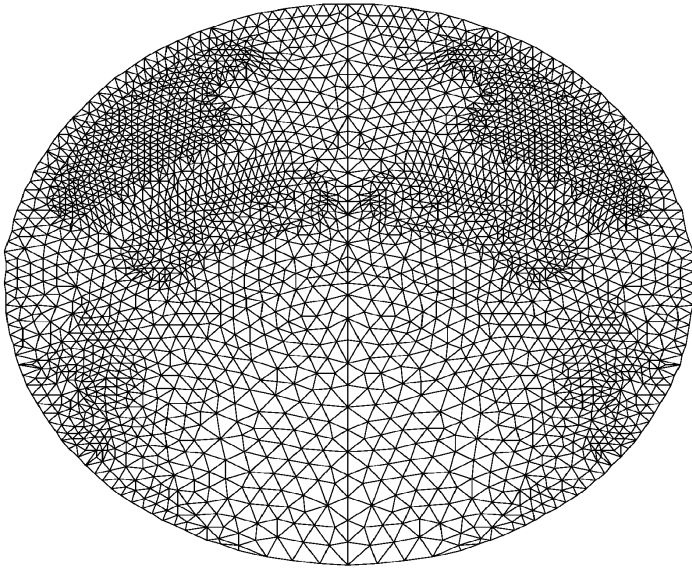
도면24



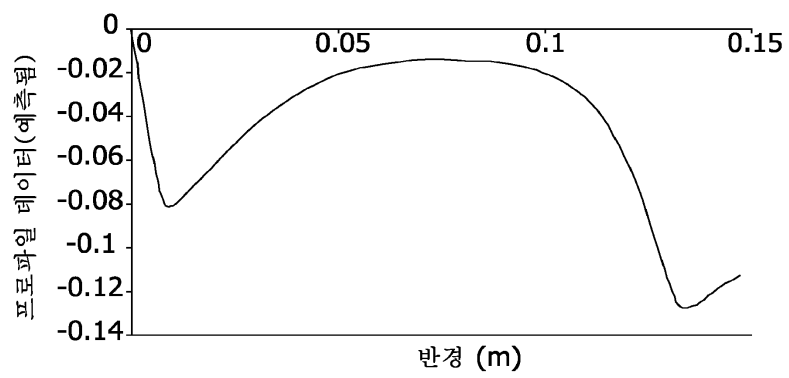
도면25a



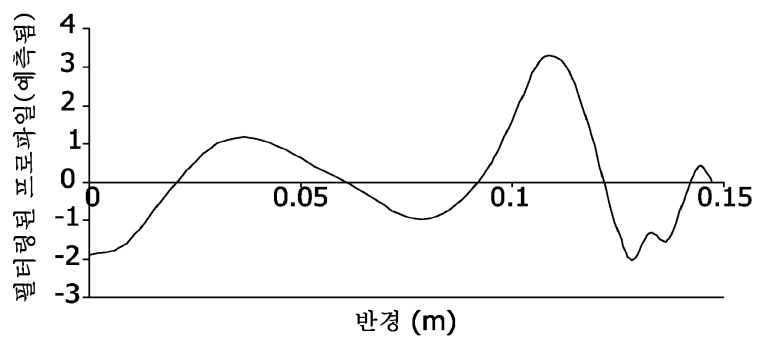
도면25b



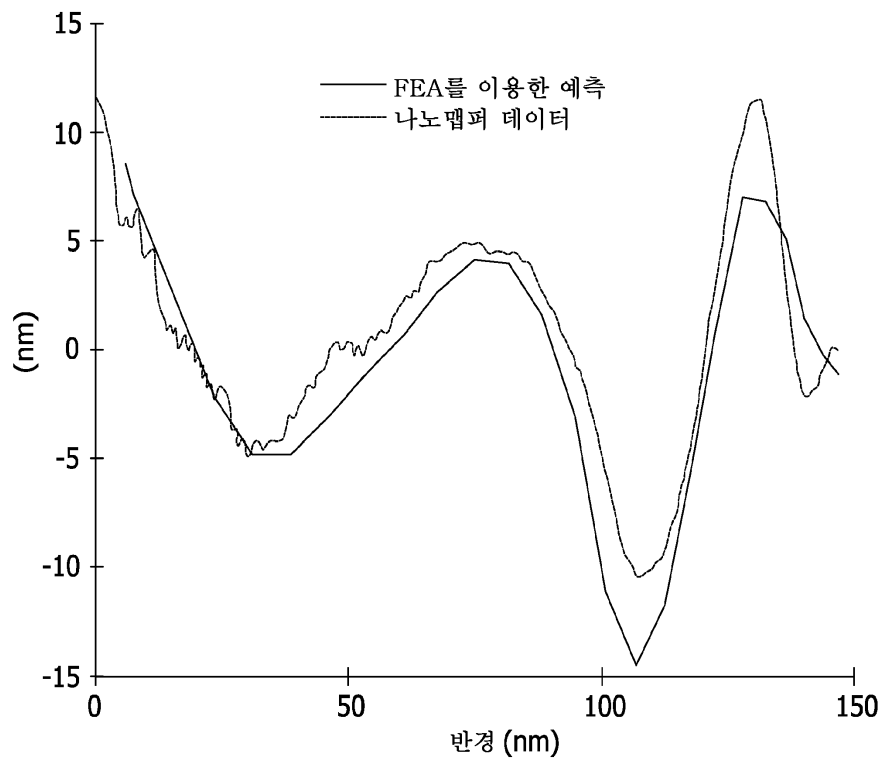
도면26a



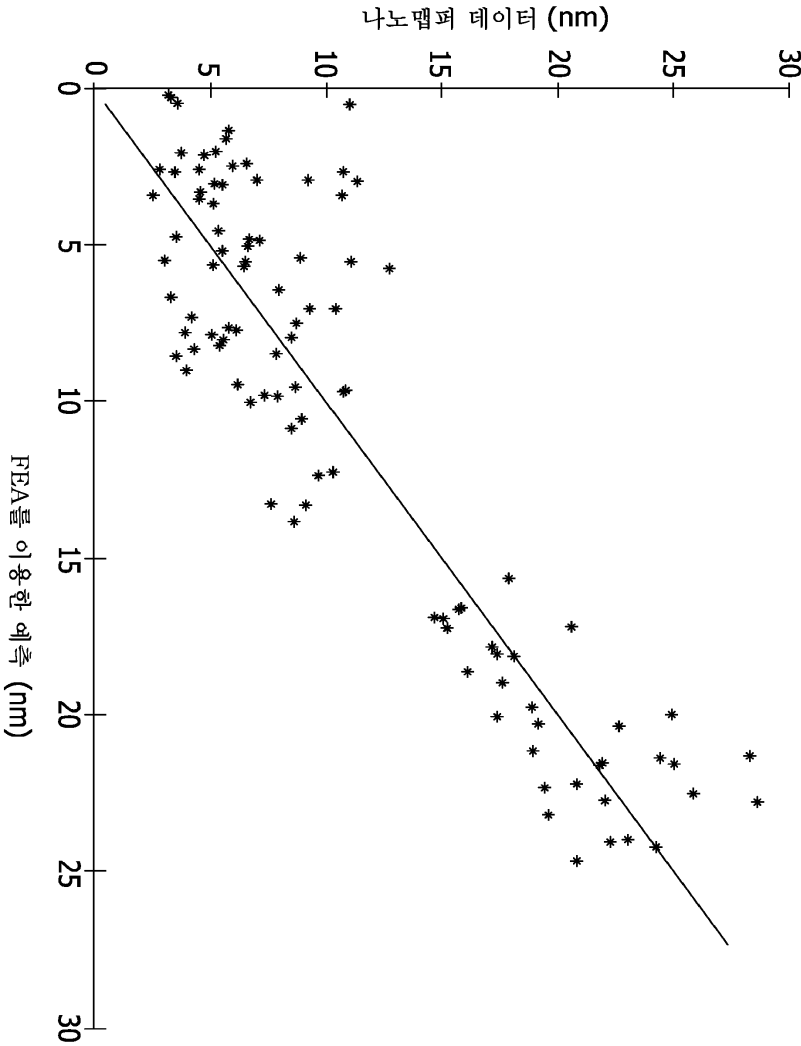
도면26b



도면27

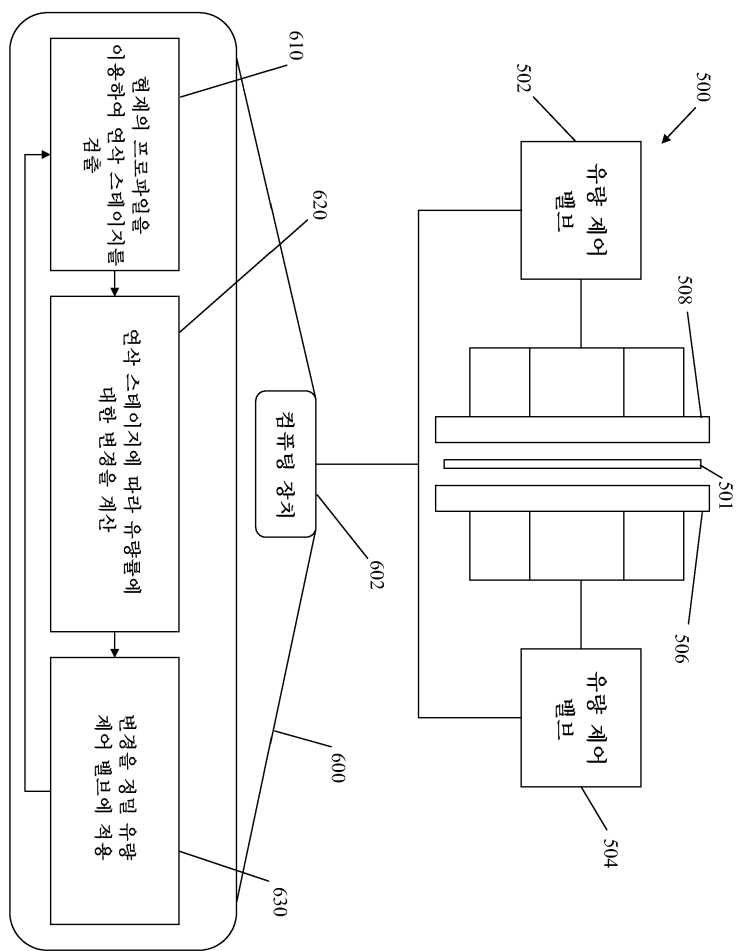


도면28

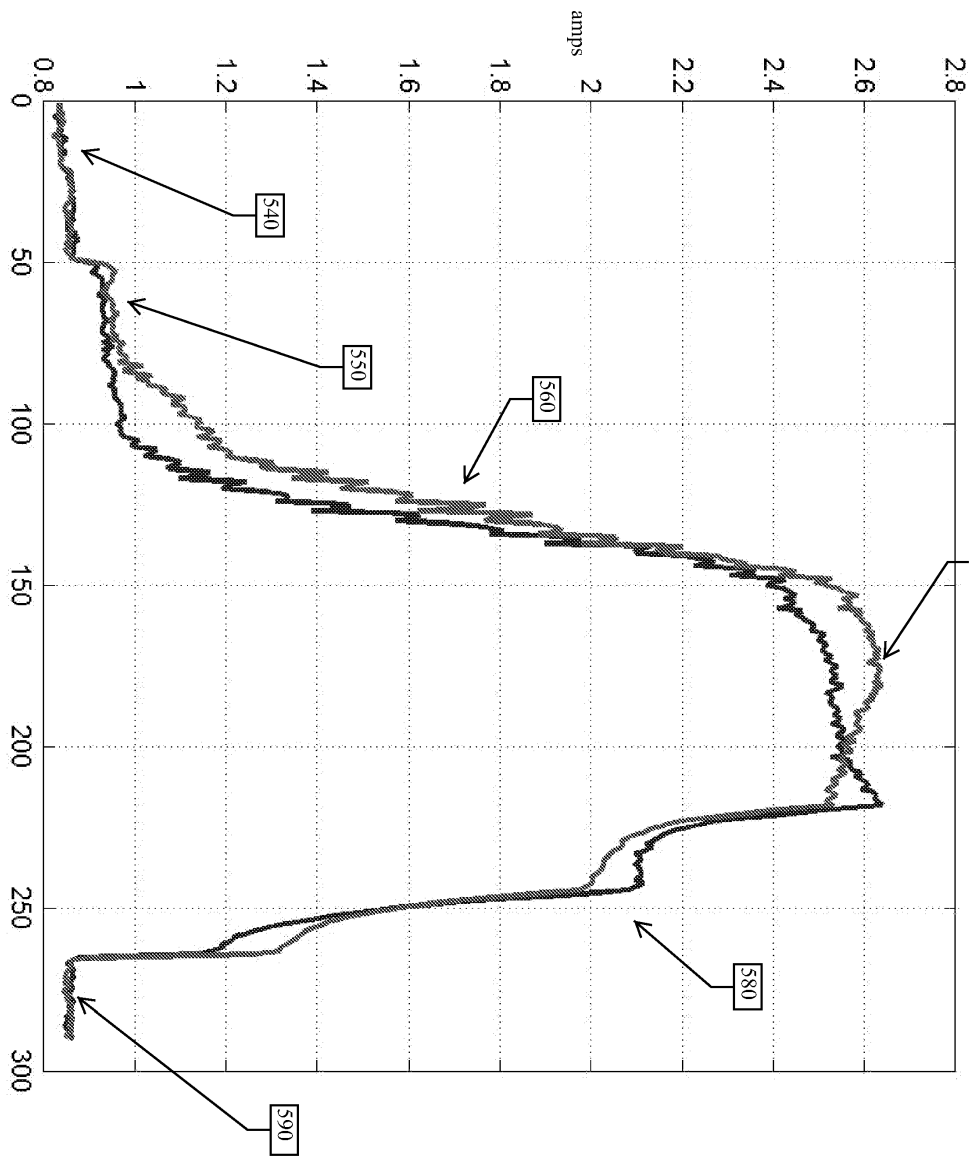




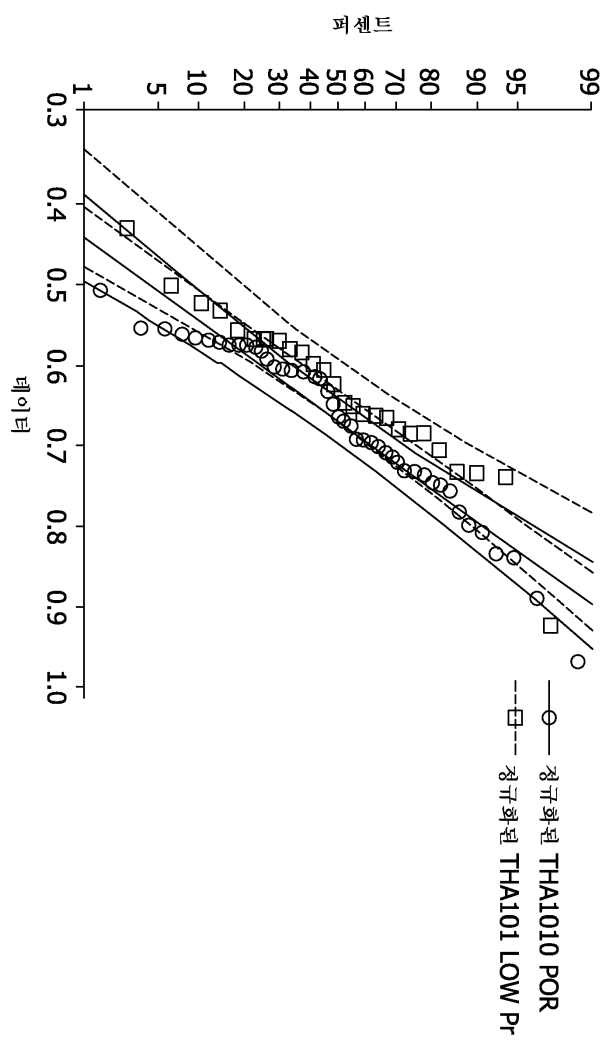
도면29



도면30



도면31



도면32

