



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년08월10일  
(11) 등록번호 10-1767291  
(24) 등록일자 2017년08월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/304 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2013-0078854  
(22) 출원일자 2013년07월05일  
심사청구일자 2016년06월07일  
(65) 공개번호 10-2014-0007753  
(43) 공개일자 2014년01월20일  
(30) 우선권주장  
JP-P-2012-154975 2012년07월10일 일본(JP)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2005203729 A\*  
JP2012009692 A\*  
JP10264017 A\*  
US06830504 B1  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
가부시킴가이샤 에바라 세이사꾸쇼  
일본국 도쿄도 오타쿠 하네다아사히쵸 11-1  
(72) 발명자  
이이즈미 다케시  
일본 도쿄도 오타쿠 하네다아사히쵸 11-1 가부시  
킴가이샤 에바라 세이사꾸쇼 내  
와타나베 가즈히데  
일본 도쿄도 오타쿠 하네다아사히쵸 11-1 가부시  
킴가이샤 에바라 세이사꾸쇼 내  
고바야시 요이치  
일본 도쿄도 오타쿠 하네다아사히쵸 11-1 가부시  
킴가이샤 에바라 세이사꾸쇼 내  
(74) 대리인  
장수길, 성재동

전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 김정진

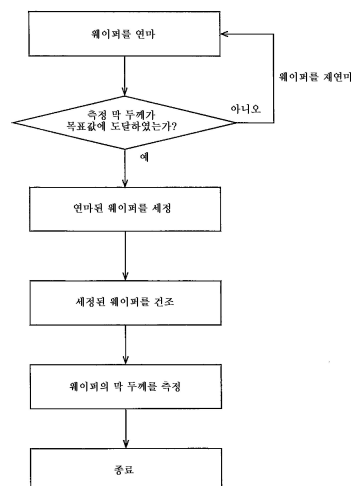
(54) 발명의 명칭 연마 방법

(57) 요약

본 발명의 과제는 재연마에 필요로 하는 시간을 적게 할 수 있고, 또한 조정한 연마 조건을 후속의 웨이퍼의 연마에 즉시 적용할 수 있는 연마 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 연마 방법은 웨이퍼를 연마부에서 연마하는 연마 공정을 행하고, 연마된 웨이퍼를 세정 및 건조하기 전에, 상기 웨이퍼를 웨트형 막 두께 측정기로 반송하고, 웨트형 막 두께 측정기에 의해 막의 현재의 두께를 측정하고, 현재의 두께와 소정의 목표값을 비교하고, 현재의 두께가 소정의 목표값에 도달하고 있지 않으면, 웨이퍼를 세정 및 건조하기 전에 상기 웨이퍼를 연마부에서 재연마하는 재연마 공정을 행한다.

대표도 - 도2



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

막이 형성된 웨이퍼를 연마하는 방법이며,

(i) 연마 패드를 지지하기 위한 회전 가능한 연마 테이블, 웨이퍼를 보유 지지하고 상기 연마 패드에 압박하기 위한 회전 가능한 톱 링, 연마액을 상기 연마 패드의 표면에 공급하는 연마액 공급 기구, 및 상기 연마 테이블 내에 매설되고, 상기 웨이퍼를 연마하고 있는 동안에 상기 웨이퍼의 막 두께에 따라서 변화되는 막 두께 신호를 취득하는 막 두께 센서를 포함하는 연마부와, (ii) 연마된 웨이퍼를 세정 및 건조하는 세정부와, (iii) 연마된 웨이퍼의 막의 두께를 웨이퍼 상의 복수의 측정점에서 측정할 수 있는 광학식 막 두께 측정 헤드를 갖는 막 두께 측정기를 구비한 연마 장치를 준비하고,

상기 톱 링으로 웨이퍼를 보유 지지하고,

상기 연마 패드와 함께 상기 연마 테이블을 회전시키면서, 상기 웨이퍼와 함께 상기 톱 링을 회전시키고,

상기 웨이퍼를 상기 연마 패드에 대해 압박함으로써 상기 웨이퍼의 막을 상기 연마부에서 연마하는 연마 공정을 행하고,

상기 웨이퍼의 연마 중, 상기 연마 테이블과 함께 회전하는 상기 막 두께 센서로, 상기 톱 링과 함께 회전하고 있는 상기 웨이퍼의 막 두께 신호를 취득하고,

상기 막 두께 신호로부터 생성된 막 두께 지표값이 제1 목표값에 도달했을 때에 상기 웨이퍼의 연마를 정지하고,

상기 연마된 웨이퍼를 세정 및 건조하기 전에, 상기 웨이퍼를 상기 막 두께 측정기로 반송하고,

연마된 상기 막의 두께를 상기 막 두께 측정기에 의해 복수의 측정점에서 측정하고,

측정된 상기 막의 두께와 제2 목표값을 비교하고,

상기 막의 두께가 상기 제2 목표값에 도달하고 있지 않으면, 상기 웨이퍼를 상기 세정부에서 세정 및 건조하기 전에 상기 웨이퍼를 상기 연마부에서 재연마하는 재연마 공정을 행하고,

현재의 막 두께 지표값과, 상기 막 두께 측정기로부터 얻어진 현재의 막 두께의 측정값에 기초하여, 상기 막 두께 센서를 교정하고,

후속의 웨이퍼를 연마하고, 그동안, 교정된 상기 막 두께 센서로 상기 후속의 웨이퍼의 막 두께 신호를 취득하고,

상기 막 두께 신호로부터 생성된 막 두께 지표값이 소정의 목표값에 도달했을 때에 상기 후속의 웨이퍼의 연마를 정지하는 공정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 막 두께 측정기에 의해 측정된 상기 막의 두께가 상기 제2 목표값에 도달하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 산출하는 공정을 더 포함하고,

상기 재연마 공정은, 상기 웨이퍼를 상기 연마부에서 상기 추가 연마 시간만 큼 재연마하는 공정인 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 연마 공정은, 상기 막의 두께가 상기 제2 목표값에 도달하기 전에 정지되는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 연마부는 복수의 톱 링과 복수의 연마 테이블을 포함하고,

상기 연마 공정 및 상기 재연마 공정은, 동일한 연마 테이블에 설치된 연마 패드 상에 연마액을 공급하면서, 상기 웨이퍼를 상기 연마 패드에 미끄럼 접촉시키는 공정인 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 연마부는 복수의 톱 링과 복수의 연마 테이블을 포함하고,

상기 재연마 공정은, 상기 연마 공정에서 사용된 연마 테이블과는 다른 연마 테이블에 설치된 연마 패드 상에 연마액을 공급하면서, 상기 웨이퍼를 상기 다른 연마 테이블 상의 상기 연마 패드에 미끄럼 접촉시키는 공정인 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 막 두께 측정기에 의해 측정된 상기 막의 두께가 상기 제2 목표값에 도달하고 있을 때에는, 상기 웨이퍼를 세정하고, 건조시키는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 상기 재연마 공정을 행하고 있을 때 또는 상기 막 두께 측정기에 의해 상기 막의 두께를 측정하고 있을 때 후속의 웨이퍼에 액체를 분사하거나,

상기 재연마 공정을 행하고 있을 때 및 상기 막 두께 측정기에 의해 상기 막의 두께를 측정하고 있을 때에 후속의 웨이퍼에 액체를 분사하는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 상기 막 두께 측정기는, 연마된 상기 웨이퍼가 수조 내의 순수에 침지된 상태에서 상기 막의 두께를 측정하는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

제1항에 있어서, 상기 막 두께 센서는, 와전류식 막 두께 센서 또는 광학식 막 두께 센서인 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 11

제1항에 있어서, 상기 연마된 웨이퍼는 웨트 상태 그대로 상기 막 두께 측정기로 반송되는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 12

제1항에 있어서, 상기 연마된 웨이퍼는 상기 톱 링에 의해 반송기로 반송되고, 또한 상기 반송기에 의해 상기 막 두께 측정기로 반송되는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 13

제1항에 있어서, 상기 광학식 막 두께 측정 헤드는, 웨이퍼와 상기 광학식 막 두께 측정 헤드의 사이에 액체를 개재시킨 상태에서, 웨이퍼의 막의 두께를 측정하는 것을 특징으로 하는, 방법.

#### 청구항 14

제1항에 있어서, 상기 연마부는 복수의 톱 링과 복수의 연마 테이블을 포함하고,

상기 재연마 공정을 위해 상기 복수의 연마 테이블 중 어느 쪽으로 웨이퍼를 반송할지의 판단 기준은, 현재의 막 두께와 상기 제2 목표값의 차가 미리 정한 레인지 내에 있는지 여부인 것을 특징으로 하는, 방법.

## 청구항 15

제1항에 있어서, 상기 막 두께 측정기에 의해 상기 막의 두께를 측정하기 전에, 웨이퍼의 주위 방향의 방향을 검출하는 것을 특징으로 하는, 방법.

## 청구항 16

삭제

## 청구항 17

막이 형성된 웨이퍼를 연마하는 방법이며,

상기 막의 두께에 따라서 변화되는 막 두께 신호를 막 두께 센서로 취득하면서 상기 웨이퍼를 연마하고,

상기 막 두께 신호로부터 생성된 막 두께 지표값이 소정의 값에 도달했을 때에 상기 웨이퍼의 연마를 정지하고,

연마된 상기 웨이퍼를 막 두께 측정기로 반송하고,

상기 막 두께 측정기에 의해 상기 막의 현재의 두께를 측정하고,

현재의 막 두께 지표값과, 상기 막 두께 측정기로부터 얻어진 현재의 막 두께의 측정값에 기초하여, 상기 막 두께 센서를 교정하고,

후속의 웨이퍼를 연마하고, 그동안, 상기 교정된 막 두께 센서로 상기 후속의 웨이퍼의 막 두께 신호를 취득하고,

상기 막 두께 신호로부터 생성된 막 두께 지표값이 소정의 목표값에 도달했을 때에 상기 후속의 웨이퍼 연마를 정지하는 것을 특징으로 하는, 방법.

## 청구항 18

삭제

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 웨이퍼의 연마 방법에 관한 것으로, 특히 웨이퍼를 연마한 후에 웨이퍼의 막 두께를 측정하여, 막 두께가 목표값에 도달하고 있지 않으면 웨이퍼를 재연마하는 연마 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 반도체 디바이스는 장래에 점점 미세화가 진행될 것으로 예상된다. 그와 같은 미세 구조를 실현하기 위해, CMP 장치로 대표되는 연마 장치에는 보다 정밀한 프로세스 컨트롤 및 보다 고도의 연마 성능이 요구되고 있다. 구체적으로는, 보다 정확한 잔여막 컨트롤(즉, 연마 종점 검출 정밀도) 및 보다 개선된 연마 결과(적은 디펙트나 평탄한 피연마면)가 요구된다. 이에 추가하여, 보다 높은 생산성(처리량)도 요구된다.

[0003] 현재의 연마 장치에서는 연마 정밀도를 향상시키기 위해 「리워크」라고 불리는 재연마가 행해지고 있다. 이 재연마는 연마 장치에서 연마된 웨이퍼를 외부의 막 두께 측정 장치로 반입하여, 연마된 웨이퍼의 막 두께를 막 두께 측정 장치로 측정하고, 측정된 막 두께와 목표 막 두께의 차분을 없애기 위해, 다시 웨이퍼를 연마하는 공정이다.

[0004] 종래의 웨이퍼의 연마 방법의 흐름에 대해 도 1을 참조하여 설명한다. 연마 장치는, 일반적으로, 연마부와 세정부로 구분되어 있다. 웨이퍼는, 우선, 연마부로 반송된다. 연마부에서는 연마 테이블 상의 연마 패드에 연마액(슬러리)을 공급하면서, 웨이퍼와 연마 패드를 미끄럼 접촉시킴으로써 웨이퍼가 연마된다(스텝 1). 연마된 웨이퍼는, 다음에 세정부로 반송되어, 여기서 웨이퍼가 세정되고(스텝 2), 또한 세정된 웨이퍼가 건조된다(스텝 3).

[0005] 이와 같이 하여 처리된 웨이퍼는, 다음에, 연마 장치의 외부에 설치된 막 두께 측정 장치로 반송되고(스텝 4), 여기서, 연마된 웨이퍼의 막 두께가 측정된다(스텝 5). 웨이퍼의 막 두께가 소정의 목표 막 두께와 비교되어

(스텝 6), 웨이퍼의 막 두께가 목표 막 두께에 도달하고 있지 않은 경우에는, 웨이퍼는 다시 연마 장치로 반입되어, 다시 연마되고, 세정되고, 그리고, 건조된다. 그러나, 이와 같은 리워크라고 불리는 재연마는 정확한 막 두께를 실현하기 위해서는 유효하지만, 웨이퍼의 최초의 연마로부터 재연마까지 어느 정도의 시간이 걸려, 생산성(처리량)을 저하시켜 버린다.

[0006] 상술한 연마 방법에 따르면, 외부의 막 두께 측정 장치에서의 막 두께 측정 결과에 기초하여, 후속의 웨이퍼의 연마 조건(연마 시간, 연마 압력 등)을 조정하는 것이 가능하다. 그러나, 조정된 연마 조건이 웨이퍼의 연마에 적용될 때까지 이미 수매의 웨이퍼의 연마가 종료되어 있으므로, 그들 웨이퍼의 연마에는 조정된 연마 조건이 반영되지 않는다. 조정된 연마 조건을 후속의 웨이퍼의 연마에 적용하기 위해서는, 선행의 웨이퍼의 막 두께 측정이 종료되고, 연마 조건의 조정이 완료될 때까지, 후속의 웨이퍼의 연마를 기다리게 할 필요가 있다. 그러나, 이와 같은 조작은 생산성(처리량)을 저하시켜 버린다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 일본 특허 출원 공개 제2004-12302호 공보  
(특허문헌 0002) 일본 특허 출원 공개 평8-99264호 공보  
(특허문헌 0003) 일본 특허 출원 공개 평9-109023호 공보

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 종래의 문제점을 감안하여 이루어진 것으로, 재연마에 필요로 하는 시간을 적게 하거나, 또는 재연마를 없앨 수 있고, 또한 조정한 연마 조건을 후속의 웨이퍼의 연마에 즉시 적용할 수 있는 연마 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 상술한 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 제1 형태는 막이 형성된 웨이퍼를 연마하는 방법이며, 상기 웨이퍼를 연마부에서 연마하는 연마 공정을 행하고, 상기 연마된 웨이퍼를 세정 및 건조하기 전에, 상기 웨이퍼를 웨트형 막 두께 측정기로 반송하고, 상기 웨트형 막 두께 측정기에 의해 상기 막의 현재의 두께를 측정하고, 상기 현재의 두께와 소정의 목표값을 비교하고, 상기 현재의 두께가 상기 소정의 목표값에 도달하고 있지 않으면, 상기 웨이퍼를 세정 및 건조하기 전에 상기 웨이퍼를 상기 연마부에서 재연마하는 재연마 공정을 행하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 본 발명의 바람직한 형태는, 상기 현재의 두께가 상기 소정의 목표값에 도달하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 산출하는 공정을 더 포함하고, 상기 재연마 공정은 상기 웨이퍼를 상기 연마부에서 상기 추가 연마 시간만큼 재연마하는 공정인 것을 특징으로 한다.

[0011] 본 발명의 바람직한 형태는, 상기 연마 공정은 상기 막의 두께가 상기 소정의 목표값에 도달하기 전에 정지되는 것을 특징으로 한다.

[0012] 본 발명의 바람직한 형태는, 상기 연마 공정 및 상기 재연마 공정은 동일한 연마 테이블에 설치된 연마 패드 상에 연마액을 공급하면서, 상기 웨이퍼를 상기 연마 패드에 미끄럼 접촉시키는 공정인 것을 특징으로 한다.

[0013] 본 발명의 바람직한 형태는, 상기 연마 공정은 연마 테이블에 설치된 연마 패드 상에 연마액을 공급하면서, 상기 웨이퍼를 상기 연마 패드에 미끄럼 접촉시키는 공정이고, 상기 재연마 공정은 다른 연마 테이블에 설치된 연마 패드 상에 연마액을 공급하면서, 상기 웨이퍼를 상기 다른 연마 테이블 상의 상기 연마 패드에 미끄럼 접촉시키는 공정인 것을 특징으로 한다.

[0014] 본 발명의 바람직한 형태는, 상기 현재의 두께가 상기 소정의 목표값에 도달하고 있을 때에는 상기 웨이퍼를 세정하고, 건조시키는 것을 특징으로 한다.

- [0015] 본 발명의 바람직한 형태는, 상기 재연마 공정을 행하고 있을 때 및/또는 상기 웨트형 막 두께 측정기에 의해 상기 막의 현재의 두께를 측정하고 있을 때에, 후속의 웨이퍼에 액체를 분사하는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 본 발명의 바람직한 형태는, 상기 재연마 공정의 발생에 기인하는 후속의 웨이퍼의 연마 개시 시간의 지연을 계산하여, 상기 후속의 웨이퍼의 연마를 개시하는 타이밍을 조정하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 본 발명의 제2 형태는 막이 형성된 웨이퍼를 연마하는 방법이며, 상기 막의 두께를 막 두께 센서로 측정하면서 상기 웨이퍼를 연마하고, 상기 막 두께 센서로부터 얻어진 현재의 막 두께의 측정값이 소정의 값에 도달했을 때에 상기 웨이퍼의 연마를 정지하고, 연마된 상기 웨이퍼를 웨트형 막 두께 측정기로 반송하고, 상기 웨트형 막 두께 측정기에 의해 상기 막의 현재의 두께를 측정하고, 상기 막 두께 센서로부터 얻어진 현재의 막 두께의 측정값과, 상기 웨트형 막 두께 측정기로부터 얻어진 현재의 막 두께의 측정값에 기초하여, 상기 막 두께 센서를 교정하고, 후속의 웨이퍼를 연마하여, 그동안, 상기 교정된 막 두께 센서로 상기 후속의 웨이퍼의 막의 두께를 측정하고, 상기 막 두께 센서로부터 얻어진 상기 막의 두께가 소정의 목표값에 도달했을 때에 상기 후속의 웨이퍼의 연마를 정지하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 본 발명의 제3 형태는 막이 형성된 웨이퍼를 연마하는 방법이며, 상기 웨이퍼를 연마부에서 연마하는 연마 공정을 행하고, 상기 연마 공정 후, 상기 웨이퍼의 표면이 젖은 상태에서, 상기 웨이퍼를 웨트형 막 두께 측정기로 반송하고, 상기 웨트형 막 두께 측정기에 의해 상기 막의 현재의 두께를 측정하고, 상기 현재의 두께와 소정의 목표값을 비교하고, 상기 현재의 두께가 상기 소정의 목표값에 도달하고 있지 않으면, 상기 웨이퍼를 세정 및 건조하기 전에 상기 웨이퍼를 상기 연마부에서 재연마하는 재연마 공정을 행하는 것을 특징으로 한다.

### 발명의 효과

- [0019] 도 2는 상술한 본 발명의 제1 및 제3 형태에 관한 연마 방법을 도시하는 흐름도이다. 도 2에 도시한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 연마된 웨이퍼를 세정, 건조하기 전에, 웨트 상태의 웨이퍼의 막 두께가 측정된다. 측정된 막 두께가 소정의 목표에 도달하고 있지 않은 경우에는, 웨이퍼는 연마부로 복귀되어, 재연마된다. 이와 같이, 웨이퍼가 세정 및 건조되기 전에, 그 웨이퍼를 재연마할 수 있으므로, 재연마에 필요로 하는 시간을 단축할 수 있다. 그 결과, 처리량을 향상시킬 수 있다. 또한, 막 두께의 측정 결과에 기초하여 조정된 연마 조건(연마 시간, 연마 압력 등)을 후속의 웨이퍼의 연마에 적용할 수 있다. 따라서, 처리량을 향상시킬 수 있다.
- [0020] 본 발명의 제2 형태에 따르면, 측정 정밀도가 높은 웨트형 막 두께 측정기의 막 두께 측정값을 사용하여 막 두께 센서가 교정된다. 따라서, 후속의 웨이퍼의 연마 중의 In-situ막 두께 측정의 정밀도가 향상되어, 결과적으로, 웨이퍼의 재연마를 없앨 수 있다. 또한, 막 두께의 측정 결과에 기초하여 조정된 연마 조건(연마 시간, 연마 압력 등)을 후속의 웨이퍼의 연마에 적용할 수 있다. 따라서, 처리량을 향상시킬 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 종래의 웨이퍼의 연마 방법을 설명하는 흐름도.
- 도 2는 본 발명에 관한 연마 방법을 도시하는 흐름도.
- 도 3은 본 발명의 실시 형태에 관한 연마 방법을 실행할 수 있는 연마 장치를 도시하는 도면.
- 도 4는 제1 연마 유닛을 모식적으로 도시하는 사시도.
- 도 5는 도 4에 도시하는 톱 링을 도시하는 단면도.
- 도 6의 (a) 및 도 6의 (b)는 웨트형 막 두께 측정기를 도시하는 모식도.
- 도 7은 웨이퍼의 단면 구조의 일례를 도시하는 도면.
- 도 8의 (a) 및 도 8의 (b)는 도 7에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면.
- 도 9는 도 8의 (a) 및 도 8의 (b)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도.
- 도 10의 (a) 내지 도 10의 (d)는 도 7에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 다른 예를 도시하는 도면.
- 도 11은 도 10의 (a) 내지 도 10의 (d)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도.
- 도 12의 (a) 내지 도 12의 (d)는 도 7에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 또 다른 예를 도시하는 도면.

도 13은 도 12의 (a) 내지 도 12의 (d)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 14는 텅스텐막, 배리어막 및 절연막으로 이루어지는 적층 구조의 단면도.

도 15의 (a) 및 도 15의 (b)는 도 14에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면.

도 16은 도 15의 (a) 및 도 15의 (b)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 17은 층간 절연막(IDL)이 형성된 웨이퍼의 단면도.

도 18의 (a) 및 도 18의 (b)는 도 17에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면.

도 19는 도 18의 (a) 및 도 18의 (b)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 20은 STI(얇은 트렌치 소자 격리) 프로세스를 도시하는 웨이퍼의 단면도.

도 21의 (a) 및 도 21의 (b)는 도 20에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면.

도 22는 도 21의 (a) 및 도 21의 (b)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 23은 High-k 메탈 게이트를 형성하는 과정에 있어서 CMP가 적용되는 적층 구조가 형성된 웨이퍼의 단면도.

도 24의 (a) 내지 도 24의 (d)는 도 23에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면.

도 25는 도 24의 (a) 내지 도 24의 (d)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 26은 도 24의 (a) 내지 도 24의 (d)에 도시하는 웨이퍼의 다른 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도.

도 27은 와전류식 막 두께 센서 및 광학식 막 두께 센서를 구비한 제1 연마 유닛을 도시하는 모식 단면도.

도 28은 광학식 막 두께 센서의 원리를 설명하기 위한 모식도.

도 29는 웨이퍼와 연마 테이블의 위치 관계를 나타내는 평면도.

도 30은 동작 제어부에 의해 생성된 스펙트럼을 도시하는 도면.

도 31은 동작 제어부에 의해 생성된 현재의 스펙트럼과 복수의 기준 스펙트럼의 비교로부터 현재의 막 두께를 결정하는 프로세스를 설명하는 도면.

도 32는 막 두께차  $\Delta \alpha$ 에 대응하는 2개의 스펙트럼을 도시하는 모식도.

도 33은 와전류식 막 두께 센서의 원리를 설명하기 위한 회로를 도시하는 도면.

도 34는 막 두께와 함께 변화되는 X, Y를, XY 좌표계 상에 플롯함으로써 그려지는 그래프를 나타내는 도면.

도 35는 도 34의 그래프 도형을 반시계 방향으로 90도 회전시키고, 또한 평행 이동시킨 그래프를 나타내는 도면.

도 36은 코일과 웨이퍼의 거리에 따라서 변화되는 XY 좌표의 원호 궤적을 도시하는 도면.

도 37은 연마 시간에 따라서 변화되는 각도  $\theta$ 를 나타내는 그래프.

도 38은 웨트형 막 두께 측정기의 광학식 막 두께 측정 헤드의 상세를 도시하는 모식도.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022]

이하, 본 발명의 실시 형태에 대해, 도면을 참조하여 설명한다.

[0023]

도 3은 본 발명의 실시 형태에 관한 연마 방법을 실행할 수 있는 연마 장치를 도시하는 도면이다. 도 3에 도시한 바와 같이, 이 연마 장치는 대략 직사각형상의 하우징(1)을 구비하고 있고, 하우징(1)의 내부는 격벽(1a, 1b)에 의해 로드/언로드부(2)와 연마부(3)와 세정부(4)로 구획되어 있다. 연마 장치는 웨이퍼 처리 동작을 제어하는 동작 제어부(5)를 갖고 있다.

[0024]

로드/언로드부(2)는 다수의 웨이퍼(기판)를 저장하는 웨이퍼 카세트가 적재되는 프론트 로드부(20)를 구비하고 있다. 이 로드/언로드부(2)에는 프론트 로드부(20)를 따라서 주행 기구(21)가 부설되어 있고, 이 주행 기구(21) 상에 웨이퍼 카세트의 배열 방향을 따라서 이동 가능한 2대의 반송 로봇(로더)(22)이 설치되어 있다. 반송 로봇(22)은 주행 기구(21) 위를 이동함으로써 프론트 로드부(20)에 탑재된 웨이퍼 카세트에 액세스할 수 있



도록 되어 있다.

- [0025] 연마부(3)는 웨이퍼의 연마가 행해지는 영역으로, 제1 연마 유닛(3A), 제2 연마 유닛(3B), 제3 연마 유닛(3C), 제4 연마 유닛(3D)을 구비하고 있다. 도 3에 도시한 바와 같이, 제1 연마 유닛(3A)은 연마면을 갖는 연마 패드(10)가 설치된 제1 연마 테이블(30A)과, 웨이퍼를 보유 지지하고 또한 웨이퍼를 연마 테이블(30A) 상의 연마 패드(10)에 압박하면서 연마하기 위한 제1 톱 링(31A)과, 연마 패드(10)에 연마액(예를 들어, 슬러리)이나 드레싱 액(예를 들어, 순수)을 공급하기 위한 제1 연마액 공급 기구(32A)와, 연마 패드(10)의 연마면의 드레싱을 행하기 위한 제1 드레서(33A)와, 액체(예를 들어, 순수)와 기체(예를 들어, 질소 가스)의 혼합 유체 또는 액체(예를 들어, 순수)를 안개 형상으로 하여 연마면에 분사하는 제1 아토마이저(34A)를 구비하고 있다.
- [0026] 마찬가지로, 제2 연마 유닛(3B)은 연마 패드(10)가 설치된 제2 연마 테이블(30B)과, 제2 톱 링(31B)과, 제2 연마액 공급 기구(32B)와, 제2 드레서(33B)와, 제2 아토마이저(34B)를 구비하고 있고, 제3 연마 유닛(3C)은 연마 패드(10)가 설치된 제3 연마 테이블(30C)과, 제3 톱 링(31C)과, 제3 연마액 공급 기구(32C)와, 제3 드레서(33C)와, 제3 아토마이저(34C)를 구비하고 있고, 제4 연마 유닛(3D)은 연마 패드(10)가 설치된 제4 연마 테이블(30D)과, 제4 톱 링(31D)과, 제4 연마액 공급 기구(32D)와, 제4 드레서(33D)와, 제4 아토마이저(34D)를 구비하고 있다.
- [0027] 제1 연마 유닛(3A), 제2 연마 유닛(3B), 제3 연마 유닛(3C) 및 제4 연마 유닛(3D)은 서로 동일한 구성을 갖고 있으므로, 이하, 제1 연마 유닛(31A)에 대해 도 4를 참조하여 설명한다. 도 4는 제1 연마 유닛을 모식적으로 도시하는 사시도이다. 또한, 도 4에 있어서, 드레서(33A) 및 아토마이저(34A)는 생략되어 있다.
- [0028] 연마 테이블(30A)은 테이블축(30a)을 개재하여 그 하방에 배치되는 테이블 모터(19)에 연결되어 있고, 이 테이블 모터(19)에 의해 연마 테이블(30A)이 화살표로 나타내는 방향으로 회전되도록 되어 있다. 이 연마 테이블(30A)의 상면에는 연마 패드(10)가 부착되어 있고, 연마 패드(10)의 상면이 웨이퍼(W)를 연마하는 연마면(10a)을 구성하고 있다. 톱 링(31A)은 톱 링 샤프트(16)의 하단부에 연결되어 있다. 톱 링(31A)은 진공 흡착에 의해 그 하면에 웨이퍼(W)를 보유 지지할 수 있도록 구성되어 있다. 톱 링 샤프트(16)는 도시하지 않은 상하 이동 기구에 의해 상하 이동하도록 되어 있다.
- [0029] 연마 테이블(30A)의 내부에는 웨이퍼(W)의 막 두께에 따라서 변화되는 막 두께 신호를 취득하는 광학식 막 두께 센서(40) 및 와전류식 막 두께 센서(60)가 배치되어 있다. 이들 막 두께 센서(40, 60)는 기호 A로 나타낸 바와 같이 연마 테이블(30A)과 일체로 회전하여, 톱 링(31A)에 보유 지지된 웨이퍼(W)의 막 두께 신호를 취득한다. 광학식 막 두께 센서(40) 및 와전류식 막 두께 센서(60)는 도 3에 도시하는 동작 제어부(5)에 접속되어 있고, 이들 막 두께 센서(40, 60)에 의해 취득된 막 두께 신호는 동작 제어부(5)로 보내지도록 되어 있다. 동작 제어부(5)는 막 두께를 직접 또는 간접으로 나타내는 막 두께 지표값을 막 두께 신호로부터 생성한다.
- [0030] 또한, 연마 테이블(30A)을 회전시키는 테이블 모터(19)의 입력 전류(즉, 토크 전류)를 계측하는 토크 전류 계측기(70)가 설치되어 있다. 토크 전류 계측기(70)에 의해 계측된 토크 전류값은 동작 제어부(5)로 보내져, 웨이퍼(W)의 연마 중에는 동작 제어부(5)에 의해 토크 전류값이 감시된다.
- [0031] 웨이퍼(W)의 연마는 다음과 같이 하여 행해진다. 톱 링(31A) 및 연마 테이블(30A)을 각각 화살표로 나타내는 방향으로 회전시켜, 연마액 공급 기구(32A)로부터 연마 패드(10) 상에 연마액(슬러리)을 공급한다. 이 상태에서, 하면에 웨이퍼(W)를 보유 지지한 톱 링(31A)은 톱 링 샤프트(16)에 의해 하강되어 웨이퍼(W)를 연마 패드(10)의 연마면(10a)에 압박한다. 웨이퍼(W)의 표면은 연마액에 포함되는 지립의 기계적 작용과 연마액의 화학적 작용에 의해 연마된다. 연마 종료 후에는 드레서(33A)에 의한 연마면(10a)의 드레싱(컨디셔닝)이 행해지고, 또한 아토마이저(34A)로부터 고압의 유체가 연마면(10a)에 공급되어, 연마면(10a)에 잔류하는 연마 칩이나 지립 등이 제거된다.
- [0032] 톱 링(31A)은 웨이퍼의 복수의 영역을 독립하여 연마 패드에 압박할 수 있도록 구성되어 있다. 도 5는 도 4에 도시하는 톱 링(31A)을 도시하는 단면도이다. 톱 링(31A)은 톱 링 샤프트(16)에 자유 조인트(56)를 통해 연결되는 톱 링 본체(57)와, 톱 링 본체(57)의 하부에 배치된 리테이너 링(58)을 구비하고 있다.
- [0033] 톱 링 본체(57)의 하방에는 웨이퍼(W)에 접촉하는 유연한 멤브레인(62)과, 멤브레인(62)을 보유 지지하는 체크 플레이트(63)가 배치되어 있다. 멤브레인(62)과 체크 플레이트(63) 사이에는 4개의 압력실(에어백)(P1, P2, P3, P4)이 설치되어 있다. 압력실(P1, P2, P3, P4)은 멤브레인(62)과 체크 플레이트(63)에 의해 형성되어 있다. 중앙의 압력실(P1)은 원형이고, 다른 압력실(P2, P3, P4)은 환형상이다. 이들 압력실(P1, P2, P3, P4)은 동심 상에 배열되어 있다.



- [0034] 압력실(P1, P2, P3, P4)에는 각각 유체로(F1, F2, F3, F4)를 통해 압력 조정부(64)에 의해 가압 공기 등의 가압 유체가 공급되거나, 혹은 진공화가 되도록 되어 있다. 압력실(P1, P2, P3, P4)의 내부 압력은 서로 독립되어 변화시키는 것이 가능하고, 이에 의해, 웨이퍼(W)의 4개의 영역, 즉 중앙부, 내측 중간부, 외측 중간부 및 주변부에 대한 압박력을 독립으로 조정할 수 있다. 또한, 톱 링(31A)의 전체를 승강시킴으로써, 리테이너 링(58)을 소정의 압박력으로 연마 패드(10)에 압박할 수 있도록 되어 있다.
- [0035] 체크 플레이트(63)와 톱 링 본체(57) 사이에는 압력실(P5)이 형성되고, 이 압력실(P5)에는 유체로(F5)를 통해 상기 압력 조정부(64)에 의해 가압 유체가 공급되거나, 혹은 진공화가 되도록 되어 있다. 이에 의해, 체크 플레이트(63) 및 멤브레인(62) 전체가 상하 방향으로 움직일 수 있다. 웨이퍼(W)의 둘레 단부는 리테이너 링(58)에 둘러싸여 있고, 연마 중에 웨이퍼(W)가 톱 링(31A)으로부터 튀어나오지 않도록 되어 있다. 압력실(P3)을 구성하는, 멤브레인(62)의 부위에는 개구가 형성되어 있고, 압력실(P3)에 진공을 형성함으로써 웨이퍼(W)가 톱 링(31A)에 흡착 유지되도록 되어 있다. 또한, 이 압력실(P3)에 질소 가스나 클린 에어 등을 공급함으로써, 웨이퍼(W)가 톱 링(31A)으로부터 릴리스되도록 되어 있다.
- [0036] 동작 제어부(5)는 각 압력실(P1, P2, P3, P4)에 대응하는 웨이퍼 표면의 영역에서의 막 두께 지표값에 기초하여, 각 압력실(P1, P2, P3, P4)의 내부 압력의 목표값을 결정한다. 동작 제어부(5)는 상기 압력 조정부(64)로 지령 신호를 보내어, 압력실(P1, P2, P3, P4)의 내부 압력이 상기 목표값에 일치하도록 압력 조정부(64)를 제어한다. 이와 같이, 복수의 압력실을 갖는 톱 링(31A)은 연마의 진척에 따라서 웨이퍼의 표면 상의 각 영역을 독립하여 연마 패드(10)에 압박할 수 있으므로, 막을 균일하게 연마할 수 있다.
- [0037] 도 3으로 돌아가, 제1 연마 유닛(3A) 및 제2 연마 유닛(3B)에 인접하여, 제1 리니어 트랜스포터(6)가 배치되어 있다. 이 제1 리니어 트랜스포터(6)는 4개의 반송 위치(제1 반송 위치 TP1, 제2 반송 위치 TP2, 제3 반송 위치 TP3, 제4 반송 위치 TP4) 사이에서 웨이퍼를 반송하는 기구이다. 또한, 제3 연마 유닛(3C) 및 제4 연마 유닛(3D)에 인접하여, 제2 리니어 트랜스포터(7)가 배치되어 있다. 이 제2 리니어 트랜스포터(7)는 3개의 반송 위치(제5 반송 위치 TP5, 제6 반송 위치 TP6, 제7 반송 위치 TP7) 사이에서 웨이퍼를 반송하는 기구이다.
- [0038] 웨이퍼는 제1 리니어 트랜스포터(6)에 의해 연마 유닛(3A, 3B)으로 반송된다. 제1 연마 유닛(3A)의 톱 링(31A)은 그 스윙 동작에 의해 연마 테이블(30A)의 상방 위치와 제2 반송 위치 TP2 사이를 이동한다. 따라서, 톱 링(31A)으로의 웨이퍼의 전달은 제2 반송 위치 TP2에서 행해진다. 마찬가지로, 제2 연마 유닛(3B)의 톱 링(31B)은 연마 테이블(30B)의 상방 위치와 제3 반송 위치 TP3 사이를 이동하고, 톱 링(31B)으로의 웨이퍼의 전달은 제3 반송 위치 TP3에서 행해진다. 제3 연마 유닛(3C)의 톱 링(31C)은 연마 테이블(30C)의 상방 위치와 제6 반송 위치 TP6 사이를 이동하고, 톱 링(31C)으로의 웨이퍼의 전달은 제6 반송 위치 TP6에서 행해진다. 제4 연마 유닛(3D)의 톱 링(31D)은 연마 테이블(30D)의 상방 위치와 제7 반송 위치 TP7 사이를 이동하고, 톱 링(31D)으로의 웨이퍼의 전달은 제7 반송 위치 TP7에서 행해진다.
- [0039] 제1 반송 위치 TP1에 인접하여, 반송 로봇(22)으로부터 웨이퍼를 수취하기 위한 리프터(11)가 배치되어 있다. 웨이퍼는 이 리프터(11)를 통해 반송 로봇(22)으로부터 제1 리니어 트랜스포터(6)로 전달된다. 리프터(11)와 반송 로봇(22) 사이에 위치하고, 셔터(도시하지 않음)가 격벽(1a)에 설치되어 있고, 웨이퍼의 반송 시에는 셔터가 개방되어 반송 로봇(22)으로부터 리프터(11)로 웨이퍼가 전달되도록 되어 있다.
- [0040] 제1 리니어 트랜스포터(6)와, 제2 리니어 트랜스포터(7)와, 세정부(4) 사이에는 스윙 트랜스포터(12)가 배치되어 있다. 제1 리니어 트랜스포터(6)로부터 제2 리니어 트랜스포터(7)로의 웨이퍼의 전달은 스윙 트랜스포터(12)에 의해 행해진다. 웨이퍼는 제2 리니어 트랜스포터(7)에 의해 제3 연마 유닛(3C) 및/또는 제4 연마 유닛(3D)으로 반송된다.
- [0041] 연마부(3)와 세정부(4) 사이에는 웨트형 막 두께 측정기(80)가 배치되어 있다. 보다 구체적으로는, 웨트형 막 두께 측정기(80)는 연마부(3)의 제4 연마 유닛(3D)에 인접하여 배치되어 있다. 제2 리니어 트랜스포터(7)와 웨트형 막 두께 측정기(80) 사이에는 반송 로봇(79)이 배치되어 있다. 연마부(3)에서 연마된 웨이퍼는 반송 로봇(79)에 의해 제2 리니어 트랜스포터(7)로부터 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다. 따라서, 웨이퍼는 제2 리니어 트랜스포터(7)와 반송 로봇(79)으로 구성되는 반송기에 의해 연마부(3)와 웨트형 막 두께 측정기(80) 사이로 반송된다. 반송 로봇(79)을 생략하고, 제2 리니어 트랜스포터(7)가 웨이퍼를 웨트형 막 두께 측정기(80)로 직접 반송해도 된다. 이 경우에는, 웨이퍼는 제2 리니어 트랜스포터(7)로 구성되는 반송기에 의해 연마부(3)와 웨트형 막 두께 측정기(80) 사이로 반송된다.
- [0042] 웨트형 막 두께 측정기(80)는 건조 처리 전의 웨트 상태의 웨이퍼의 막 두께를 측정할 수 있는 웨트형 광학 막

두께 측정기이다. 이 웨트형 막 두께 측정기(80)는 측정 대상이 되는 웨이퍼와 광학식 막 두께 측정 헤드 사이에 액체(통상은 순수)를 개재시킨 상태에서, 웨이퍼에 형성된 광투과막의 막 두께를 측정하도록 구성되어 있다. 측정되는 웨이퍼와 막 두께 측정 헤드 사이에는 물성이 기지인 액체가 미리 정해진 두께로 존재하고 있다. 이하, 웨트형 막 두께 측정기(80)에 대해 도 6을 참조하여 설명한다. 도 6의 (a) 및 도 6의 (b)는 웨트형 막 두께 측정기(80)를 도시하는 모식도이다. 웨트형 막 두께 측정기(80)는 순수가 저류된 수조(81)와, 웨이퍼(W)를 진공 흡인에 의해 파지하는 파지부(82)와, 웨이퍼(W)의 막 두께를 측정하는 광학식 막 두께 측정 헤드(84)를 갖고 있다.

[0043] 웨이퍼(W)는 상술한 반송 로봇(79)에 의해 서포트 아암(83) 위에 놓인다. 서포트 아암(83) 상의 웨이퍼(W)는 파지부(82)에 의해 파지되고, 그 후 서포트 아암(83)은 웨이퍼(W)로부터 이격되는 방향으로 이동한다. 파지부(82)는 웨이퍼(W)를 그 중심 주위로 회전시킬 수 있도록 구성되고, 또한 웨이퍼(W)를 상하 방향으로 이동시키는 것이 가능하게 구성되어 있다. 수조(81)의 상방에는 웨이퍼(W)의 둘레 방향의 방향을 검출하는 오리엔테이션 검출기(85)가 설치되어 있다. 이 오리엔테이션 검출기(85)는 웨이퍼(W)의 주연부에 형성되어 있는 노치 또는 오리엔테이션 플랫이라고 불리는 절결부를 검출함으로써, 웨이퍼(W)의 방향을 검출한다. 파지부(82)에 의해 웨이퍼(W)를 회전시키면서, 오리엔테이션 검출기(85)에 의해 웨이퍼(W)의 방향을 검출하고, 웨이퍼(W)가 소정의 방향을 향할 때까지 파지부(82)에 의해 웨이퍼(W)를 회전시킨다.

[0044] 웨이퍼(W)가 소정의 방향을 향한 상태에서, 파지부(82)가 하강하여 웨이퍼(W)가 수조(81) 내의 물에 침지된다. 수조(81) 내에는 웨이퍼(W)가 놓이는 복수의 측정대(87)가 배치되어 있고, 도 6의 (b)에 도시한 바와 같이, 웨이퍼(W)는 이 측정대(87) 상에 놓인다. 웨이퍼(W)의 주연부가 측정대(87) 상에 놓이면, 웨이퍼(W)는 수평 상태로 된다. 수조(81)의 저부는 투명창(90)으로 구성되어 있고, 광학식 막 두께 측정 헤드(84)는 투명창(90)의 하방에 배치되어 있다. 광학식 막 두께 측정 헤드(84)는 투명창(90)을 통해 수 중의 웨이퍼(W)에 광을 닿게 하여, 웨이퍼(W)로부터의 반사광을 수광하고, 반사광에 포함되는 광학 정보로부터 웨이퍼(W)의 막 두께를 결정한다. 광학식 막 두께 측정 헤드(84)의 막 두께 측정 원리는 광학식 막 두께 센서(40)와 기본적으로 동일하다. 웨트형 막 두께 측정기(80)로서는, 일본 특허 출원 공개 평9-109023호 공보에 기재되어 있는 막 두께 측정기를 사용할 수 있다.

[0045] 광학식 막 두께 측정 헤드(84)는 수평 이동 기구(92)에 연결되어 있고, 막 두께 측정 중의 광학식 막 두께 측정 헤드(84)가 수평 방향으로 이동할 수 있도록 되어 있다. 측정대(87)는 웨이퍼(W)를 회전시키는 웨이퍼 회전 기구(도시하지 않음)를 갖고 있고, 오리엔테이션 검출기(85)에 의해 검출된 웨이퍼(W)의 방향(둘레 방향의 위치)을 자유롭게 조정할 수 있도록 되어 있다. 수평 이동 기구(92)에 의해, 광학식 막 두께 측정 헤드(84)는 웨이퍼(W)의 반경 방향을 따른 복수의 측정점에서 막 두께를 측정할 수 있고, 또한 웨이퍼 회전 기구를 갖는 측정대(87)와 수평 이동 기구(92)의 조합에 의해, 웨이퍼(W) 상의 원하는 점에서의 막 두께를 측정할 수 있다. 막 두께 측정 중에는 수조(81) 중의 웨이퍼(W)는 정지 상태에 있고, 또한 수평으로 놓여져 있으므로, 회전하는 웨이퍼의 막 두께를 측정하는 광학식 막 두께 센서(40)보다도 높은 정밀도로 막 두께를 측정할 수 있다. 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 얻어진 막 두께의 측정값은 동작 제어부(5)로 보내진다.

[0046] 도 3으로 돌아가, 스윙 트랜스포터(12)의 측방에는 도시하지 않은 프레임에 설치된 웨이퍼의 임시 설치대(72)가 배치되어 있다. 이 임시 설치대(72)는, 도 3에 도시한 바와 같이 제1 리니어 트랜스포터(6)에 인접하여 배치되어 있고, 제1 리니어 트랜스포터(6)와 세정부(4) 사이에 위치하고 있다. 스윙 트랜스포터(12)는 제4 반송 위치 TP4, 제5 반송 위치 TP5 및 임시 설치대(72) 사이를 이동한다. 상술한 실시예에서는, 각 연마 유닛(3A-3D) 사이에서 웨이퍼가 수수될 때에는, 웨이퍼는 톱 링으로부터 이탈되어, 리니어 트랜스포터(6, 7)를 통해 다른 연마 유닛으로 반송되지만, 연마 유닛 사이의 웨이퍼의 전달 기구는 상술한 예로 한정되지 않고, 예를 들어 웨이퍼를 보유 지지한 상태에서 톱 링이 직접 다른 연마 유닛으로 이동함으로써 웨이퍼를 반송해도 된다.

[0047] 임시 설치대(72)에 적재된 웨이퍼는 세정부(4)의 제1 반송 로봇(77)에 의해 세정부(4)로 반송된다. 도 3에 도시한 바와 같이, 세정부(4)는 연마된 웨이퍼를 세정액으로 세정하는 1차 세정기(73) 및 2차 세정기(74)와, 세정된 웨이퍼를 건조하는 건조기(75)를 구비하고 있다. 제1 반송 로봇(77)은, 웨이퍼를 임시 설치대(72)로부터 1차 세정기(73)로 반송하고, 또한 1차 세정기(73)로부터 2차 세정기(74)로 반송하도록 동작한다. 2차 세정기(74)와 건조기(75) 사이에는 제2 반송 로봇(78)이 배치되어 있다. 이 제2 반송 로봇(78)은 웨이퍼를 2차 세정기(74)로부터 건조기(75)로 반송하도록 동작한다.

[0048] 건조된 웨이퍼는 반송 로봇(22)에 의해 건조기(75)로부터 취출되어, 웨이퍼 카세트에 복귀된다. 이와 같이 하여, 연마, 막 두께 측정, 세정 및 건조를 포함하는 일련의 처리가 웨이퍼에 대해 행해진다.

- [0049] 다음에, 상술한 연마 장치를 사용하여 웨이퍼를 연마하는 방법에 대해 설명한다. 도 7은 연마되는 웨이퍼의 단면 구조의 일례를 도시하는 도면이다. 이 웨이퍼에서는, SiO<sub>2</sub>나 Low-k재로 이루어지는 층간 절연막(101) 상에, SiO<sub>2</sub> 등의 산화막으로 이루어지는 제1 하드 마스크막(102)이 형성되어 있다. 또한, 제1 하드 마스크막(102) 상에는 금속으로 이루어지는 제2 하드 마스크막(104)이 형성되어 있다. 층간 절연막(101)에 형성된 트렌치 및 제2 하드 마스크막(104)을 덮도록 금속으로 이루어지는 배리어막(105)이 형성된다. 층간 절연막(101) 및 제1 하드 마스크막(102)은 절연막(103)을 구성하고, 제2 하드 마스크막(104) 및 배리어막(105)은 도전막(106)을 구성한다. 도시하지 않지만, 다층 구조의 다른 예로서, 제1 하드 마스크막(102) 및 제2 하드 마스크막(104)이 없는 경우도 있다. 이 경우, 도전막(106)은 배리어막(105)으로 구성되고, 절연막(103)은 층간 절연막(101)으로 구성된다.
- [0050] 배리어막(105)이 형성된 후, 웨이퍼에 구리 도금을 실시함으로써, 트렌치 내에 구리를 충전시키는 동시에, 배리어막(105) 상에 금속막으로서의 구리막(107)을 퇴적시킨다. 그 후, 연마 장치에 의해 불필요한 구리막(107), 배리어막(105), 제2 하드 마스크막(104) 및 제1 하드 마스크막(102)이 제거되어, 트렌치 내에 구리가 남는다. 이 트렌치 내의 구리는 구리막(107)의 일부이고, 이것이 반도체 디바이스의 배선(108)을 구성한다. 도 7의 점선으로 나타낸 바와 같이, 절연막(103)이 소정의 두께가 된 시점, 즉 배선(108)이 소정의 높이가 된 시점에서 연마가 종료된다.
- [0051] 도 8의 (a) 및 도 8의 (b)는 도 7에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면이다. 상기 다층 구조의 웨이퍼는 제1 연마 유닛(3A) 및 제2 연마 유닛(3B)에서 2단계로 연마되고, 동시에 동일한 구성의 다른 웨이퍼가 제3 연마 유닛(3C) 및 제4 연마 유닛(3D)에서 2단계로 연마되고 있다. 2단 연마 중 제1 단계는, 도 8의 (a)에 도시한 바와 같이, 배리어막(105)이 노출될 때까지 불필요한 구리막(107)을 제거하는 공정이고, 제2 단계는, 도 8의 (b)에 도시한 바와 같이, 배리어막(105), 제2 하드 마스크막(104) 및 제1 하드 마스크막(102)을 제거하고, 또한 절연막(103)의 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지[즉, 트렌치 내의 배선(108)이 소정의 목표 높이가 될 때까지] 층간 절연막(101)을 연마하는 공정이다. 2단 연마의 제1 단계는 제1 연마 유닛(3A) 및 제3 연마 유닛(3C)에서 행해지고, 제2 단계는 제2 연마 유닛(3B) 및 제4 연마 유닛(3D)에서 행해진다. 이와 같이, 2매의 웨이퍼가 연마 유닛(3A, 3B) 및 연마 유닛(3C, 3D)에서 병행하여 각각 연마된다.
- [0052] 절연막(103)의 연마에서는 광학식 막 두께 센서(40)에 의해 절연막(103)의 막 두께 신호가 취득된다. 동작 제어부(5)는 절연막(103)의 막 두께를 직접 또는 간접적으로 나타내는 막 두께 지표값을 막 두께 신호로부터 생성하여, 이 막 두께 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때[즉, 절연막(103)의 막 두께가 소정의 목표값에 도달했을 때]에 절연막(103)의 연마를 정지시킨다. 동작 제어부(5)는 절연막(103)의 제거량으로부터 절연막(103)의 연마 종점을 결정해도 된다. 즉, 막 두께 지표값 대신에, 동작 제어부(5)는 절연막(103)의 제거량을 직접 또는 간접적으로 나타내는 제거 지표값을 막 두께 신호로부터 생성하여, 이 제거 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때[즉, 절연막(103)의 제거량이 소정의 목표값에 도달했을 때]에 절연막(103)의 연마를 정지시키도록 해도 된다. 이 경우라도, 절연막(103)을 그 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 연마할 수 있다.
- [0053] 도 9는 도 8의 (a) 및 도 8의 (b)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 스텝 1에서는, 제1 연마 테이블(30A) 또는 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 도전막(106)을 구성하는 배리어막(105)이 노출될 때까지, 구리막(금속막)(107)이 연마된다. 이 스텝 1은 도 8의 (a)에 도시하는 제1 연마 공정에 대응한다. 스텝 2에서는, 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(103)이 노출될 때까지 도전막(106)이 연마되고, 또한 절연막(103)이 그 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 보다 구체적으로는, 배리어막(105), 제2 하드 마스크막(104) 및 제1 하드 마스크막(102)이 제거되고, 또한 층간 절연막(101)이 연마된다. 이 스텝 2는 도 8의 (b)에 도시하는 제2 연마 공정에 대응한다.
- [0054] 스텝 3에서는, 연마액 대신에, 순수를 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다. 이 수연마에 의해 웨이퍼로부터 연마액 및 연마 칩이 제거된다. 스텝 4에서는, 연마된 웨이퍼는 웨이퍼의 표면이 젖은 상태에서 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다.
- [0055] 스텝 5에서는, 연마된 절연막(103)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 보내지고, 스텝 6에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 7로서, 측정 막 두께와 목표값의 차로부터, 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 추가 연마 시간은 절연막(103)의 현재의 막 두께와 목표값의 차분과, 연마율로부터 산출할 수 있다. 그리고, 웨이퍼



는 다시 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 세정부(4)로 반송되고, 스텝 8로서, 웨이퍼가 세정되고, 또한 건조된다. 또한, 재연마 후의 스텝 4, 5의 막 두께 측정 및 스텝 6의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다.

[0056] 웨이퍼가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정되고 있는 동안 및/또는 재연마되는 동안에, 연마 유닛 등에 있어서 후속의 웨이퍼에 처리 대기 시간이 발생하는 경우가 있다. 이와 같은 경우, 웨이퍼 표면의 건조나 부식 등의 디펙트의 증가를 방지하기 위해, 웨이퍼 반송 경로, 예를 들어 제1 리니어 트랜스포터(6), 제2 리니어 트랜스포터(7), 스윙 트랜스포터(12) 등에 부설된 스프레이(도시하지 않음)에 의해, 순수나 세정 효과 혹은 부식 방지 효과 등을 갖는 약액을 톱 링에 보유 지지된 웨이퍼, 혹은 리니어 트랜스포터의 각 반송 위치에 정지한 웨이퍼에 간헐적으로 분사해도 된다. 또한, 재연마의 발생에 기인하는 후속의 웨이퍼의 연마 개시 시간의 지연을 동작 제어부(5)에서 계산하여, 후속의 웨이퍼의 연마 시간 또는 연마를 개시하는 타이밍을 조정해도 된다. 또한, 재연마를 허용하기 위한 후속 웨이퍼의 처리 대기 시간을 미리 설정하여, 연마 장치로의 웨이퍼 투입 타이밍을 제어해도 된다. 이와 같은 재연마를 실시할 때의 후속 웨이퍼에 대한 동작은 이후에 설명하는 실시예에도 적용할 수 있다.

[0057] 웨트형 막 두께 측정기(80)는 웨이퍼 상의 원하는 복수의 측정점에서 막 두께를 측정하고, 동작 제어부(5)는 막 두께 측정값으로부터 웨이퍼의 연마 프로파일을 생성한다. 연마 프로파일은 막 두께의 단면 형상을 나타내고 있다. 동작 제어부(5)는 생성된 연마 프로파일에 기초하여 톱 링(31A)의 연마 압력, 즉 도 5에 도시하는 압력실(P1, P2, P3, P4) 내의 압력을 조정하도록 구성되어 있다. 예를 들어, 웨이퍼의 엣지부의 막 두께가 다른 영역에 비해 큰 경우에는, 엣지부에 대응하는 압력실(P4)의 압력이 높아진다.

[0058] 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 취득되는 막 두께 측정 결과로부터, 연마 시간, 연마 압력, 연마 테이블의 회전 속도 등의 연마 조건을 조정할 수 있다. 예를 들어, 각 연마 공정의 종점을 연마 시간으로 관리하는 경우에는, 각 연마 공정은 미리 설정된 연마 시간이 경과한 시점에서 종료된다. 이 경우, 막 두께 측정 결과에 기초하여, 설정 연마 시간을, 목표 막 두께를 달성하기 위한 최적의 연마 시간으로 조정할 수 있다. 또한, 각 압력실(P1, P2, P3, P4) 내의 설정 압력(설정 연마 압력)을 절연막(103)의 두께가 균일해지는 최적의 압력으로 조정할 수 있다. 이와 같이 하여 조정된 연마 조건은 웨이퍼의 재연마에 적용할 수 있고, 또한 후속의 웨이퍼의 연마에도 적용할 수 있다. 따라서, 후속의 웨이퍼는 최적의 연마 압력 및 최적의 연마 시간으로 연마된다. 또한, 절연막(103)을 연마할 때의 막 두께 지표값 또는 제거 지표값의 임계값을 조정할 수도 있다. 막 두께 지표값 또는 제거 지표값이 임계값에 도달한 후에, 웨이퍼를 소정의 시간만큼 더 연마(오버 폴리싱)해도 된다. 이 경우, 오버 폴리싱의 상기 소정의 시간을 막 두께 측정 결과에 기초하여 조정해도 된다.

[0059] 본 발명에 따르면, 막 두께 측정 및 재연마는 웨이퍼의 세정 및 건조 전에 행해지므로, 재연마를 개시할 때까지 필요한 시간을 짧게 할 수 있다. 따라서, 처리량을 향상시킬 수 있다. 또한, 웨이퍼 연마의 직후에 막 두께 측정이 행해져, 연마 조건이 조정되므로, 그 조정된 연마 조건을 후속의 웨이퍼의 연마에 즉시 적용할 수 있으므로 후속의 웨이퍼의 처리를 기다리는 일 없이 처리량을 향상시킬 수 있는 동시에, 후속의 웨이퍼에 최적의 연마 조건을 적용함으로써 연마의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

[0060] 다음에, 본 발명의 연마 방법의 다른 예에 대해 설명한다. 이 예에서는, 4개의 연마 테이블(30A, 30B, 30C, 30D)을 사용하여 도 7에 도시하는 웨이퍼가 연마된다. 구체적으로는, 도 10의 (a)에 도시한 바와 같이, 제1 연마 공정으로서, 제1 연마 유닛(3A)에서 구리막(107)이 그 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 구리막(107)의 연마에서는 와전류식 막 두께 센서(60)에 의해 구리막(107)의 막 두께 신호가 취득된다. 동작 제어부(5)는 구리막(107)의 막 두께를 직접 또는 간접적으로 나타내는 막 두께 지표값을 막 두께 신호로부터 생성하고, 이 막 두께 지표값에 기초하여 구리막(107)의 연마를 감시하여, 막 두께 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때[즉, 구리막(107)의 두께가 소정의 목표값에 도달했을 때]에 구리막(107)의 연마를 정지시킨다.

[0061] 제1 연마 유닛(3A)에서 연마된 웨이퍼는 제2 연마 유닛(3B)으로 반송되고, 여기서 제2 연마 공정이 행해진다. 도 10의 (b)에 도시한 바와 같이, 제2 연마 공정에서는 구리막(107) 아래의 배리어막(105)이 노출될 때까지 남은 구리막(107)이 연마된다. 구리막(107)이 제거되어 배리어막(105)이 노출된 시점은 막 두께 지표값에 기초하여 동작 제어부(5)에 의해 검출된다. 예를 들어, 구리막(107)의 제거점은 막 두께 지표값이 소정의 임계값에 도달한 점으로부터 결정할 수 있다. 구리막(107)의 연마율이 높고, 배리어막(105)의 연마율이 낮아지는 연마액을 사용하고 있는 경우, 구리막(107)이 제거되어 배리어막(105)이 노출되면, 연마가 그 이상 진행되지 않게 된다. 이 경우에는, 막 두께 지표값은 변화되지 않게 된다. 따라서, 막 두께 지표값이 변화되지 않게 된 점을,

구리막(107)이 제거된 점으로 결정할 수도 있다.

- [0062] 제2 연마 유닛(3B)에서 연마된 웨이퍼는 제3 연마 유닛(3C)으로 반송되고, 여기서 제3 연마 공정이 행해진다. 도 10의 (c)에 도시한 바와 같이, 제3 연마 공정에서는, 도전막(106)을 구성하는 배리어막(105) 및 제2 하드 마스크막(104)이 제거된다. 구체적으로는, 도전막(106) 아래의 절연막(103)이 노출될 때까지[제1 하드 마스크막(102)이 노출될 때까지], 도전막(106)이 연마된다. 도전막(106)의 연마에서는, 와전류식 막 두께 센서(60)에 의해 도전막(106)의 막 두께 신호가 취득된다. 동작 제어부(5)는 막 두께 신호로부터 도전막(106)의 막 두께 지표값을 생성하고, 이 막 두께 지표값에 기초하여 도전막(106)의 연마를 감시하여, 막 두께 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때, 또는 막 두께 지표값이 변화되지 않게 되었을 때[즉, 도전막(106)의 제2 하드 마스크막(104)이 제거되어 제1 하드 마스크막(102)이 노출되었을 때]에 웨이퍼의 연마를 정지시킨다.
- [0063] 연마된 웨이퍼는 제3 연마 유닛(3C)으로부터 제4 연마 유닛(3D)으로 반송되고, 여기서 제4 연마 공정이 행해진다. 도 10의 (d)에 도시한 바와 같이, 제4 연마 공정에서는 제1 하드 마스크막(102) 및 층간 절연막(101)으로 이루어지는 절연막(103)이 연마된다. 절연막(103)의 연마는 제1 하드 마스크막(102)의 제거와, 층간 절연막(101)의 연마를 포함한다. 절연막(103)은 그 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 연마된다.
- [0064] 절연막(103)의 연마에서는 광학식 막 두께 센서(40)에 의해 절연막(103)의 막 두께 신호가 취득된다. 동작 제어부(5)는 막 두께 신호로부터 절연막(103)의 막 두께 지표값 또는 제거 지표값을 생성하고, 이 막 두께 지표값 또는 제거 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때[즉, 절연막(103)의 막 두께 또는 제거량이 소정의 목표값에 도달했을 때]에 절연막(103)의 연마를 정지시킨다.
- [0065] 도 11은 도 10의 (a) 내지 도 10의 (d)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 스텝 1에서는, 제1 연마 테이블(30A) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 구리막(금속막)(107)이 그 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 이 스텝 1은 도 10의 (a)에 도시하는 제1 연마 공정에 대응한다. 스텝 2에서는, 제2 연마 테이블(30B) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 도전막(106)을 구성하는 배리어막(105)이 노출될 때까지, 구리막(금속막)(107)이 연마된다. 이 스텝 2는 도 10의 (b)에 도시하는 제2 연마 공정에 대응한다.
- [0066] 스텝 3에서는, 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 도전막(106)을 구성하는 배리어막(105) 및 제2 하드 마스크막(104)이 연마된다. 이 도전막(106)의 연마는 절연막(103)이 노출될 때까지 행해진다. 이 스텝 3은 도 10의 (c)에 도시하는 제3 연마 공정에 대응한다. 스텝 4에서는, 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(103)이 그 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 이 스텝 4는 도 10의 (d)에 도시하는 제4 연마 공정에 대응한다.
- [0067] 스텝 5에서는, 연마액 대신에, 순수를 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수 연마된다. 이 수연마에 의해 웨이퍼로부터 연마액 및 연마 칩이 제거된다. 스텝 6에서는, 연마된 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다.
- [0068] 스텝 7에서는, 연마된 절연막(103)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 보내지고, 스텝 8에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 9로서, 측정 막 두께와 목표값의 차로부터, 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 그리고, 웨이퍼는 다시 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 세정부(4)로 반송되고, 스텝 10으로서, 웨이퍼가 세정되고, 또한 건조된다. 또한, 재연마 후의 스텝 6, 7의 막 두께 측정 및 스텝 8의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다.
- [0069] 제3 연마 공정에서는 도전막(106)의 연마율을 높게 하면서, 절연막(103)의 연마율을 낮게 할 수 있는 지립 및/또는 화학 성분을 갖는, 소위 고선택비의 연마액을 사용하는 것이 바람직하다. 이와 같은 연마액을 사용하면, 절연막(103)이 노출된 후에는 웨이퍼의 연마가 실질적으로 진행되지 않는다. 따라서, 동작 제어부(5)는 도전막(106)의 연마 종점[절연막(103)의 노출점]을 보다 정확하게 검출할 수 있다.
- [0070] 제3 연마 공정에서 고선택비의 연마액이 사용되는 경우에는, 연마 테이블(30C)을 회전시키는 테이블 모터(19)(도 4 참조)의 토크 전류에 기초하여 도전막(106)의 연마 종점[절연막(103)의 노출점]을 검출할 수도 있다. 웨이퍼의 연마 중에는 웨이퍼의 표면과 연마 패드(10)의 연마면이 미끄럼 접촉하므로, 웨이퍼와 연마 패드(10) 사이에는 마찰력이 발생한다. 이 마찰력은 웨이퍼의 노출면을 형성하는 막의 종류 및 연마액의 종류에 의존하여

변화된다.

- [0071] 테이블 모터(19)는 연마 테이블(30C)을 미리 설정된 일정한 속도로 회전시키도록 제어된다. 따라서, 웨이퍼와 연마 패드(10) 사이에 작용하는 마찰력이 변화되면, 테이블 모터(19)에 흐르는 전류값, 즉 토크 전류가 변화된다. 보다 구체적으로는, 마찰력이 커지면, 연마 테이블(30C)에 보다 큰 토크를 부여하기 위해 토크 전류가 증가하고, 마찰력이 작아지면, 연마 테이블(30C)에 부여하는 토크를 작게 하기 위해 토크 전류가 감소한다. 따라서, 동작 제어부(5)는 테이블 모터(19)의 토크 전류의 변화로부터 도전막(106)의 연마 종점[절연막(103)의 노출점]을 검출할 수 있다. 토크 전류는 도 4에 도시하는 토크 전류 계측기(70)에 의해 계측된다.
- [0072] 다음에, 본 발명의 연마 방법의 또 다른 예에 대해 설명한다. 이 예에서도, 4개의 연마 테이블(30A, 30B, 30C, 30D)을 사용하여 도 7에 도시하는 웨이퍼가 연마된다. 구체적으로는, 도 12의 (a) 및 도 12의 (b)에 도시하는 금속막의 제1 연마 공정 및 제2 연마 공정은 도 10의 (a) 및 도 10의 (b)에 도시하는 제1 연마 공정 및 제2 연마 공정과 동일하므로, 그 중복되는 설명을 생략한다.
- [0073] 제2 연마 유닛(3B)에서 연마된 웨이퍼는 제3 연마 유닛(3C)으로 반송되고, 여기서 제3 연마 공정이 행해진다. 도 12의 (c)에 도시한 바와 같이, 제3 연마 공정에서는, 절연막(103)이 노출될 때까지 도전막(106)이 연마되고, 또한 노출된 절연막(103)이 연마된다. 보다 구체적으로는, 도전막(106)을 구성하는 배리어막(105) 및 제2 하드 마스크막(104)이 제거되고, 또한 도전막(106) 아래의 절연막(103)이 연마된다. 절연막(103)은 그 두께가 소정의 제1 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 절연막(103)의 두께는 절연막(103)의 제거량으로부터 결정해된다. 제3 연마 공정에서의 절연막(103)의 연마는 제1 하드 마스크막(102)의 제거 및 층간 절연막(101)의 연마, 또는 제1 하드 마스크막(102)의 연마만을 포함한다. 도 12의 (c)는 도전막(106)이 연마된 후, 제1 하드 마스크막(102)이 연마되고, 층간 절연막(101)은 연마되지 않은 예를 나타내고 있다.
- [0074] 제3 연마 공정에서의 도전막(106)의 연마에서는 와전류식 막 두께 센서(60)에 의해 도전막(106)의 막 두께 신호가 취득된다. 동작 제어부(5)는 막 두께 신호로부터 도전막(106)의 막 두께 지표값을 생성하고, 이 막 두께 지표값에 기초하여 도전막(106)의 연마를 감시하여, 막 두께 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때, 또는 막 두께 지표값이 변화되지 않게 된 점[즉, 도전막(106)이 제거되어 절연막(103)이 노출된 점]을 검출한다. 제3 연마 공정에서는, 도전막(106)과 절연막(103)은 연속해서 연마된다. 절연막(103)의 연마에서는, 광학식 막 두께 센서(40)에 의해 절연막(103)의 막 두께 신호가 취득된다. 동작 제어부(5)는 막 두께 신호로부터 절연막(103)의 막 두께 지표값 또는 제거 지표값을 생성하여, 이 막 두께 지표값 또는 제거 지표값이 소정의 제1 임계값에 도달했을 때[즉, 절연막(103)의 막 두께가 소정의 제1 목표값에 도달했을 때]에 절연막(103)의 연마를 정지시킨다.
- [0075] 제3 연마 유닛(3C)에서 연마된 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송되고, 여기서 웨이퍼의 막 두께가 측정된다. 막 두께 측정 후, 웨이퍼는 제4 연마 유닛(3D)으로 반송되고, 여기서 제4 연마 공정이 행해진다. 도 12의 (d)에 도시한 바와 같이, 제4 연마 공정에서는 절연막(103)이 연마된다. 절연막(103)은 그 두께가 소정의 제2 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 절연막(103)의 연마는 제1 하드 마스크막(102)의 제거 및 층간 절연막(101)의 연마, 또는 층간 절연막(101)의 연마만을 포함한다. 도 12의 (d)는 제1 하드 마스크막(102)이 제거되고, 계속해서 층간 절연막(101)이 연마된 예를 도시하고 있다.
- [0076] 도 13은 도 12의 (a) 내지 도 12의 (d)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 스텝 1에서는 제1 연마 테이블(30A) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 구리막(금속막)(107)이 그 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 이 스텝 1은 도 12의 (a)에 도시하는 제1 연마 공정에 대응한다. 스텝 2에서는, 제2 연마 테이블(30B) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 도전막(106)을 구성하는 배리어막(105)이 노출될 때까지, 구리막(금속막)(107)이 연마된다. 이 스텝 2는 도 12의 (b)에 도시하는 제2 연마 공정에 대응한다.
- [0077] 스텝 3에서는, 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 도전막(106)을 구성하는 배리어막(105) 및 제2 하드 마스크막(104)이 연마되고, 또한 그 아래의 절연막(103)이 그 두께가 소정의 제1 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 이 스텝 3은 도 12의 (c)에 도시하는 제3 연마 공정에 대응한다. 스텝 4에서는, 연마액 대신에, 순수를 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다. 이 수연마에 의해 웨이퍼로부터 연마액 및 연마 칩이 제거된다. 스텝 5에서는, 연마된 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다.
- [0078] 스텝 6에서는, 연마된 절연막(103)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결



과는 동작 제어부(5)로 보내지고, 스텝 7에서 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 최종 목표값인 소정의 제2 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 8로서, 측정 막 두께와 제2 목표값의 차로부터, 제2 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 추가 연마 시간은 절연막(103)의 현재의 막 두께와 제2 목표값의 차분과, 연마율로부터 산출할 수 있다. 그리고, 스텝 9에서는, 웨이퍼는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 웨이퍼가 재연마된다. 이 스텝 9는 도 12의 (d)에 도시하는 제4 연마 공정에 대응한다. 또한, 웨이퍼를 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10)로 반송하여, 재연마를 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10)에서 행해도 된다.

[0079] 스텝 10에서는, 연마액 대신에, 순수를 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수 연마된다. 그 후, 웨이퍼의 처리 플로우는 스텝 5로 돌아간다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 세정부(4)로 반송되고, 스텝 11로서, 웨이퍼가 세정되고, 또한 건조된다.

[0080] 스텝 8에서 산출되는 추가 연마 시간만큼 웨이퍼를 연마함으로써, 웨이퍼의 막 두께는 목표값에 도달하는 것이 기대된다. 따라서, 스텝 9 및 스텝 10 이후, 스텝 5로 돌아가 다시 막 두께를 측정하는 일 없이 직접 스텝 11로서 웨이퍼를 세정하고 또한 건조하여 웨이퍼 처리를 종료시켜도 된다. 이와 같은 재연마 후의 막 두께 측정의 생략은 앞서 설명한 실시예 및 이후에 설명하는 실시예에도 적용할 수 있다.

[0081] 도 12의 (a) 내지 도 12의 (c) 및 도 13을 참조하여 설명한 본 실시예는 막 두께가 그 최종 목표값인 제2 목표값 이전의 제1 목표값에 도달할 때까지 막을 연마하고, 연마된 웨이퍼의 막 두께를 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정하고, 측정된 현재의 막 두께와 제2 목표값의 차를 없애기 위해 필요한 추가 연마 시간을 산출하고, 그리고, 웨이퍼를 추가 연마 시간만큼 재연마한다고 하는 것이다. 이와 같이 의도적으로 최종 목표값 이전에 연마를 멈추어 막 두께를 측정하고, 그 후 재연마한다고 하는 본 실시예는, 앞서 설명한 실시예 및 이후에 설명하는 실시예에도 적용할 수 있다.

[0082] 본 발명에 관한 연마 방법은 다른 적층 구조를 갖는 웨이퍼에도 적용할 수 있다. 도 14는 텅스텐막, 배리어막 및 절연막으로 이루어지는 적층 구조의 단면도이다. 이 웨이퍼에서는, 절연막(110) 및 상기 절연막(110)에 형성된 트렌치를 덮도록 도전막으로서의 배리어막(111)이 형성되어 있다. 절연막(110)은 SiO<sub>2</sub>나 Low-k재 등으로 형성되고, 배리어막(111)은 Ti 혹은 TiN 등의 금속으로 형성되어 있다. 또한, 배리어막(111)을 덮도록 금속막으로서의 텅스텐막(112)이 형성되고, 트렌치는 텅스텐막(112)으로 충전되어 있다. 도 14의 점선으로 나타낸 바와 같이, 불필요한 텅스텐막(112) 및 배리어막(111)이 제거되어, 절연막(110)이 소정의 두께에 도달할 때까지 연마된다. 트렌치 내의 텅스텐은 텅스텐막(112)의 일부이고, 이것이 반도체 디바이스의 배선(113)을 구성한다.

[0083] 도 15의 (a) 및 도 15의 (b)는 도 14에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면이다. 상기 다층 구조의 웨이퍼는 제1 연마 유닛(3A) 및 제2 연마 유닛(3B)에서 2단계로 연마되고, 동시에 동일한 구성의 다른 웨이퍼가 제3 연마 유닛(3C) 및 제4 연마 유닛(3D)에서 2단계로 연마되어 있다. 2단 연마 중 제1 단계는, 도 15의 (a)에 도시한 바와 같이, 절연막(110)이 노출될 때까지 텅스텐막(112) 및 배리어막(111)을 제거하는 공정이고, 제2 단계는, 도 15의 (b)에 도시한 바와 같이, 절연막(110)의 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지[즉, 트렌치 내의 배선(113)이 소정의 목표 높이가 될 때까지] 절연막(110)을 연마하는 공정이다. 2단 연마의 제1 단계는 제1 연마 유닛(3A) 및 제3 연마 유닛(3C)에서 행해지고, 제2 단계는 제2 연마 유닛(3B) 및 제4 연마 유닛(3D)에서 행해진다.

[0084] 도 16은 도 15의 (a) 및 도 15의 (b)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 스텝 1에서는 제1 연마 테이블(30A) 또는 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(110)이 노출될 때까지, 텅스텐막(금속막)(112) 및 배리어막(111)이 연마된다. 이 스텝 1은 도 15의 (a)에 도시하는 제1 연마 공정에 대응한다. 스텝 2에서는 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(110)이 그 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 연마된다. 이 스텝 2는 도 15의 (b)에 도시하는 제2 연마 공정에 대응한다.

[0085] 절연막(110)의 연마에서는, 광학식 막 두께 센서(40)에 의해 절연막(110)의 막 두께 신호가 취득된다. 동작 제어부(5)는 막 두께 신호로부터 절연막(110)의 막 두께 지표값 또는 제거 지표값을 생성하여, 이 막 두께 지표값 또는 제거 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때[즉, 절연막(110)의 막 두께 또는 제거량이 소정의 목표값에 도달했을 때]에 절연막(110)의 연마를 정지시킨다.

[0086] 스텝 3에서는, 연마액 대신에, 순수를 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상

에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다. 이 수연마에 의해 웨이퍼로부터 연마액 및 연마 칩이 제거된다. 스텝 4에서는, 연마된 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다.

[0087] 스텝 5에서는, 연마된 절연막(110)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 이송되고, 스텝 6에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 7로서, 측정 막 두께와 목표값의 차로부터, 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 그리고, 웨이퍼는 다시 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 세정부(4)로 반송되고, 스텝 8로서, 웨이퍼가 세정되고, 또한 건조된다. 또한, 재연마 후의 스텝 4, 5의 막 두께 측정 및 스텝 6의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다.

[0088] 다음에, 또 다른 적층 구조를 갖는 웨이퍼를 연마하는 예에 대해 설명한다. 도 17은 층간 절연막(IDL)이 형성된 웨이퍼의 단면도이다. 이 웨이퍼에서는 하지층(120) 상에 금속 배선(121)이 형성되고, 또한 금속 배선(121)을 덮도록 층간 절연막(122)이 CVD에 의해 형성되어 있다.

[0089] 도 18의 (a) 및 도 18의 (b)는 도 17에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면이다. 상기 다층 구조의 웨이퍼는, 제1 연마 유닛(3A) 및 제2 연마 유닛(3B)에서 2단계로 연마되고, 동시에 동일한 구성의 다른 웨이퍼가 제3 연마 유닛(3C) 및 제4 연마 유닛(3D)에서 2단계로 연마되어 있다. 2단 연마 중 제1 단계는, 도 18의 (a)에 도시한 바와 같이, 층간 절연막(122)의 표면에 형성된 단차부(또는 볼록부)를 제거하여 그 표면을 평탄하게 하는 공정이고, 제2 단계는, 도 18의 (b)에 도시한 바와 같이, 층간 절연막(122)을 약간 연마하여 그 표면에 형성된 흠집을 제거하는 공정이다. 2단 연마의 제1 단계는 제1 연마 유닛(3A) 및 제3 연마 유닛(3C)에서 행해지고, 제2 단계는 제2 연마 유닛(3B) 및 제4 연마 유닛(3D)에서 행해진다.

[0090] 도 19는 도 18의 (a) 및 도 18의 (b)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 스텝 1에서는, 제1 연마 테이블(30A) 또는 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 층간 절연막(122)의 표면에 형성된 단차부(또는 볼록부)가 제거될 때까지, 층간 절연막(122)이 연마된다. 이 스텝 1은 도 18의 (a)에 도시하는 제1 연마 공정에 대응한다. 스텝 2에서는, 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 층간 절연막(122)의 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 층간 절연막(122)이 연마된다. 이 스텝 2는 도 18의 (b)에 도시하는 제2 연마 공정에 대응한다.

[0091] 층간 절연막(122)의 연마에서는 광학식 막 두께 센서(40)에 의해 층간 절연막(122)의 막 두께 신호가 취득된다. 동작 제어부(5)는 막 두께 신호로부터 층간 절연막(122)의 막 두께 지표값 또는 제거 지표값을 생성하여, 이 막 두께 지표값 또는 제거 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때[즉, 층간 절연막(122)의 막 두께 또는 제거량이 소정의 목표값에 도달했을 때]에 층간 절연막(122)의 연마를 정지시킨다.

[0092] 스텝 3에서는, 연마액 대신에, 순수를 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다. 이 수연마에 의해 웨이퍼로부터 연마액 및 연마 칩이 제거된다. 스텝 4에서는, 연마된 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다.

[0093] 스텝 5에서는, 연마된 층간 절연막(122)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 보내지고, 스텝 6에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 7로서, 측정 막 두께와 목표값의 차로부터, 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 그리고, 웨이퍼는 다시 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 세정부(4)로 반송되고, 스텝 8로서, 웨이퍼가 세정되고, 또한 건조된다. 또한, 재연마 후의 스텝 4, 5의 막 두께 측정 및 스텝 6의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다.

[0094] 도 20은 STI(얇은 트랜치 소자 격리) 프로세스를 도시하는 웨이퍼의 단면도이다. 도 20에 도시하는 웨이퍼에서는 실리콘층(130) 상에 SiO<sub>2</sub>막(131)이 형성되고, 그 위에 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>로 이루어지는 실리콘 질화막(132)이 형성되고, 또한 그 위에 SiO<sub>2</sub>로 이루어지는 소자 분리 절연막(133)[이하, 단순히 절연막(133)이라고 함]이 고밀도 플라즈마 CVD 등에 의해 형성되어 있다. 실리콘층(130), SiO<sub>2</sub>막(131) 및 실리콘 질화막(132)에는 STI 흠이 형성되어 있고, 절연막(133)의 일부는 STI 흠에 매립되어 있다.

- [0095] 도 21의 (a) 및 도 21의 (b)는 도 20에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법의 일례를 도시하는 도면이다. 상기 다층 구조의 웨이퍼는 제1 연마 유닛(3A) 및 제2 연마 유닛(3B)에서 2단계로 연마되고, 동시에 동일한 구성의 다른 웨이퍼가 제3 연마 유닛(3C) 및 제4 연마 유닛(3D)에서 2단계로 연마되어 있다. 2단 연마 중 제1 단계는, 도 21의 (a)에 도시한 바와 같이, 불필요한 절연막(133)을 제거하여 실리콘 질화막(132)을 노출시키는 공정이고, 제2 단계는, 도 21의 (b)에 도시한 바와 같이, 절연막(133) 및 실리콘 질화막(132)을 연마하여 그 표면에 형성된 흠집을 제거하는 동시에 절연막(133)의 막 두께를 최종적으로 조정하는 공정이다. 2단 연마의 제1 단계는 제1 연마 유닛(3A) 및 제3 연마 유닛(3C)에서 행해지고, 제2 단계는 제2 연마 유닛(3B) 및 제4 연마 유닛(3D)에서 행해진다.
- [0096] 도 22는 도 21의 (a) 및 도 21의 (b)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 스텝 1에서는, 제1 연마 테이블(30A) 또는 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 실리콘 질화막(132)이 노출될 때까지 절연막(133)이 연마된다. 이 스텝 1은 도 21의 (a)에 도시하는 제1 연마 공정에 대응한다. 스텝 2에서는, 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(133)의 두께가 소정의 목표값에 도달할 때까지 절연막(133) 및 실리콘 질화막(132)이 연마된다. 이 스텝 2는 도 21의 (b)에 도시하는 제2 연마 공정에 대응한다.
- [0097] 스텝 3에서는, 연마액 대신에, 순수를 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다. 이 수연마에 의해 웨이퍼로부터 연마액 및 연마 칩이 제거된다. 스텝 4에서는, 연마된 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다.
- [0098] 스텝 5에서는, 연마된 절연막(133)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 보내지고, 스텝 6에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 7로서, 측정 막 두께와 목표값의 차로부터, 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 그리고, 웨이퍼는 다시 제2 연마 테이블(30B) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 세정부(4)로 반송되고, 스텝 8로서, 웨이퍼가 세정되고, 또한 건조된다. 또한, 재연마 후의 스텝 4, 5의 막 두께 측정 및 스텝 6의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다.
- [0099] 다음에, 또 다른 적층 구조를 갖는 웨이퍼를 연마하는 예에 대해 설명한다. 도 23은 High-k 메탈 게이트를 형성하는 과정에 있어서 CMP가 적용되는 적층 구조가 형성된 웨이퍼의 단면도이다. 도 23에 도시한 바와 같이, 실리콘층(140) 상에 폴리실리콘(141)이 형성되고, 폴리실리콘(141)을 덮도록 실리콘나이트라이드( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )로 이루어지는 사이드 월(142)이 형성되어 있다. 또한, 사이드 월(142) 상에는 절연막(144)이 형성되어 있다.
- [0100] 이 웨이퍼는, 도 24의 (a) 내지 도 24의 (d)에 도시한 바와 같이 4단계로 연마된다. 즉, 제1 연마 공정은, 도 24의 (a)에 도시한 바와 같이 절연막(144)을 그 두께가 소정의 제1 목표값에 도달할 때까지 연마하는 공정이고, 제2 연마 공정은, 도 24의 (b)에 도시한 바와 같이 사이드 월(142)이 노출되고, 또한 절연막(144)의 두께가 소정의 제2 목표값에 도달할 때까지 절연막(144)을 연마하는 공정이고, 제3 연마 공정은, 도 24의 (c)에 도시한 바와 같이 폴리실리콘(141)이 노출되고, 또한 절연막(144)의 두께가 소정의 제3 목표값에 도달할 때까지 절연막(144) 및 사이드 월(142)을 연마하는 공정이고, 제4 연마 공정은, 도 24의 (d)에 도시한 바와 같이 절연막(144)이 소정의 제4 목표값에 도달할 때까지 절연막(144), 폴리실리콘(141) 및 사이드 월(142)을 연마하는 공정이다.
- [0101] 제1 연마 공정은 제1 연마 유닛(3A)에서 행해지고, 제2 연마 공정은 제2 연마 유닛(3B)에서 행해지고, 제3 연마 공정은 제3 연마 유닛(3C)에서 행해지고, 제4 연마 공정은 제4 연마 유닛(3D)에서 행해진다. 각 연마 공정 중, 광학식 막 두께 센서(40)에 의해 절연막(144)의 막 두께 신호가 취득된다. 광학식 막 두께 센서(40) 대신에, 설정 시간 또는 토크 전류 계측기(70)를 사용하여 연마 중점을 결정해도 된다. 동작 제어부(5)는 막 두께 신호로부터 절연막(144)의 막 두께 지표값 또는 제거 지표값을 생성하여, 이 막 두께 지표값 또는 제거 지표값이 소정의 임계값에 도달했을 때[즉, 절연막(144)의 막 두께 또는 제거량이 소정의 목표값에 도달했을 때]에 절연막(144)의 연마를 정지시킨다.
- [0102] 도 25는 도 24의 (a) 내지 도 24의 (d)에 도시하는 웨이퍼의 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 스텝 1에서는, 제1 연마 테이블(30A) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(144)의 두께가 소정의 제1 목표값에 도달할 때까지 절연막(144)이 연마된다. 이 스텝 1은 도 24의 (a)에 도시하는 제1 연마 공정에 대응

한다. 스텝 2에서는, 제2 연마 테이블(30B) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 사이드 휠(142)이 노출되고, 또한 절연막(144)의 두께가 소정의 제2 목표값에 도달할 때까지 절연막(144)이 연마된다. 이 스텝 2는 도 24의 (b)에 도시하는 제2 연마 공정에 대응한다.

[0103] 스텝 3에서는, 연마액 대신에, 순수를 제2 연마 테이블(30B) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수 연마된다. 이 수연마에 의해 웨이퍼로부터 연마액 및 연마 칩이 제거된다. 스텝 4에서는, 연마된 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다.

[0104] 스텝 5에서는, 연마된 절연막(144)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 이송되고, 스텝 6에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 제2 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 제2 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 7로서, 측정 막 두께와 제2 목표값의 차로부터, 제2 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 그리고, 웨이퍼는 다시 제1 연마 테이블(30A) 또는 제2 연마 테이블(30B) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 또한, 재연마 후의 스텝 4, 5의 막 두께 측정 및 스텝 6의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다. 재연마를 위해 제1 연마 테이블(30A) 또는 제2 연마 테이블(30B)의 어느 쪽으로 웨이퍼를 반송할지의 판단 기준은, 사이드 휠(142)이 노출되어 있는지 여부, 혹은 절연막(144)의 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 제2 목표값의 차가 미리 정한 레인지 내에 있는지 여부로 할 수 있다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상으로 반송된다.

[0105] 스텝 8에서는, 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(144)의 두께가 소정의 제3 목표값에 도달할 때까지 절연막(144) 및 사이드 휠(142)이 연마된다. 이 스텝 8은 도 24의 (c)에 도시하는 제3 연마 공정에 대응한다. 스텝 9에서는, 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(144)의 두께가 소정의 제4 목표값에 도달할 때까지 절연막(144), 폴리실리콘(141) 및 사이드 휠(142)이 연마된다. 이 스텝 9는 도 24의 (d)에 도시하는 제4 연마 공정에 대응한다.

[0106] 스텝 10에서는, 연마액 대신에, 순수를 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수 연마된다. 이 수연마에 의해 웨이퍼로부터 연마액 및 연마 칩이 제거된다. 스텝 11에서는, 연마된 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송된다.

[0107] 스텝 12에서는, 연마된 절연막(144)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 보내지고, 스텝 13에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 제4 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 제4 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 14로서, 측정 막 두께와 제4 목표값의 차로부터, 제4 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 그리고, 웨이퍼는, 다시 제3 연마 테이블(30C) 또는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 또한, 재연마 후의 스텝 11, 12의 막 두께 측정 및 스텝 13의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다. 재연마를 위해 제3 연마 테이블(30C) 또는 제4 연마 테이블(30D)의 어느 쪽으로 웨이퍼를 반송할지의 판단 기준은, 폴리실리콘(141)이 노출되어 있는지 여부, 혹은 절연막(144)의 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 제4 목표값의 차가 미리 정한 레인지 내에 있는지 여부로 할 수 있다. 측정 막 두께가 제4 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 세정부(4)로 반송되고, 스텝 15로서, 웨이퍼가 세정되고, 건조된다.

[0108] 도 26은 도 24의 (a) 내지 도 24의 (d)에 도시하는 웨이퍼의 다른 연마 방법을 설명하기 위한 흐름도이다. 스텝 1에서는, 제1 연마 테이블(30A) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(144)의 두께가 소정의 제1 목표값에 도달할 때까지 절연막(144)이 연마된다. 이 스텝 1은 도 24의 (a)에 도시하는 제1 연마 공정에 대응한다. 스텝 2에서는, 연마액 대신에, 순수를 제1 연마 테이블(30A) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다. 스텝 3에서는, 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송되고, 여기서 절연막(144)의 두께가 측정된다. 또한, 스텝 4에서는, 측정된 현재의 막 두께가 소정의 제2 목표값에 도달하기 위해 필요한 추가 연마 시간이 동작 제어부(5)에 의해 산출된다.

[0109] 스텝 5에서는, 웨이퍼는 제2 연마 테이블(30B) 상의 연마 패드(10) 상으로 반송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 스텝 3에서 산출된 추가 연마 시간만큼 절연막(144)이 연마된다. 이 스텝 5는 도 24의 (b)에 도시하는 제2 연마 공정에 대응한다. 스텝 6에서는, 연마액 대신에, 순수를 제2 연마 테이블(30B) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다.



- [0110] 스텝 7에서는, 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 다시 반송되고, 여기서 절연막(144)의 두께가 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 보내지고, 스텝 8에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 제2 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 제2 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 9로서, 측정 막 두께와 제2 목표값의 차로부터, 제2 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 그리고, 웨이퍼는 다시 제2 연마 테이블(30B) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상으로 반송된다. 또한, 상술한 스텝 5에서는, 스텝 4에서 산출되는 추가 연마 시간만큼 웨이퍼를 연마함으로써, 웨이퍼의 막 두께는 소정의 제2 목표값에 도달하는 것이 기대된다. 따라서, 스텝 7의 막 두께 측정 및 스텝 8의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다.
- [0111] 스텝 10에서는, 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 절연막(144)의 두께가 소정의 제3 목표값에 도달할 때까지 절연막(144) 및 사이드 월(142)이 연마된다. 이 스텝 10은 도 24의 (c)에 도시하는 제3 연마 공정에 대응한다. 스텝 11에서는, 연마액 대신에, 순수를 제3 연마 테이블(30C) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다. 스텝 12에서는, 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송되고, 여기서 절연막(144)의 두께가 측정된다. 또한, 스텝 13에서는, 측정된 현재의 막 두께가 소정의 제4 목표값에 도달하기 위해 필요한 추가 연마 시간이 동작 제어부(5)에 의해 산출된다.
- [0112] 스텝 14에서는, 웨이퍼는 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상으로 반송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액을 공급하면서, 스텝 13에서 산출된 추가 연마 시간만큼 절연막(144), 사이드 월(142) 및 폴리실리콘(141)이 연마된다. 이 스텝 14는 도 24의 (d)에 도시하는 제4 연마 공정에 대응한다. 스텝 15에서는, 연마액 대신에, 순수를 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10) 상에 공급하면서 웨이퍼가 수연마된다.
- [0113] 스텝 16에서는, 웨이퍼는 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송되고, 여기서 절연막(144)의 두께가 측정된다. 막 두께의 측정 결과는 동작 제어부(5)로 이송되고, 스텝 17에서, 측정된 현재의 막 두께와 막 두께의 소정의 제4 목표값이 동작 제어부(5)에 의해 비교된다. 측정 막 두께가 제4 목표값에 도달하고 있지 않은 경우에는, 스텝 18로서, 측정 막 두께와 제4 목표값의 차로부터, 제4 목표값을 달성하기 위해 필요한 추가 연마 시간을 동작 제어부(5)에 의해 산출한다. 그리고, 웨이퍼는 다시 제4 연마 테이블(30D) 상의 연마 패드(10)로 이송되어, 연마 패드(10) 상에 연마액이 공급되면서, 산출된 추가 연마 시간만큼 재연마된다. 측정 막 두께가 목표값에 도달하고 있는 경우에는, 웨이퍼는 세정부(4)로 반송되고, 스텝 19로서, 웨이퍼가 세정되고, 건조된다. 또한, 상술한 스텝 14에서는, 스텝 13에서 산출되는 추가 연마 시간만큼 웨이퍼를 연마함으로써, 웨이퍼의 막 두께는 소정의 제4 목표값에 도달하는 것이 기대된다. 따라서, 스텝 16의 막 두께 측정 및 스텝 17의 목표 막 두께값의 비교는 생략할 수 있다.
- [0114] 상술한 각 실시 형태에서는, 막 두께 측정 및 재연마는 웨이퍼의 세정 및 건조 전에 행해진다. 따라서, 재연마에 필요한 시간을 짧게 할 수 있어, 처리량을 향상시킬 수 있다. 또한, 웨이퍼 연마 직후에 막 두께 측정이 행해지므로, 막 두께 측정의 결과 조정된 연마 조건을 후속의 웨이퍼의 연마에 즉시 적용할 수 있으므로, 후속의 웨이퍼의 처리를 기다리게 하지 않고 처리량을 향상시킬 수 있는 동시에, 후속의 웨이퍼에 최적의 연마 조건을 적용함으로써 연마의 정밀도를 향상시킬 수 있다.
- [0115] 연마 종점 검출에 광학식 막 두께 센서(60)를 사용하는 경우에는, 웨트형 막 두께 측정기(80)에서의 막 두께 측정값을 사용하여 광학식 막 두께 센서(60)의 교정을 실시할 수도 있다. 광학식 막 두께 센서(60)의 교정을 실시한 후에는, 광학식 막 두께 센서(60)의 막 두께 신호로부터 얻어지는 막 두께 지표값 또는 제거 지표값은 웨트식 막 두께 측정기(80)의 막 두께 측정값과 상관이 얻어지므로, 웨트형 막 두께 측정기(80)에서의 막 두께 측정을 생략해도 연마의 정밀도를 유지할 수 있다.
- [0116] 구체적으로는, 막의 두께를 광학식 막 두께 센서(60)로 측정하면서 웨이퍼를 연마하고, 광학식 막 두께 센서(60)로부터 얻어진 현재의 막 두께의 측정값이 소정의 값에 도달했을 때에 웨이퍼의 연마를 정지하고, 연마된 웨이퍼를 세정 및 건조하기 전에 웨트형 막 두께 측정기(80)로 반송하고, 웨트형 막 두께 측정기(80)에 의해 막의 현재의 두께를 측정하고, 광학식 막 두께 센서(60)로부터 얻어진 현재의 막 두께의 측정값과, 웨트형 막 두께 측정기(80)로부터 얻어진 현재의 막 두께의 측정값의 비교로부터, 광학식 막 두께 센서(60)를 교정하고, 웨이퍼와 동일한 구성을 갖는 후속의 웨이퍼를 연마하여, 그동안, 교정된 광학식 막 두께 센서(60)로 후속의 웨이퍼의 막의 두께를 측정하고, 광학식 막 두께 센서(60)로부터 얻어진 막의 두께가 소정의 목표값에 도달했을 때에 후속의 웨이퍼의 연마를 정지함으로써, 정밀도가 높은 연마를 실현할 수 있다. 이 연마 방법에 따르면, 측

정 정밀도가 높은 웨트형 막 두께 측정기(80)의 막 두께 측정값을 사용하여 광학식 막 두께 센서(60)가 교정된다. 따라서, 후속의 웨이퍼의 연마 중의 In-situ막 두께 측정의 정밀도가 향상되어, 결과적으로, 웨이퍼의 재 연마를 없앨 수 있다. 또한, 막 두께의 측정 결과에 기초하여 조정된 연마 조건(연마 시간, 연마 압력 등)을 후속의 웨이퍼의 연마에 적용할 수 있다. 따라서, 처리량을 향상시킬 수 있다.

[0117] 다음에, 와전류식 막 두께 센서(40) 및 광학식 막 두께 센서(60)에 대해 설명한다. 도 27은 와전류식 막 두께 센서 및 광학식 막 두께 센서를 구비한 제1 연마 유닛(3A)을 도시하는 모식 단면도이다. 또한, 연마 유닛(3B 내지 3D)도, 도 27에 도시하는 제1 연마 유닛(3A)과 동일한 구성을 갖고 있으므로, 그 중복되는 설명을 생략한다.

[0118] 광학식 막 두께 센서(40) 및 와전류식 막 두께 센서(60)는 연마 테이블(30A)에 매설되어 있고, 연마 테이블(30A) 및 연마 패드(10)와 함께 일체로 회전한다. 톱 링 샤프트(16)는 벨트 등의 연결 수단(17)을 통해 톱 링 모터(18)에 연결되어 회전되도록 되어 있다. 이 톱 링 샤프트(16)의 회전에 의해, 톱 링(31A)이 화살표로 나타내는 방향으로 회전하도록 되어 있다.

[0119] 광학식 막 두께 센서(40)는 웨이퍼(W)의 표면에 광을 닿게 하여, 웨이퍼(W)로부터의 반사광을 수광하고, 그 반사광을 파장에 따라서 분해하도록 구성되어 있다. 광학식 막 두께 센서(40)는 광을 웨이퍼(W)의 피연마면에 조사하는 투광부(42)와, 웨이퍼(W)로부터 되돌아오는 반사광을 수광하는 수광부로서의 광파이버(43)와, 웨이퍼(W)로부터의 반사광을 파장에 따라서 분해하여, 소정의 파장 범위에 걸쳐서 반사광의 강도를 측정하는 분광기(44)를 구비하고 있다.

[0120] 연마 테이블(30A)에는 그 상면에서 개방되는 제1 구멍(50A) 및 제2 구멍(50B)이 형성되어 있다. 또한, 연마 패드(10)에는 이들 구멍(50A, 50B)에 대응하는 위치에 관통 구멍(51)이 형성되어 있다. 구멍(50A, 50B)과 관통 구멍(51)은 연통하고, 관통 구멍(51)은 연마면(10a)에서 개방되어 있다. 제1 구멍(50A)은 액체 공급로(53) 및 로터리 조인트(도시하지 않음)를 통해 액체 공급원(55)에 연결되어 있고, 제2 구멍(50B)은 액체 배출로(54)에 연결되어 있다.

[0121] 투광부(42)는 다파장의 광을 발하는 광원(47)과, 광원(47)에 접속된 광파이버(48)를 구비하고 있다. 광파이버(48)는 광원(47)에 의해 발해진 광을 웨이퍼(W)의 표면까지 유도하는 광전송부이다. 광파이버(48) 및 광파이버(43)의 선단은 제1 구멍(50A) 내에 위치하고 있고, 웨이퍼(W)의 피연마면의 근방에 위치하고 있다. 광파이버(48) 및 광파이버(43)의 각 선단은 톱 링(31A)에 보유 지지된 웨이퍼(W)에 대향하여 배치된다. 연마 테이블(30A)이 회전할 때마다 웨이퍼(W)의 복수의 영역에 광이 조사된다. 바람직하게는, 광파이버(48) 및 광파이버(43)의 각 선단은 톱 링(31A)에 보유 지지된 웨이퍼(W)의 중심에 대향하여 배치된다.

[0122] 웨이퍼(W)의 연마 중에는, 액체 공급원(55)으로부터는, 투명한 액체로서 물(바람직하게는 순수)이 액체 공급로(53)를 통해 제1 구멍(50A)에 공급되어, 웨이퍼(W)의 하면과 광파이버(48, 43)의 선단 사이의 공간을 채운다. 물은, 또한 제2 구멍(50B)에 유입되고, 액체 배출로(54)를 통해 배출된다. 연마액은 물과 함께 배출되고, 이에 의해 광로가 확보된다. 액체 공급로(53)에는 연마 테이블(30A)의 회전에 동기하여 작동하는 밸브(도시하지 않음)가 설치되어 있다. 이 밸브는 관통 구멍(51) 상에 웨이퍼(W)가 위치하지 않을 때에는 물의 흐름을 멈추거나, 또는 물의 유량을 적게 하도록 동작한다.

[0123] 광파이버(48)와 광파이버(43)는 서로 병렬로 배치되어 있다. 광파이버(48) 및 광파이버(43)의 각 선단은 웨이퍼(W)의 표면에 대해 대략 수직으로 배치되어 있고, 광파이버(48)는 웨이퍼(W)의 표면에 대략 수직으로 광을 조사하도록 되어 있다.

[0124] 웨이퍼(W)의 연마 중에는 투광부(42)로부터 광이 웨이퍼(W)에 조사되어, 광파이버(수광부)(43)에 의해 웨이퍼(W)로부터의 반사광이 수광된다. 분광기(44)는 반사광의 각 파장에서의 강도를 소정의 파장 범위에 걸쳐서 측정하고, 얻어진 광강도 데이터를 동작 제어부(5)로 보낸다. 이 광강도 데이터는 웨이퍼(W)의 막 두께를 반영한 막 두께 신호로, 막 두께에 따라서 변화된다. 동작 제어부(5)는 광강도 데이터로부터 파장마다의 광의 강도를 나타내는 스펙트럼을 생성하고, 또한 스펙트럼으로부터 웨이퍼(W)의 막 두께를 나타내는 막 두께 지표값을 생성한다.

[0125] 도 28은 광학식 막 두께 센서(40)의 원리를 설명하기 위한 모식도이고, 도 29는 웨이퍼(W)와 연마 테이블(30A)의 위치 관계를 나타내는 평면도이다. 도 28에 도시하는 예에서는, 웨이퍼(W)는 하층막과, 그 위에 형성된 상층막을 갖고 있다. 투광부(42) 및 수광부(43)는 웨이퍼(W)의 표면에 대향하여 배치되어 있다. 투광부(42)는 연마 테이블(30A)이 1회전할 때마다 웨이퍼(W)의 중심을 포함하는 복수의 영역에 광을 조사한다.



[0126] 웨이퍼(W)에 조사된 광은 매질(도 28의 예에서는 물)과 상층막의 계면과, 상층막과 하층막의 계면에서 반사되고, 이들 계면에서 반사된 광의 파가 서로 간섭한다. 이 광의 파의 간섭의 방법은 상층막의 두께(즉, 광로 길이)에 따라서 변화된다. 이로 인해, 웨이퍼(W)로부터의 반사광으로부터 생성되는 스펙트럼은 상층막의 두께에 따라서 변화된다. 분광기(44)는 반사광을 파장에 따라서 분해하여, 반사광의 강도를 파장마다 측정한다. 동작 제어부(5)는 분광기(44)로부터 얻어진 반사광의 강도 데이터(막 두께 신호)로부터 스펙트럼을 생성한다. 이 스펙트럼은 광의 파장과 강도의 관계를 나타내는 선 그래프(즉, 분광 파형)로서 나타낸다. 광의 강도는 반사율 또는 상대 반사율 등의 상대값으로서 나타낼 수도 있다.

[0127] 도 30은 동작 제어부(5)에 의해 생성된 스펙트럼을 도시하는 도면이다. 도 30에 있어서, 횡축은 반사광의 파장을 나타내고, 종축은 반사광의 강도로부터 유도되는 상대 반사율을 나타낸다. 이 상대 반사율이라 함은, 반사광의 강도를 나타내는 하나의 지표이고, 구체적으로는, 반사광의 강도와 소정의 기준 강도의 비이다. 각 파장에 있어서 반사광의 강도(실측 강도)를 소정의 기준 강도로 나눔으로써, 장치의 광학계나 광원 고유의 강도의 편차 등의 불필요한 요소가 실측 강도로부터 제거되고, 이에 의해 상층막의 두께 정보만을 반영한 스펙트럼을 얻을 수 있다.

[0128] 소정의 기준 강도는, 예를 들어 막이 형성되어 있지 않은 실리콘 웨이퍼(베어 웨이퍼)를 물의 존재 하에서 연마하고 있을 때에 얻어진 반사광의 강도로 할 수 있다. 실제의 연마에서는, 실측 강도로부터 다크 레벨(광을 차단한 조건 하에서 얻어진 배경 강도)을 감산하여 보정 실측 강도를 구하고, 또한 기준 강도로부터 상기 다크 레벨을 감산하여 보정 기준 강도를 구하고, 그리고, 보정 실측 강도를 보정 기준 강도로 제산함으로써, 상대 반사율이 구해진다. 구체적으로는, 상대 반사율  $R(\lambda)$ 은 다음 수학적 식 1을 사용하여 구할 수 있다.

### 수학적 식 1

$$R(\lambda) = \frac{E(\lambda) - D(\lambda)}{B(\lambda) - D(\lambda)}$$

[0129]

[0130] 여기서,  $\lambda$ 는 파장이고,  $E(\lambda)$ 는 파장  $\lambda$ 에서의 웨이퍼로부터의 반사광의 강도이고,  $B(\lambda)$ 는 파장  $\lambda$ 에서의 기준 강도이고,  $D(\lambda)$ 는 파장  $\lambda$ 에서의 다크 레벨(광을 차단한 조건 하에서 측정된 광의 강도)이다.

[0131] 동작 제어부(5)는 연마 중에 생성된 스펙트럼과 복수의 기준 스펙트럼을 비교함으로써, 생성된 스펙트럼에 가장 가까운 기준 스펙트럼을 결정하고, 이 결정된 기준 스펙트럼에 관련된 막 두께를 현재의 막 두께로서 결정한다. 복수의 기준 스펙트럼은 연마 대상의 웨이퍼와 동종의 웨이퍼를 연마함으로써 미리 취득된 것이고, 각 기준 스펙트럼에는 그 기준 스펙트럼이 취득되었을 때의 막 두께가 관련되어 있다. 즉, 각 기준 스펙트럼은 다른 막 두께일 때에 취득된 것이고, 복수의 기준 스펙트럼은 복수의 다른 막 두께에 대응한다. 따라서, 현재의 스펙트럼에 가장 가까운 기준 스펙트럼을 특정함으로써, 현재의 막 두께를 추정할 수 있다. 이 추정 막 두께값은 상술한 막 두께 지표값이다.

[0132] 광학식 막 두께 센서(40)는 광을 투과시키는 성질을 갖는 절연막의 막 두께를 결정하는 데 적합하다. 동작 제어부(5)는 광학식 막 두께 센서(40)에 의해 취득된 막 두께 지표값(광강도 데이터)으로부터 막의 제거량을 결정할 수도 있다. 구체적으로는, 초기 막 두께 지표값(초기 광강도 데이터)으로부터 상술한 방법에 따라서 초기의 추정 막 두께값을 구하고, 이 초기의 추정 막 두께값으로부터 현재의 추정 막 두께값을 감산함으로써 제거량을 구할 수 있다.

[0133] 상기 방법 대신에, 막의 제거량은 막 두께에 따라서 변화되는 스펙트럼의 변화량으로부터 결정할 수도 있다. 도 32는 막 두께차  $\Delta a$ 에 대응하는 2개의 스펙트럼을 도시하는 모식도이다. 여기서,  $a$ 는 막 두께이고, 연마 시에는 막 두께  $a$ 는 시간과 함께 감소한다( $\Delta a > 0$ ). 도 32에 도시한 바와 같이, 스펙트럼은 막 두께의 변화와 함께 파장축을 따라서 이동한다. 다른 시간에 취득된 2개의 스펙트럼 사이의 변화량은, 이들 스펙트럼에 의해 둘러싸이는 영역(해칭으로 나타냄)에 상당한다. 따라서, 상기 영역의 면적을 계산함으로써, 막의 제거량을 결정할 수 있다. 막의 제거량  $U$ 는 다음 수학적 식 2로부터 구해진다.

## 수학식 2

$$U = \sum_{\lambda_1}^{\lambda_2} |Rc(\lambda) - Rp(\lambda)|$$

[0134]

[0135] 여기서,  $\lambda$ 는 광의 파장이고,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ 는 감시 대상으로 하는 스펙트럼의 파장 범위를 결정하는 하한값 및 상한값이고, Rc는 현재 취득된 상대 반사율이고, Rp는 전회 취득된 상대 반사율이다.

[0136]

상기 수학식 2에 따라서 산출된 스펙트럼의 변화량은 막의 제거량을 나타내는 제거 지표값이다.

[0137]

다음에, 와전류식 막 두께 센서(60)에 대해 설명한다. 와전류식 막 두께 센서(60)는 코일에 고주파의 교류 전류를 흘려 도전막에 와전류를 유기시키고, 이 와전류의 자계에 기인하는 임피던스의 변화로부터 도전막의 두께를 검출하도록 구성된다. 도 33은 와전류식 막 두께 센서(60)의 원리를 설명하기 위한 회로를 도시하는 도면이다. 교류 전원 S로부터 고주파의 교류 전류  $I_1$ 을 와전류식 막 두께 센서(60)의 코일(61)에 흘리면, 코일(61)에 유기된 자력선이 도전막 중을 통과한다. 이에 의해, 센서측 회로와 도전막측 회로 사이에 상호 인덕턴스가 발생하고, 도전막에는 와전류  $I_2$ 가 흐른다. 이 와전류  $I_2$ 는 자력선을 발생하고, 이것이 센서측 회로의 임피던스를 변화시킨다. 와전류식 막 두께 센서(60)는 이 센서측 회로의 임피던스의 변화로부터 도전막의 막 두께를 검출한다.

[0138]

도 33에 도시하는 센서측 회로와 도전막측 회로에는 각각 다음의 식이 성립된다.

## 수학식 3

$$R_1 I_1 + L_1 d I_1 / dt + M d I_2 / dt = E$$

[0139]

## 수학식 4

$$R_2 I_2 + L_2 d I_2 / dt + M d I_1 / dt = 0$$

[0140]

[0141] 여기서, M은 상호 인덕턴스이고,  $R_1$ 은 와전류식 막 두께 센서(60)의 코일(61)을 포함하는 센서측 회로의 등가 저항이고,  $L_1$ 은 코일(61)을 포함하는 센서측 회로의 자기 인덕턴스이다.  $R_2$ 는 와전류가 유기되는 도전막의 등가 저항이고,  $L_2$ 는 와전류가 흐르는 도전막의 자기 인덕턴스이다.

[0142]

여기서,  $I_n = A_n e^{j\omega t}$  (정현파)로 하면, 상기 수학식 3, 4는 다음과 같이 나타난다.

## 수학식 5

$$(R_1 + j \omega L_1) I_1 + j \omega M I_2 = E$$

[0143]

## 수학식 6

$$(R_2 + j \omega L_2) I_2 + j \omega M I_1 = 0$$

[0144]

[0145]

이들 수학식 5, 6으로부터, 다음의 식이 유도된다.

### 수학식 7

$$I_1 = E (R_2 + j \omega L_2) / \{ (R_1 + j \omega L_1) (R_2 + j \omega L_2) + \omega^2 M^2 \}$$

$$= E / \{ (R_1 + j \omega L_1) + \omega^2 M^2 / (R_2 + j \omega L_2) \}$$

[0146]

[0147] 따라서, 센서측 회로의 임피던스  $\Phi$ 는 다음의 식으로 나타난다.

### 수학식 8

$$\Phi = E / I_1 = \{ R_1 + \omega^2 M^2 R_2 / (R_2^2 + \omega^2 L_2^2) \}$$

$$+ j \omega \{ L_1 - \omega^2 L_2 M^2 / (R_2^2 + \omega^2 L_2^2) \}$$

[0148]

[0149] 여기서,  $\Phi$ 의 실부(저항 성분), 허부(유도 리액턴스 성분)를 각각 X, Y로 하면, 상기 수학식 8은 다음과 같이 된다.

### 수학식 9

$$\Phi = X + j \omega Y$$

[0150]

[0151] 와전류식 막 두께 센서(60)는 상기 와전류식 막 두께 센서(60)의 코일(61)을 포함하는 전기 회로의 임피던스의 저항 성분 X 및 유도 리액턴스 성분 Y를 출력한다. 이들 저항 성분 X 및 유도 리액턴스 성분 Y는 막 두께를 반영한 막 두께 신호이고, 웨이퍼의 막 두께에 따라서 변화된다.

[0152] 도 34는 막 두께와 함께 변화되는 X, Y를, XY 좌표계 상에 플롯함으로써 그려지는 그래프를 나타내는 도면이다. 점  $T_\infty$ 의 좌표는 막 두께가 무한대일 때, 즉  $R_2$ 가 0일 때의 X, Y이고, 점  $T_0$ 의 좌표는 기관의 도전율을 무시할 수 있는 것으로 하면, 막 두께가 0일 때, 즉  $R_2$ 가 무한대일 때의 X, Y이다. X, Y의 값으로부터 위치 결정되는 점  $T_n$ 은 막 두께가 감소하는 것에 따라서, 원호 형상의 궤적을 그리면서 점  $T_0$ 을 향해 진행된다. 또한, 도 34에 나타내는 기호 k는 결합 계수이고, 다음의 관계식이 성립된다.

### 수학식 10

$$M = k (L_1 L_2)^{1/2}$$

[0153]

[0154] 도 35는 도 34의 그래프 도형을 반시계 방향으로 90도 회전시키고, 또한 평행 이동시킨 그래프를 나타내는 도면이다. 도 35에 도시한 바와 같이, 막 두께가 감소하는 것에 따라서, X, Y의 값으로부터 위치 결정되는 점  $T_n$ 은 원호 형상의 궤적을 그리면서 점  $T_0$ 을 향해 진행된다.

[0155] 코일(61)과 웨이퍼(W) 사이의 거리 G는 이들 사이에 개재하는 연마 패드(10)의 두께에 따라서 변화된다. 이 결과, 도 36에 도시한 바와 같이, 사용하는 연마 패드(10)의 두께에 상응하는 거리 G( $G_1$  내지  $G_3$ )에 따라서, 좌표 X, Y의 원호 궤적이 변동된다. 도 36으로부터 알 수 있는 바와 같이, 코일(61)과 웨이퍼(W) 사이의 거리 G에 관계없이, 막 두께마다의 좌표 X, Y를 직선(이하, 예비 측정 직선이라고 함)으로 연결하면, 그 예비 측정 직선이 교차하는 교점(기준점) P를 취득할 수 있다. 이 예비 측정 직선  $rn(n:1, 2, 3\cdots)$ 은 소정의 기준선(도 36에 있어서의 수평선) H에 대해, 막 두께에 따른 양각(협각)  $\theta$ 에서 경사진다. 따라서, 이 각도  $\theta$ 는 웨이퍼(W)의 막 두께를 나타내는 막 두께 지표값이라고 할 수 있다.

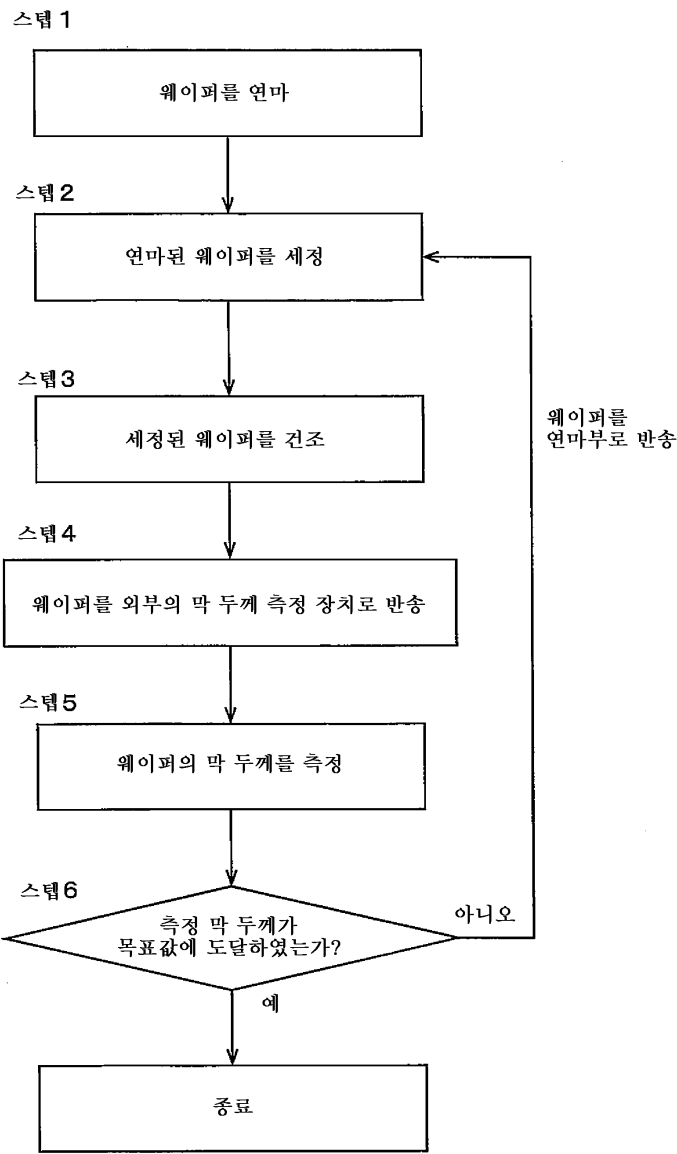
[0156] 동작 제어부(5)는 각도  $\theta$ 와 막 두께의 관계를 나타내는 상관 데이터를 참조함으로써, 연마 중에 얻어진 각도  $\theta$ 로부터 막 두께를 결정할 수 있다. 이 상관 데이터는 연마 대상의 웨이퍼와 동종의 웨이퍼를 연마하여, 각 각도  $\theta$ 에 대응하는 막 두께를 측정함으로써 미리 얻어진 것이다. 도 37은 연마 시간에 따라서 변화되는 각도

$\theta$ 를 나타내는 그래프이다. 종축은 각도  $\theta$ 를 나타내고, 횡축은 연마 시간을 나타내고 있다. 이 그래프에 나타난 바와 같이, 연마 시간과 함께 각도  $\theta$ 는 증가하여, 어떤 시점에서 일정해진다. 따라서, 동작 제어부(5)는 연마 중에 각도  $\theta$ 를 계산하여, 그 각도  $\theta$ 로부터 현재의 막 두께를 취득할 수 있다.

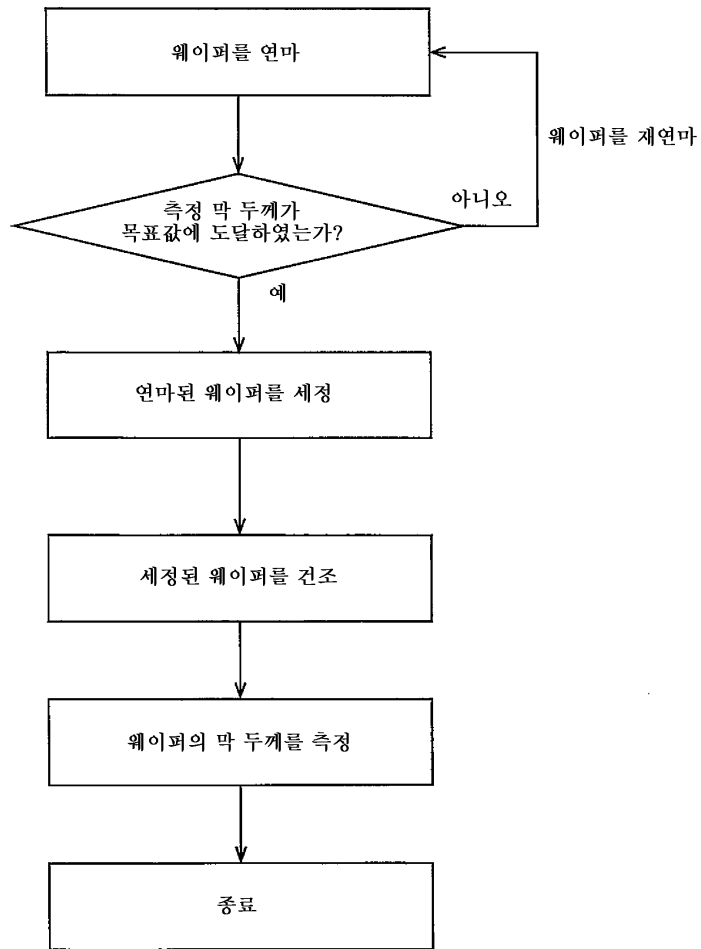
- [0157] 상술한 광학식 막 두께 센서(40) 및 와전류 센서(60)로서는, 일본 특허 출원 공개 제2004-154928호 공보나 일본 특허 출원 공개 제2009-99842호 공보 등에 기재되어 있는 공지의 광학 센서 및 와전류 센서를 사용할 수 있다.
- [0158] 도 4에 도시한 바와 같이, 제1 연마 유닛(3A)은 상술한 광학식 막 두께 센서(40) 및 와전류 센서(60)에 추가하여, 연마 테이블(30A)을 회전시키는 테이블 모터(19)의 입력 전류(즉, 토크 전류)를 계측하는 토크 전류 계측기(70)를 더 구비하고 있다. 이 토크 전류 계측기(70)에 의해 계측된 토크 전류값은 동작 제어부(5)로 보내지고, 웨이퍼의 연마 중에는 동작 제어부(5)에 의해 토크 전류값이 감시된다. 또한, 토크 전류 계측기(70)를 설치하지 않고, 테이블 모터(19)를 구동하는 인버터(도시하지 않음)로부터의 출력되는 전류값을 사용할 수도 있다.
- [0159] 도 6에 도시하는 웨트형 막 두께 측정기(80)의 막 두께 측정 원리는 상술한 광학식 막 두께 센서(60)와 동일하므로, 그 중복되는 설명을 생략한다. 도 38은 웨트형 막 두께 측정기(80)의 광학식 막 두께 측정 헤드(42)의 상세를 도시하는 모식도이다. 도 38에 도시한 바와 같이, 광학식 막 두께 측정 헤드(42)는 광을 웨이퍼(W)의 피연마면에 조사하는 투광부(142)와, 웨이퍼(W)로부터 되돌아오는 반사광을 수광하는 수광부(143)와, 웨이퍼(W)로부터의 반사광을 파장에 따라서 분해하여, 소정의 파장 범위에 걸쳐서 반사광의 강도를 측정하는 분광기(144)와, 분광기(144)로부터 얻어진 반사광의 강도 데이터(막 두께 신호)로부터 스펙트럼을 생성하고, 스펙트럼에 기초하여 막 두께를 결정하는 처리부(150)를 구비하고 있다.
- [0160] 투광부(142)는 다파장의 광을 발하는 광원(147)을 구비하고 있다. 투광부(142) 및 수광부(143)는 투명창(90)에 인접하고 있고, 또한 파지부(82)[도 6의 (a) 및 도 6의 (b) 참조]에 보유 지지된 웨이퍼(W)에 대향하여 배치된다. 바람직하게는, 투광부(142) 및 수광부(143)는 파지부(82)에 보유 지지된 웨이퍼(W)의 중심에 대향하여 배치된다.
- [0161] 상술한 실시 형태는, 본 발명이 속하는 기술 분야에 있어서의 통상의 지식을 갖는 자가 본 발명을 실시할 수 있는 것을 목적으로 하여 기재된 것이다. 상기 실시 형태의 다양한 변형예는 당업자라면 당연히 이를 수 있는 것이고, 본 발명의 기술적 사상은 다른 실시 형태에도 적용할 수 있다. 따라서, 본 발명은 기재된 실시 형태로 한정되지 않고, 특허청구의 범위에 의해 정의되는 기술적 사상에 따른 가장 넓은 범위로 해석되는 것이다.

도면

도면1

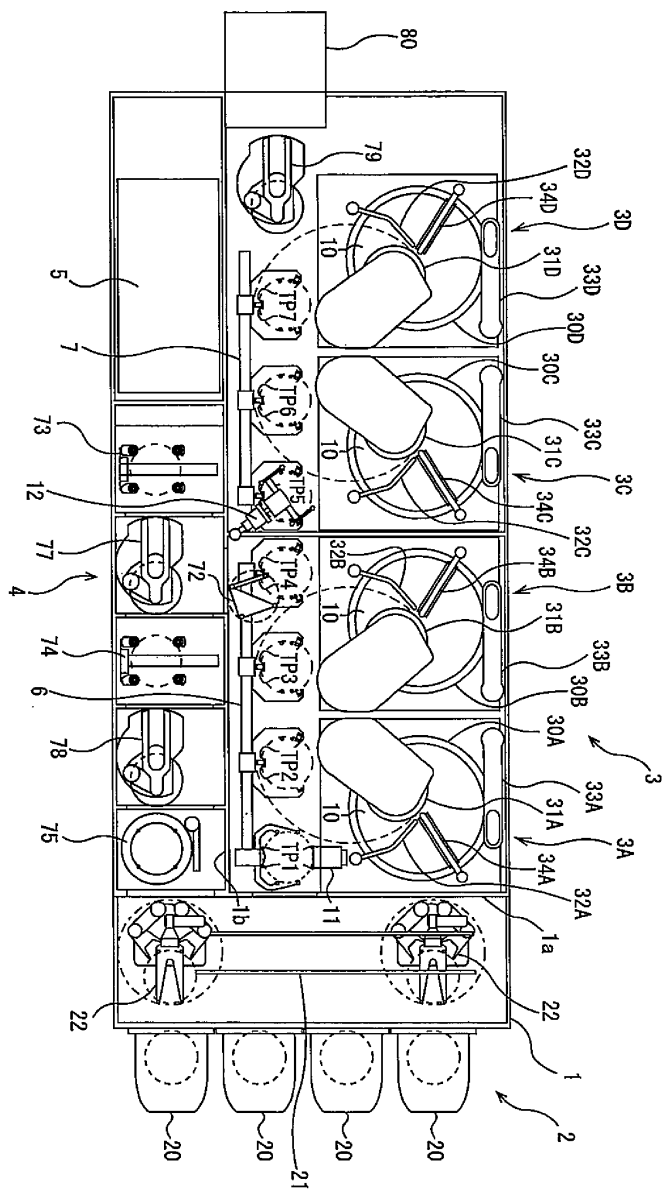


도면2

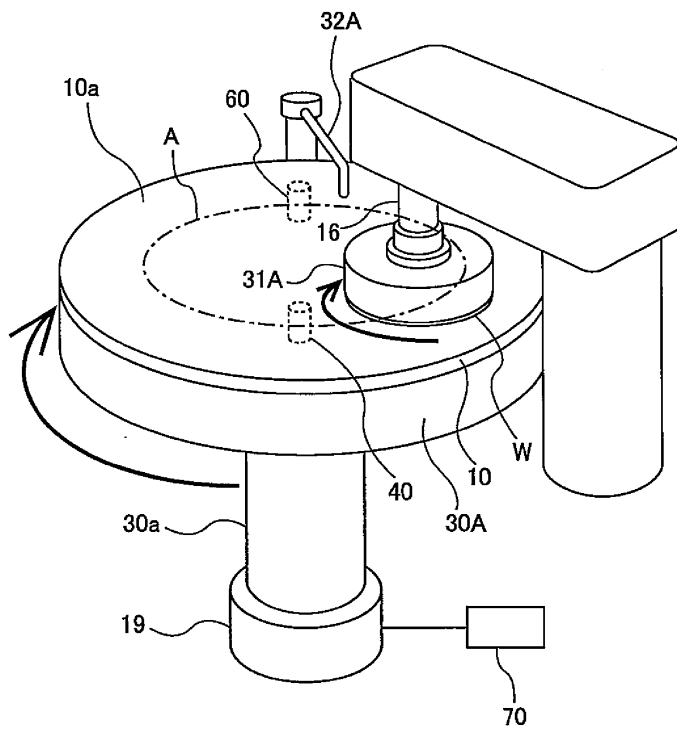




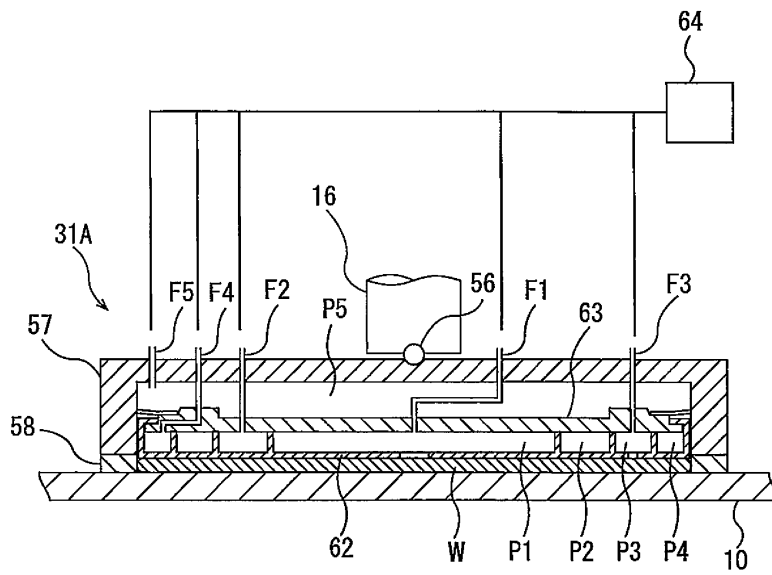
도면3



도면4

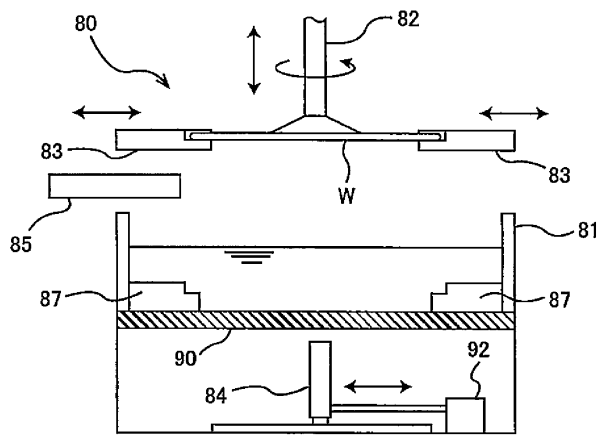


도면5

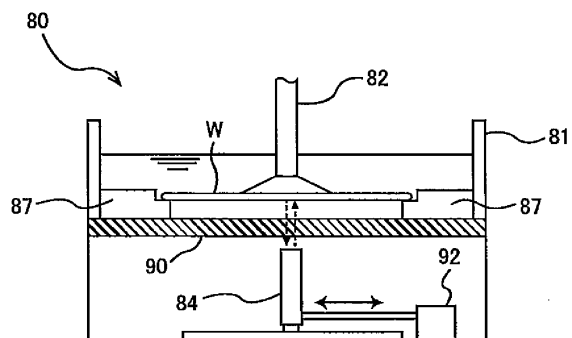


도면6

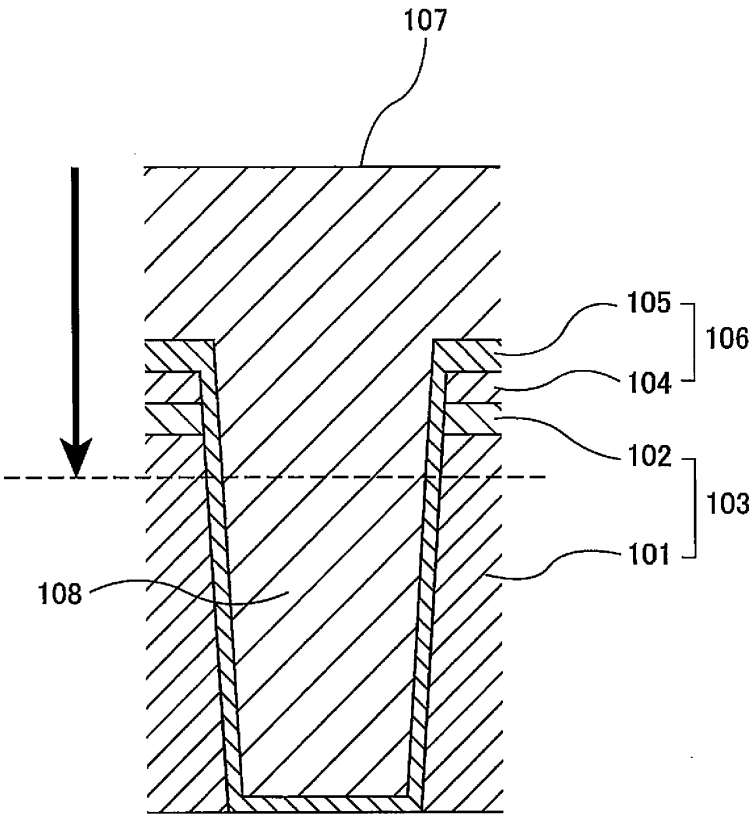
(a)



(b)

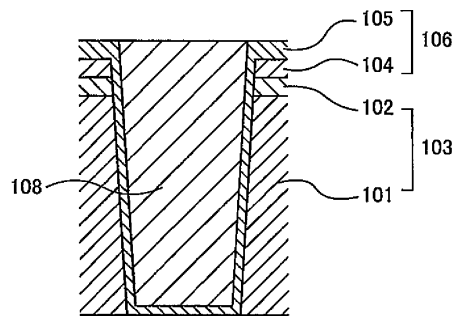


도면7

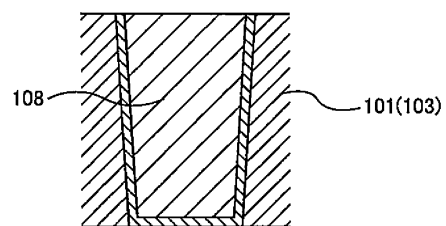


도면8

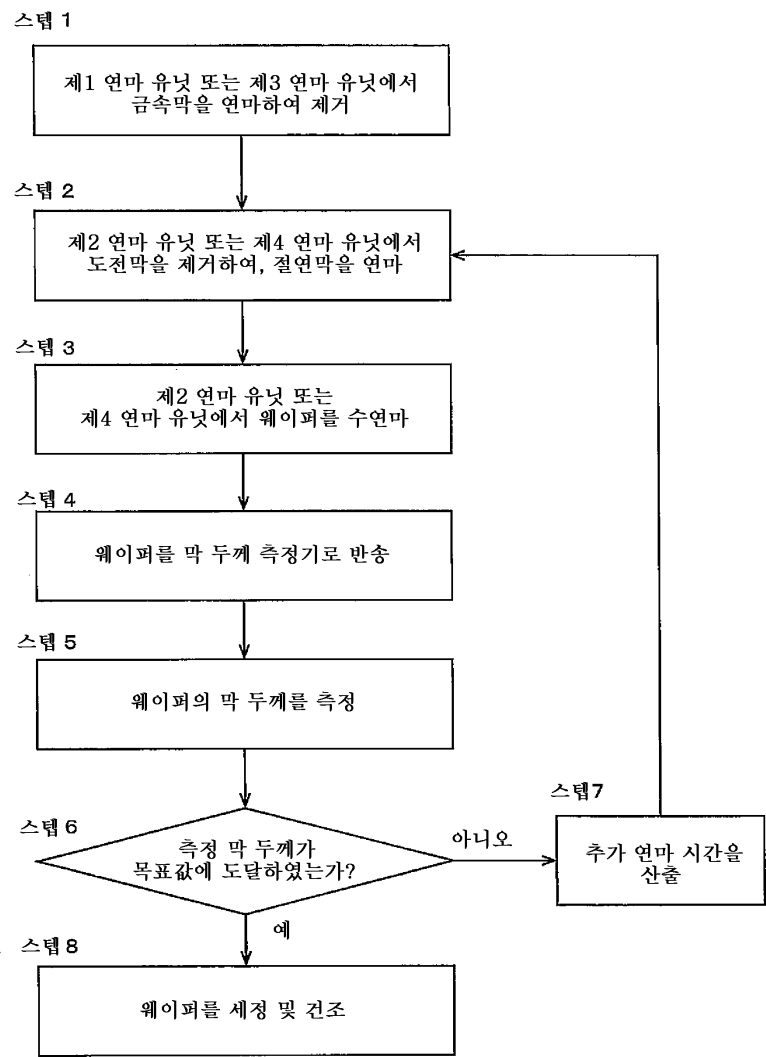
(a)



(b)



도면9

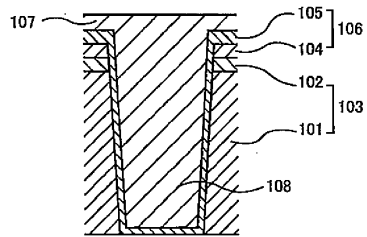




도면10

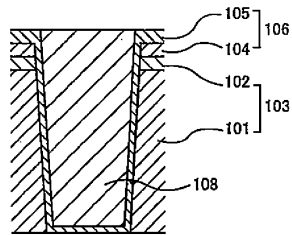
(a)

구리막(107)을 연마



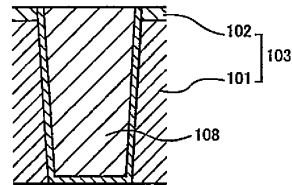
(b)

구리막(107)을 제거



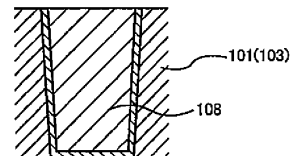
(c)

배리어막(105)을 제거  
+  
제2 하드 마스크막(104)을 제거

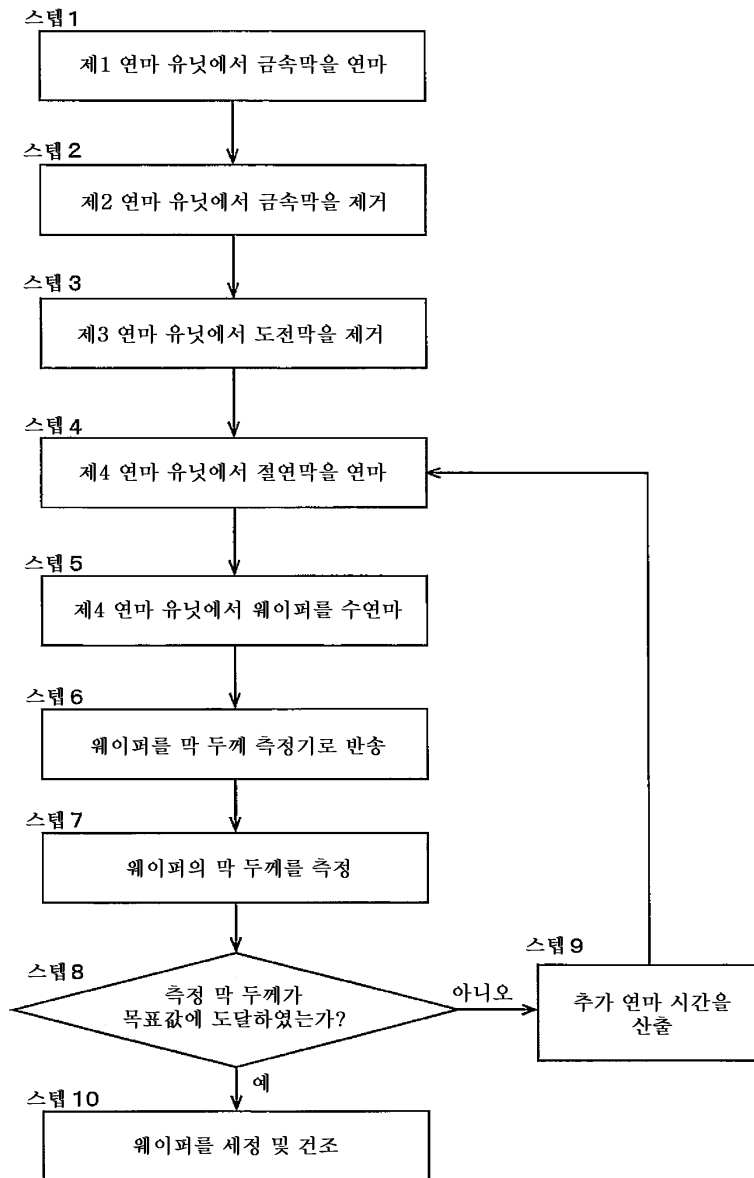


(d)

제1 하드 마스크막(102)을 제거  
+  
층간 절연막(101)을 연마

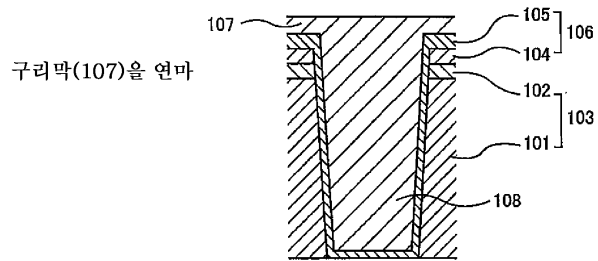


도면11

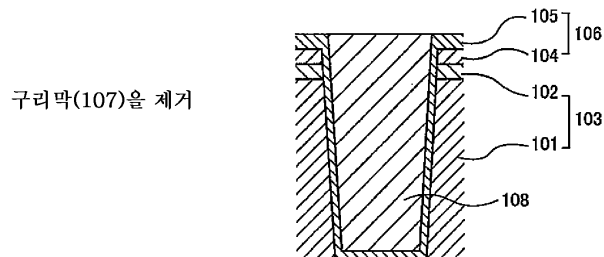


도면12

(a)

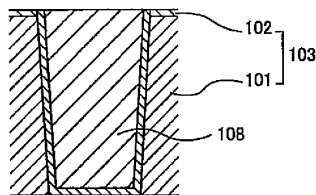


(b)



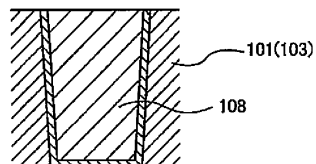
(c)

배리어막(105)을 제거  
+  
제2 하드 마스크막(104)을 제거  
+  
제1 하드 마스크막(102)을 연마

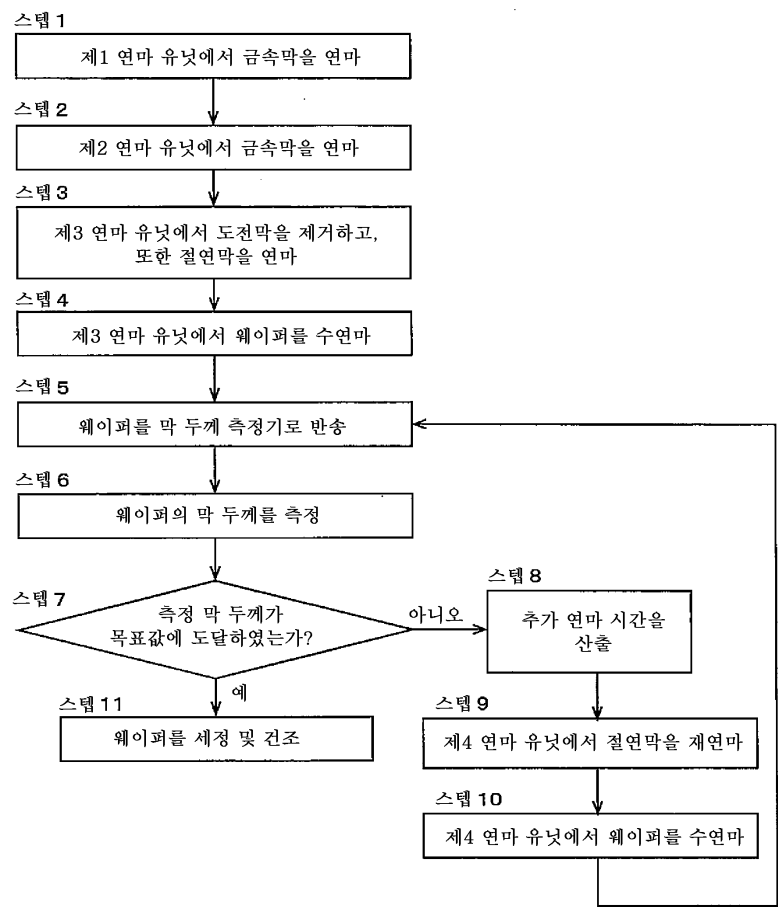


(d)

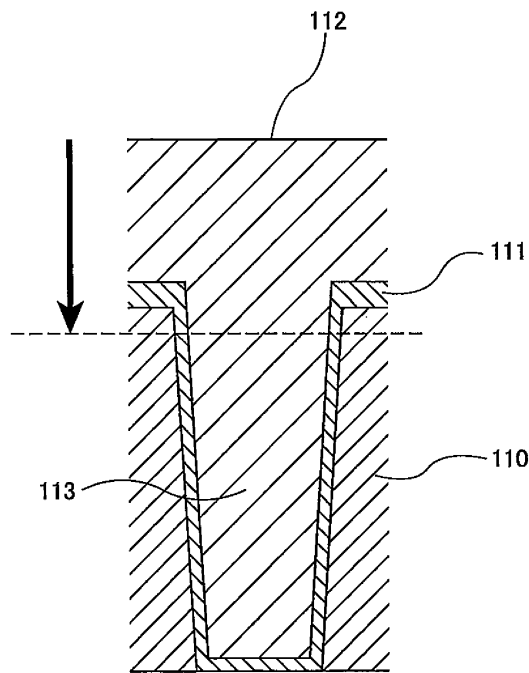
제1 하드 마스크막(102)을 제거  
+  
층간 절연막(101)을 연마



도면13

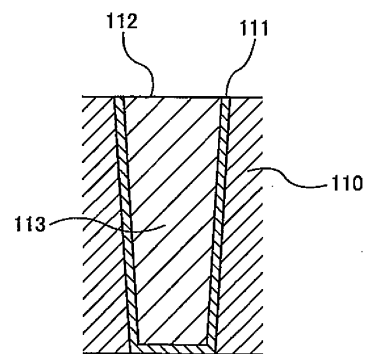


도면14

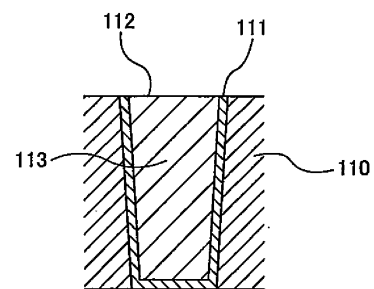


도면15

(a)

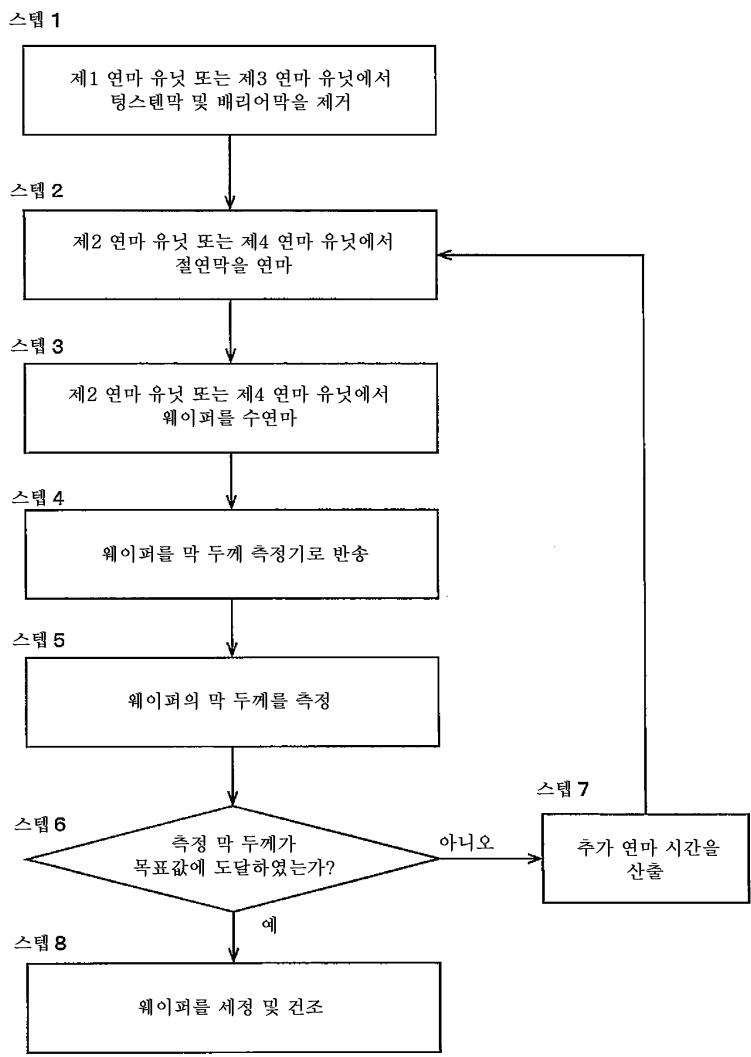


(b)

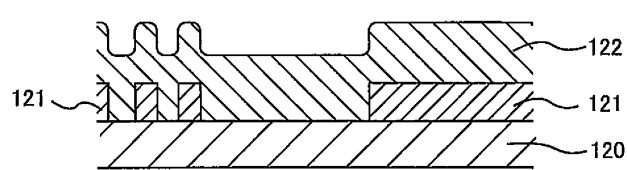




도면16

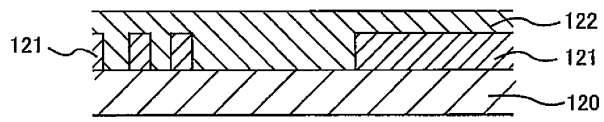


도면17

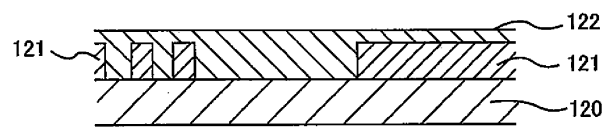


도면18

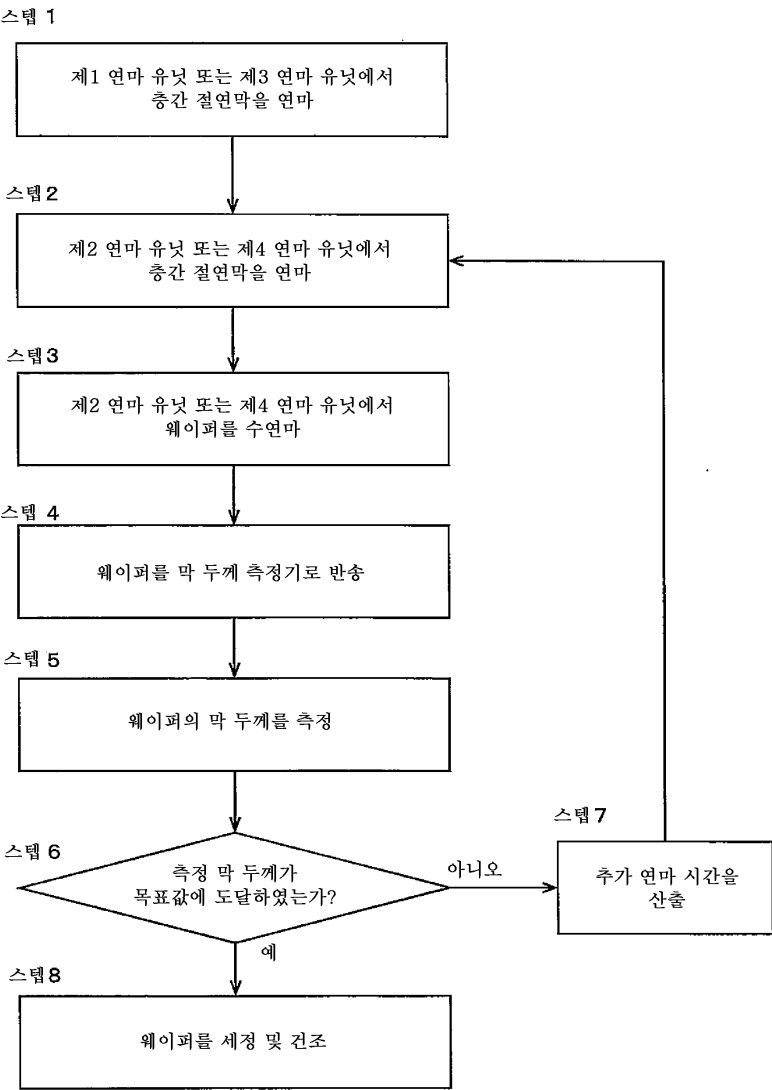
(a)



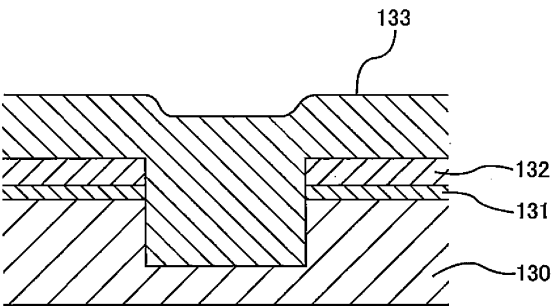
(b)



도면19

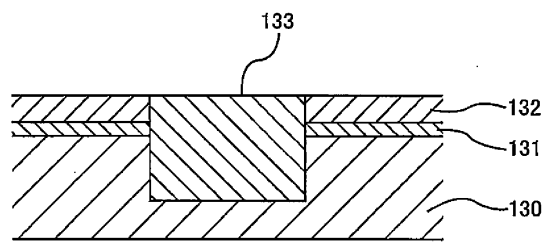


도면20

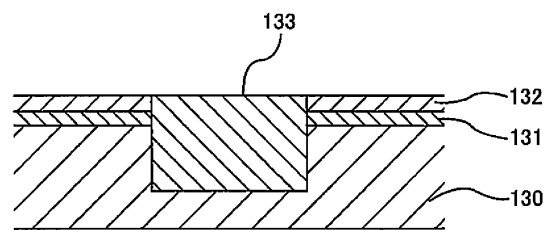


도면21

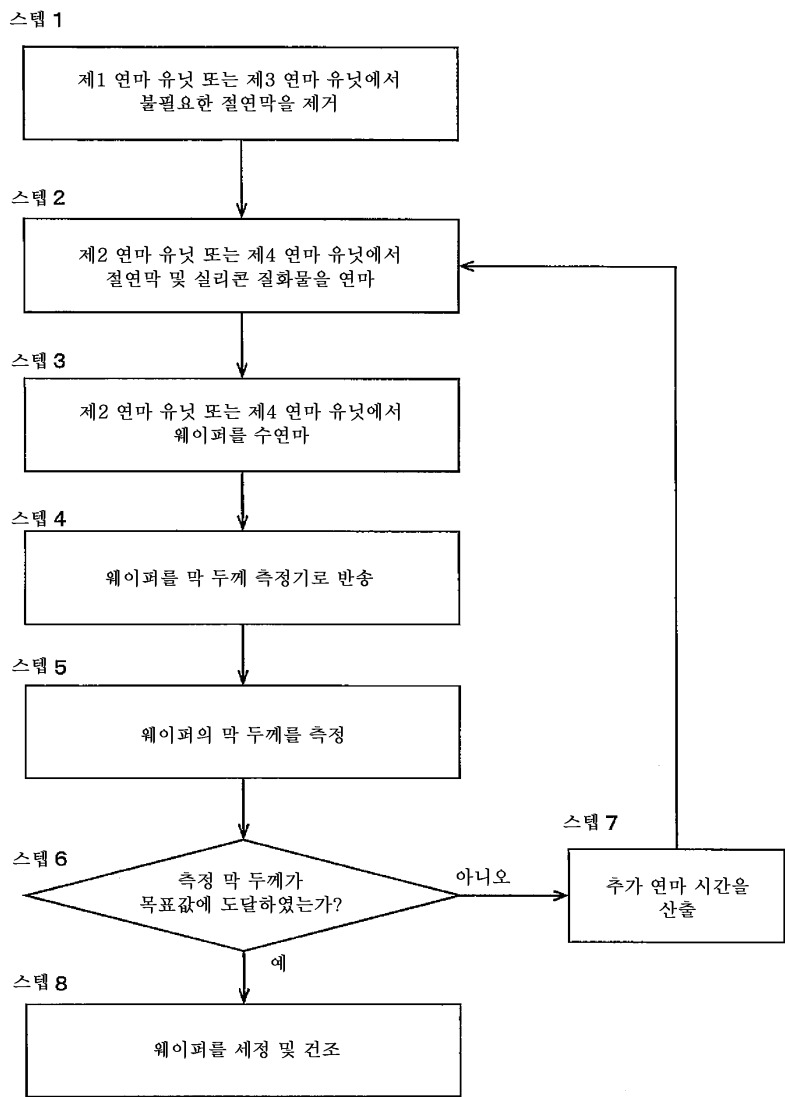
(a)



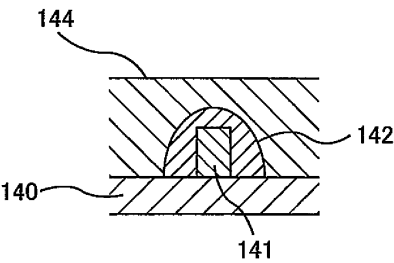
(b)



도면22



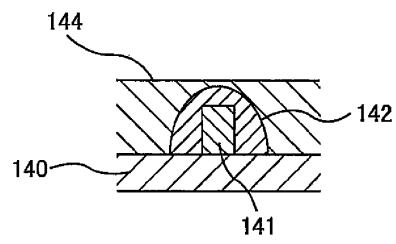
도면23



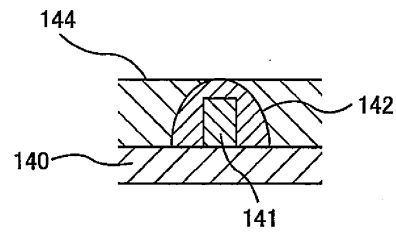


도면24

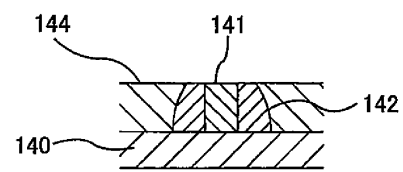
(a)



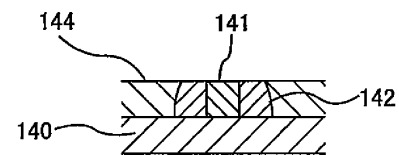
(b)



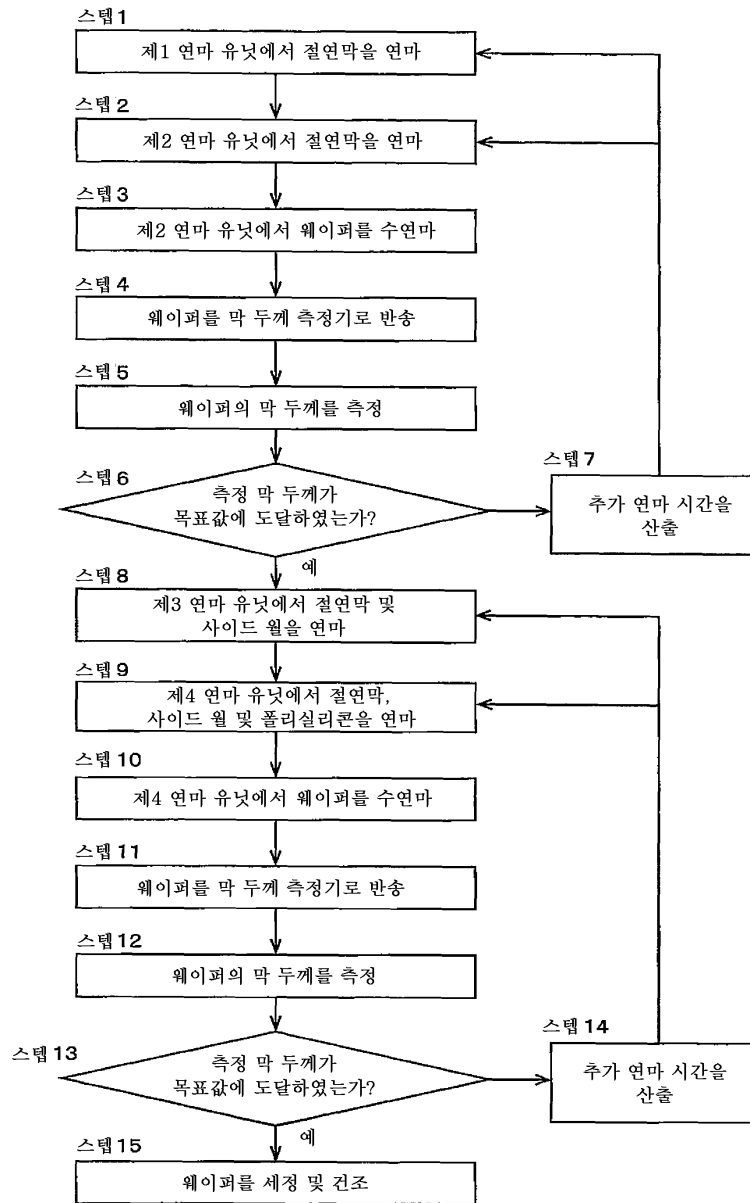
(c)



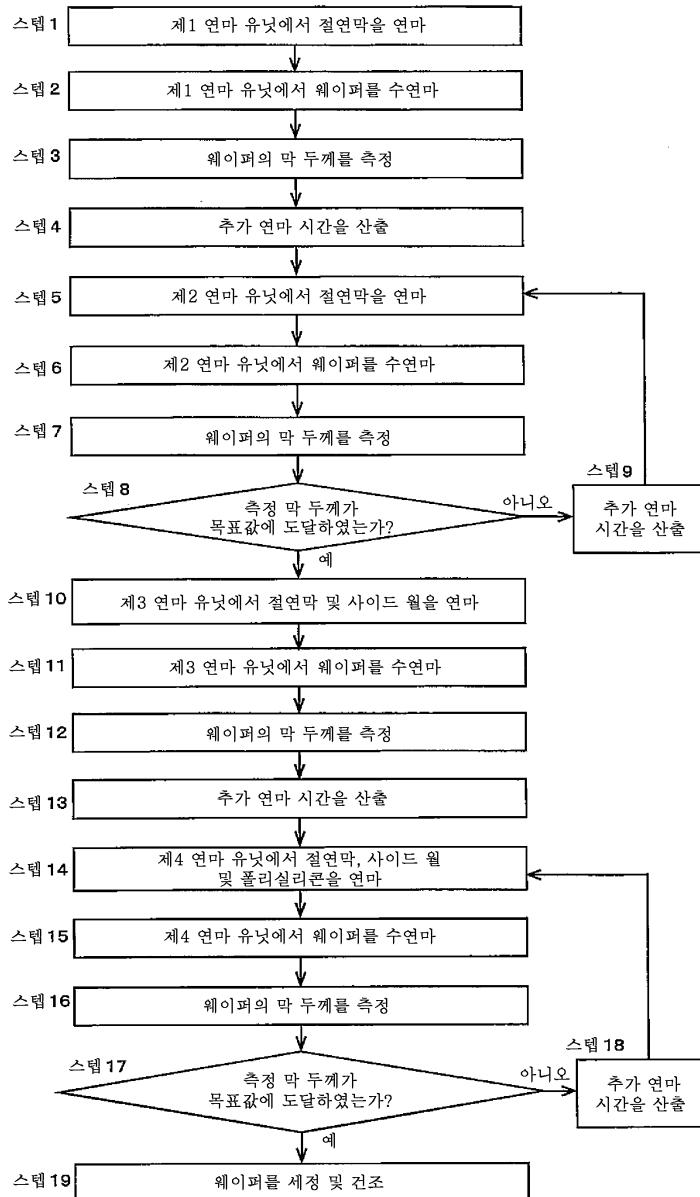
(d)



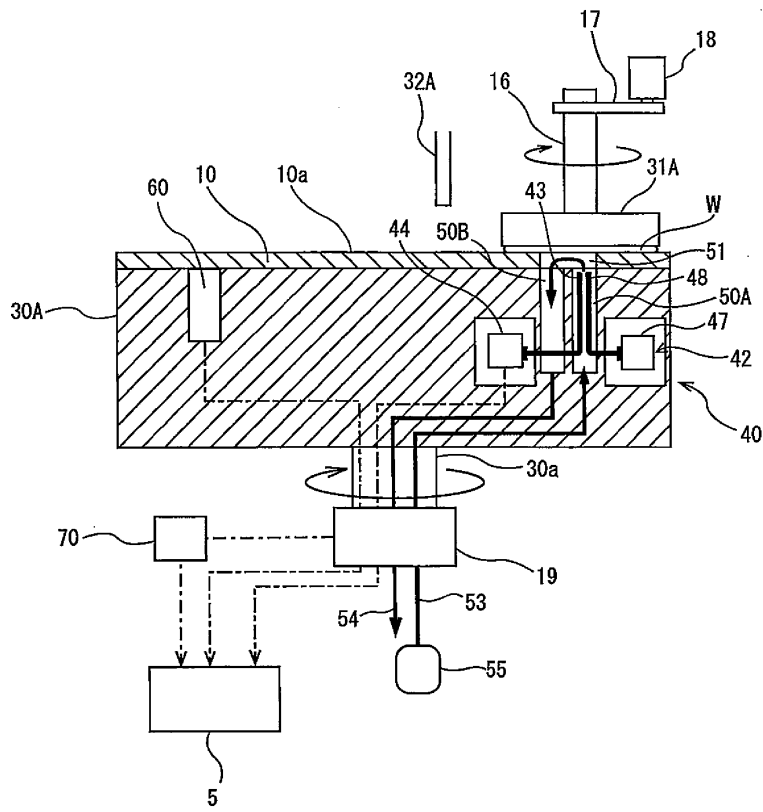
도면25



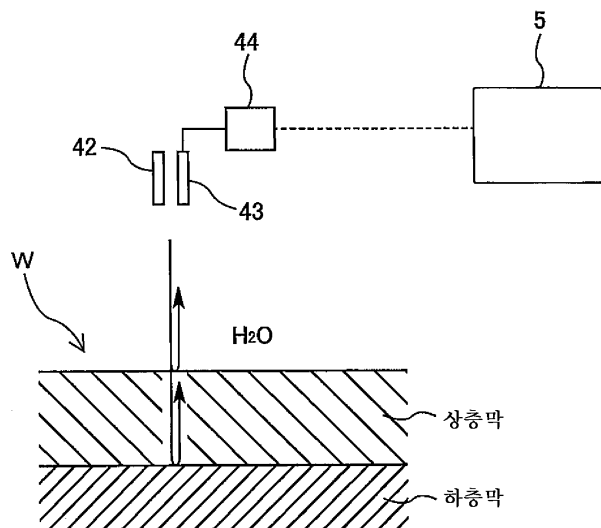
도면26



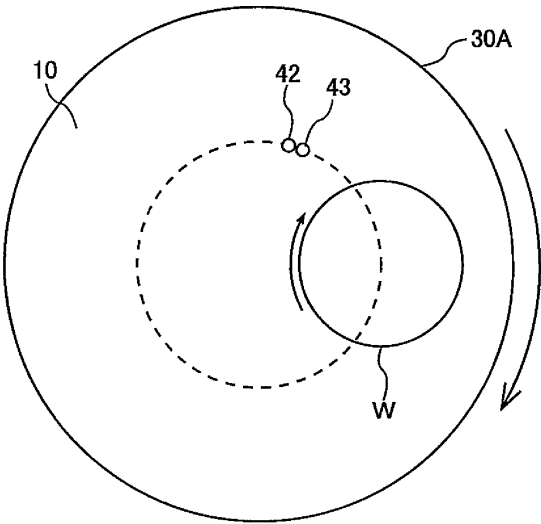
도면27



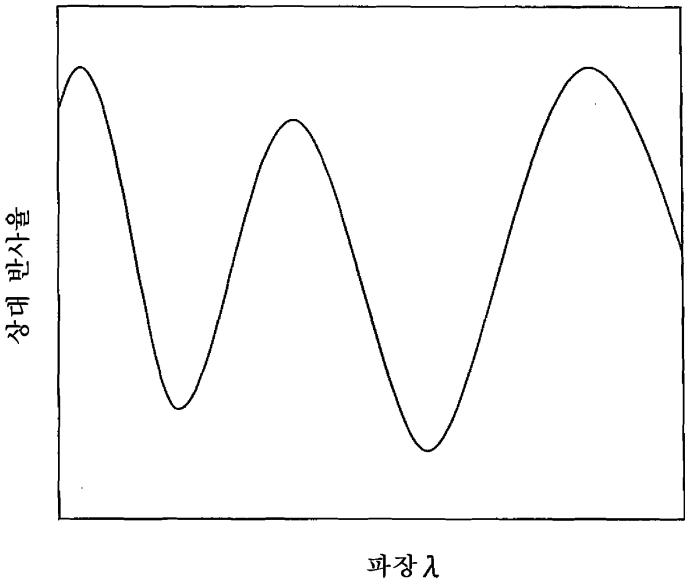
도면28



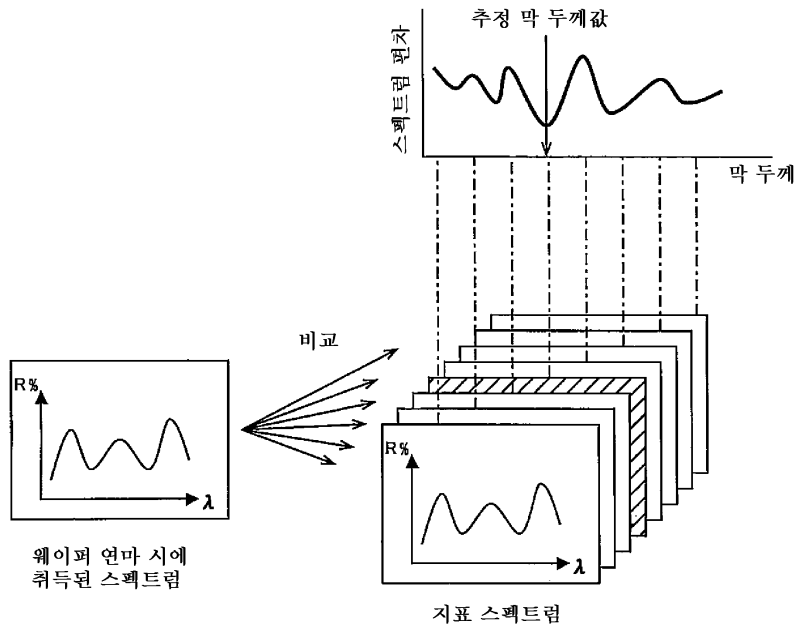
도면29



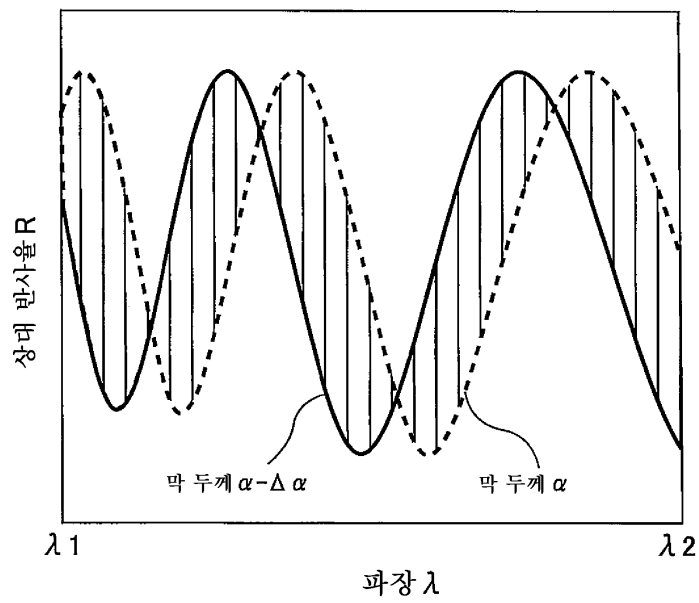
도면30



도면31

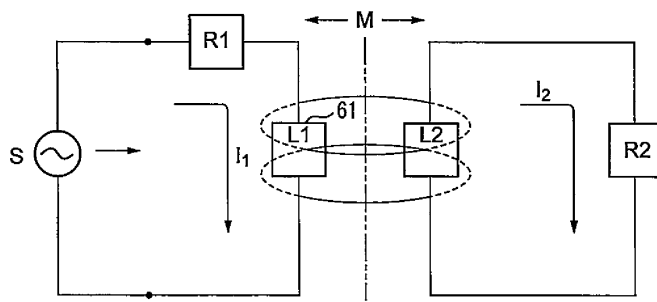


도면32

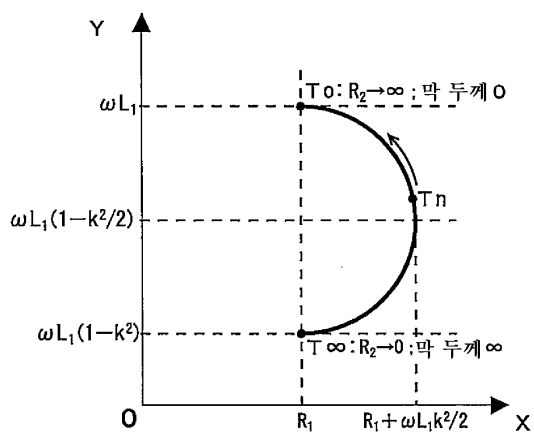




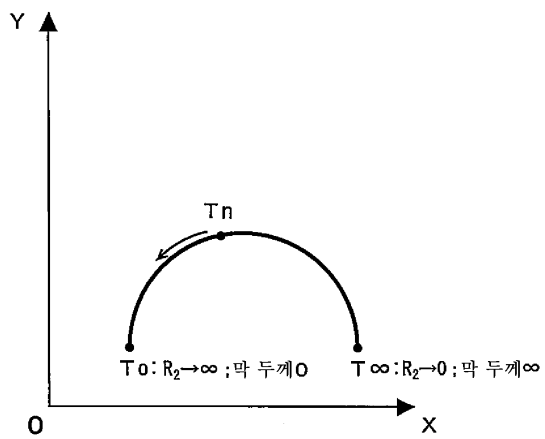
도면33



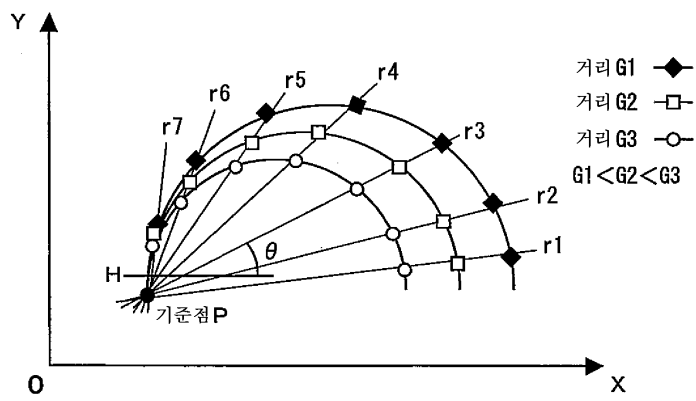
도면34



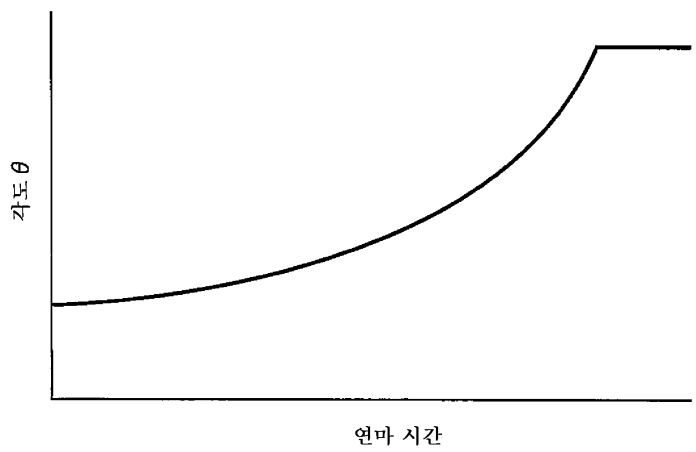
도면35



도면36



도면37



도면38

