(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년12월26일
(11) 등록번호 10-2481741
(24) 등록일자 2022년12월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H01L 21/3213* (2006.01) *H01L 21/02* (2006.01)
*H01L 21/3065* (2006.01) *H01L 21/311* (2006.01)
*H01L 21/324* (2017.01)
(52) CPC특허분류
*H01L 21/32136* (2013.01)
*H01L 21/02205* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0039570
(22) 출원일자 2019년04월04일
심사청구일자 2022년01월04일
(65) 공개번호 10-2019-0116933
(43) 공개일자 2019년10월15일
(30) 우선권주장
JP-P-2018-073189 2018년04월05일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP2007305892 A
JP2016131238 A

(73) 특허권자
**도쿄엘렉트론가부시키가이샤**
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5쵸메 3반 1고
(72) 발명자
**나가토모 유**
중국 201203 상하이 장지앙 하이-테크 파크 가오 시 로드 넘버 555 도쿄 엘렉트론 (상하이) 가부시키가이샤 나이
**가토 다카히코**
일본 981-3629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈 1 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키가이샤 나이
(74) 대리인
**김태홍, 김진희**

전체 청구항 수 : 총 18 항 심사관 : 박중현

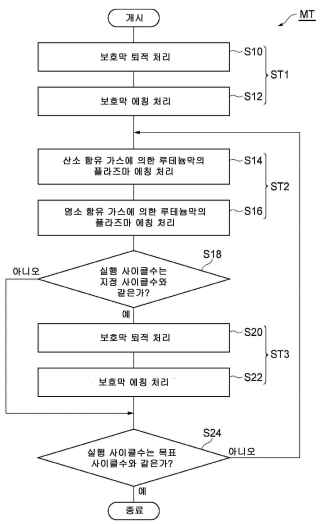
(54) 발명의 명칭 **피가공물의 처리 방법**

## (57) 요 약

루테늄막에서의 에칭률의 면내의 편차와 면내 방향에서의 루테늄막의 형상의 편차를 억제할 수 있는 처리 방법을 제공한다.

처리 방법은 플라즈마 처리에 의해 루테늄막을 에칭하는 공정과, 원자 퇴적법에 따라 피가공물에 보호막을 형성하는 공정이고, 보호막은 마스크의 측벽면을 따라 연장되는 제1 영역 및 루테늄막 상으로 연장되는 제2 영역을 포함하는, 공정과, 제1 영역을 남기면서 제2 영역을 제거하도록 보호막을 에칭하는 공정을 포함하고, 루테늄막을 에칭하는 공정은 산소 함유 가스를 이용한 플라즈마 처리에 의해 루테늄막을 에칭하는 제1 공정과, 염소 함유 가스를 이용한 플라즈마 처리에 의해 루테늄막을 에칭하는 제2 공정을 포함하고, 제1 공정과 제2 공정은 교대로 실행된다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*H01L 21/0228* (2013.01)
*H01L 21/3065* (2013.01)
*H01L 21/31116* (2013.01)
*H01L 21/324* (2013.01)

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

루테늄막과, 상기 루테늄막 상의 마스크를 포함하는 피가공물의 처리 방법에 있어서,

산소 함유 가스로부터 생성된 플라즈마에 의해, 상기 루테늄막의 표면에서 휘발성의 루테늄 산화물을 생성하고 상기 루테늄막의 표면에 불휘발성의 루테늄 산화물을 형성하는 제1 공정으로서, 상기 휘발성의 루테늄 산화물이 휘발됨으로써 상기 루테늄막의 표면으로부터 상기 휘발성의 루테늄 산화물이 제거되는 것인, 상기 제1 공정과,

염소 함유 가스로부터 생성된 플라즈마에 의해, 상기 루테늄막의 표면에서 상기 불휘발성의 루테늄 산화물로부터 휘발성의 루테늄 염화물을 생성하고 상기 루테늄막의 표면에 불휘발성의 루테늄 염화물을 형성하는 제2 공정으로서, 상기 휘발성의 루테늄 염화물이 휘발됨으로써 상기 루테늄막의 표면으로부터 상기 휘발성의 루테늄 염화물이 제거되는 것인, 상기 제2 공정

을 포함하고,

상기 제1 공정 및 상기 제2 공정에서는 상기 피가공물이 배치되는 배치대에 고주파 전력이 공급되고,

상기 제1 공정과 상기 제2 공정은 교대로 실행되며,

상기 제2 공정 후의 상기 제1 공정은, 상기 산소 함유 가스로부터 생성된 플라즈마에 의해, 상기 루테늄막의 표면에서 상기 불휘발성의 루테늄 염화물로부터 상기 휘발성의 루테늄 염화물을 생성하는 공정으로서, 상기 휘발성의 루테늄 염화물이 휘발됨으로써 상기 루테늄막의 표면으로부터 상기 휘발성의 루테늄 염화물이 제거되는 것인, 상기 공정을 포함하는 것인, 피가공물의 처리 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제1 공정은, 루테늄과 산소의 반응이 포화될 때까지 계속해서 실행되고,

상기 제2 공정은 루테늄과 염소의 반응이 포화될 때까지 계속해서 실행되는 것인, 피가공물의 처리 방법.

### 청구항 3

제1항에 있어서, 원자 증착법에 의해 상기 마스크의 측벽면을 따라 연장되는 제1 영역 및 상기 루테늄막 상으로 연장되는 제2 영역을 포함하는 보호막을 형성하는 공정과,

상기 보호막의 상기 제1 영역을 남기면서 상기 보호막의 상기 제2 영역을 제거하는 공정

을 포함하는, 피가공물의 처리 방법.

### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 보호막은 금속막, 산화막, 질화막 및 유기막으로 이루어지는 군에서 선택된 막인 것인, 피가공물의 처리 방법.

### 청구항 5

제3항에 있어서, 상기 보호막을 형성하는 상기 공정은,

상기 피가공물 상에 상기 보호막의 원료를 함유하는 전구체를 퇴적시키기 위해, 상기 보호막의 상기 원료를 함유하는 전구체 가스를 상기 피가공물에 공급하는 공정과,

상기 피가공물 상의 상기 전구체에 활성종을 공급하기 위해 플라즈마를 생성하는 공정을 각각이 포함하는 복수회의 사이클을 실행하는 것인, 피가공물의 처리 방법.

### 청구항 6

제3항에 있어서, 상기 보호막은 유기막이고,

상기 보호막을 형성하는 상기 공정은,

상기 피가공물 상에 전자 공여성의 치환기를 포함하는 가스를 공급하는 공정과,

상기 피가공물 상에 전자 흡인성의 치환기를 포함하는 가스를 공급하는 공정을 각각이 포함하는 복수회의 사이클을 실행하는 것인, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 7**

제3항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 마스크의 치수의 면내 분포 데이터를 취득하는 공정과,

상기 보호막의 퇴적량과 상기 피가공물의 온도와의 미리 취득된 관계와, 상기 마스크의 치수의 면내 분포 데이터에 기초하여, 상기 마스크의 치수가 설계값이 되도록, 상기 피가공물의 각 위치에서의 목표 온도를 결정하는 공정

을 포함하고,

상기 보호막을 형성하는 공정에서는, 상기 결정된 상기 피가공물의 각 위치에서의 목표 온도가 되도록 상기 피가공물의 온도 분포를 제어하는 것인, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 8**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 루테늄막의 두께의 면내 분포 데이터를 취득하는 공정과,

상기 제1 공정과 상기 제2 공정을 세트로 한 1 사이클당의 에칭량과 상기 피가공물의 온도와 각 공정의 처리 시간과의 미리 취득된 관계와, 상기 루테늄막의 두께의 상기 면내 분포 데이터와, 상기 각 공정의 목표 처리 시간에 기초하여, 상기 루테늄막의 두께가 평탄해지도록, 상기 피가공물의 각 위치의 목표 온도를 결정하는 공정

을 포함하고,

상기 제1 공정의 목표 처리 시간은 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하인 것, 또는, 상기 제2 공정의 목표 처리 시간은 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하인 것 중 적어도 하나이고,

상기 제1 공정 및 상기 제2 공정에서는, 상기 결정된 상기 피가공물의 각 위치에서의 목표 온도가 되도록 상기 피가공물의 온도 분포를 제어하는 것인, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 9**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 공정과 상기 제2 공정을 세트로 한 1 사이클당의 에칭량과 상기 피가공물의 온도와 각 공정의 처리 시간과의 관계를 취득하는 공정과,

상기 관계와, 상기 관계에 대응하는 온도 범위로 설정된 목표 온도에 기초하여, 상기 각 공정의 목표 처리 시간을 결정하는 공정

을 포함하고,

상기 제1 공정의 목표 처리 시간은 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이상으로 설정하는 것, 또는, 상기 제2 공정의 목표 처리 시간은 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이상으로 설정하는 것 중 적어도 하나인 것인, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 10**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 공정 또는 상기 제2 공정 중 적어도 하나의 공정 후에, 배기 공정을 포함하는, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 11**

제3항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 공정과 상기 제2 공정을 세트로 한 사이클의 실행 사이클수가, 상기 보호막을 형성하는 타이밍을 판정하기 위해 미리 정해진 임계값인 지정 사이클수와 같은지의 여부를 판정하는 공정을 포함하는, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 12**

제11항에 있어서, 상기 실행 사이클수가 상기 지정 사이클수와 같은지의 여부를 판정하는 공정에서, 상기 실행 사이클수가 상기 지정 사이클수와 같다고 판정한 경우에, 상기 보호막을 형성하는 공정을 실행하는 것인, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 13**

제11항에 있어서, 상기 실행 사이클수가 상기 지정 사이클수와 같은지의 여부를 판정하는 공정에서, 상기 실행 사이클수가 상기 지정 사이클수와 같지 않다고 판정한 경우에, 또는, 상기 보호막을 형성하는 공정의 실행 후에, 상기 실행 사이클수가 미리 설정된 목표 사이클수와 같은지의 여부를 판정하는 공정을 더 포함하는, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 14**

제13항에 있어서, 상기 실행 사이클수가 상기 목표 사이클수와 같은지의 여부를 판정하는 공정에서, 상기 실행 사이클수가 상기 목표 사이클수와 같다고 판정한 경우에는, 상기 처리 방법을 종료하고, 상기 실행 사이클수가 상기 목표 사이클수와 같지 않다고 판정한 경우에는, 상기 루테늄막을 에칭하는 공정 및 상기 실행 사이클수가 상기 지정 사이클수와 같은지의 여부를 판정하는 공정을 재차 실행하는 것인, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 15**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 공정과 상기 제2 공정을 세트로 한 1 사이클당의 에칭량과 상기 피가공물의 온도와 각 공정의 처리 시간과의 관계를 취득하는 공정과,

상기 관계에 기초하여, 상기 각 공정의 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정하는 공정

을 포함하는, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 16**

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 공정과 상기 제2 공정을 세트로 한 1 사이클당의 에칭량과 상기 피가공물의 온도와 각 공정의 처리 시간과의 관계를 취득하는 공정과,

상기 루테늄막의 두께의 면내 분포 데이터를 취득하는 공정과,

상기 관계와, 상기 면내 분포 데이터에 기초하여, 상기 각 공정의 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정하는 공정

을 포함하는, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 17**

루테늄막과, 상기 루테늄막 상의 마스크를 포함하는 피가공물의 처리 방법에 있어서,

산소 함유 가스로부터 생성된 플라즈마에 의해 상기 루테늄막을 에칭하는 제1 공정과,

염소 함유 가스로부터 생성된 플라즈마에 의해 상기 루테늄막을 에칭하는 제2 공정

을 포함하고,

상기 제1 공정과 상기 제2 공정은 교대로 실행되고, 상기 제1 공정 및 상기 제2 공정에서 상기 피가공물을 배치하는 배치대에 고주파 전력이 공급되고,

상기 제1 공정은, 루테늄과 산소의 반응이 포화될 때까지 실행되고,

상기 제2 공정은, 루테늄과 염소의 반응이 포화될 때까지 실행되는 것인, 피가공물의 처리 방법.

**청구항 18**

제17항에 있어서, 상기 제1 공정 및 상기 제2 공정에서는, 상기 피가공물의 복수 위치에서의 온도를 각각 제어하는 것인, 피가공물의 처리 방법.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 개시는 피가공물의 처리 방법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 전자 디바이스의 제조에서는, 루테늄(Ru)으로 형성된 루테늄막을 에칭하는 처리가 행해지는 경우가 있다. 특허문헌 1은 루테늄막과, 루테늄막 상에 형성된 산화실리콘($SiO_2$)으로 이루어지는 마스크를 갖는 피가공물을 에칭하는 방법을 개시한다. 이 방법은 산소($O_2$)와 염소($Cl_2$)를 포함하는 혼합 가스의 플라즈마를 이용하여 루테늄막을 에칭한다.

### *선행기술문헌*

#### *특허문헌*

[0003] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 특허 공개 평성8-78396호 공보

## *발명의 내용*

### *해결하려는 과제*

[0004] 특허문헌 1에 기재된 방법에서는, 혼합 가스의 플라즈마를 이용하고 있기 때문에, 루테늄막의 에칭률은, 반응종 및 이온의 플럭스 또는 에너지에 의존하여 면내에서 증감하는 경우가 있다. 또한, 에칭의 진행에 따라, 마스크의 형상이 변화할 우려가 있다. 본 개시는 루테늄막에서의 에칭률의 면내의 편차와 면내 방향에서의 루테늄막의 형상의 편차를 억제할 수 있는 기술을 제공한다.

### *과제의 해결 수단*

[0005] 일측면에서는 피가공물의 처리 방법이 제공된다. 피가공물은 루테늄막과, 루테늄막 상에 마련된 마스크를 갖는다. 처리 방법은 플라즈마 처리에 의해 루테늄막을 에칭하는 공정과, 원자 퇴적법에 따라 피가공물에 보호막을 형성하는 공정과, 보호막을 에칭하는 공정을 포함한다. 보호막은 마스크의 측벽면을 따라 연장되는 제1 영역 및 루테늄막 상으로 연장되는 제2 영역을 포함한다. 보호막을 에칭하는 공정에서는, 제1 영역을 남기면서 제2 영역을 제거하도록 보호막을 에칭한다. 루테늄막을 에칭하는 공정은 제1 공정 및 제2 공정을 포함한다. 제1 공정에서는, 산소 함유 가스를 이용한 플라즈마 처리에 의해 루테늄막을 에칭한다. 제2 공정에서는, 염소 함유 가스를 이용한 플라즈마 처리에 의해 루테늄막을 에칭한다. 제1 공정과 제2 공정은 교대로 실행된다.

[0006] 이 처리 방법에 따르면, 산소 함유 가스와 염소 함유 가스를 교대로 나누어 사용하여 루테늄막을 에칭하기 때문에, 에칭률이 혼합 가스의 플라즈마의 분포에 의존하는 것을 회피할 수 있다. 따라서, 이 처리 방법은 에칭률의 면내의 편차를 억제할 수 있다. 또한, 이 처리 방법에 따르면, 마스크 및 루테늄막의 표면 상에, 원자 퇴적법에 따라 보호막이 형성된다. 그리고, 제1 영역이 남겨지도록 보호막이 에칭된다. 이에 의해, 에칭에 따른 마스크의 형상 변화를 보호막에 의해 보충할 수 있다. 또한, 보호막의 제1 영역이 마스크의 측벽면을 따라 마련되기 때문에, 루테늄막의 플라즈마 에칭에 대하여 보다 강고한 마스크가 제공된다. 따라서, 이 처리 방법은 면내 방향에서의 루테늄막의 형상의 편차를 억제할 수 있다.

[0007] 일실시형태에서는, 보호막은 금속막, 산화막, 질화막 및 유기막으로 이루어지는 군에서 선택된 막이어도 좋다.

이 경우, 보호막이 원자 퇴적법에 따라 성막될 수 있다.

[0008] 일실시형태에서는, 보호막을 형성하는 공정은, 전구체 가스를 공급하는 공정과, 플라즈마를 생성하는 공정을 각각이 포함하는 복수회의 사이클을 실행하여도 좋다. 전구체 가스를 공급하는 공정에서는, 피가공물 상에 보호막의 원료를 함유하는 전구체를 퇴적시키기 위해, 원료를 함유하는 전구체 가스를 피가공물에 공급한다. 플라즈마를 생성하는 공정에서는, 피가공물 상의 전구체에 활성종을 공급하기 위해 플라즈마를 생성한다. 이 경우, 전구체의 퇴적과, 전구체와 활성종의 반응이 반복해서 실행됨으로써, 마스크 및 루테늄막의 표면 상에 보호막이 형성된다.

[0009] 일실시형태에서는, 처리 방법은, 마스크의 치수의 면내 분포 데이터를 취득하는 공정과, 피가공물의 각 위치에서의 목표 온도를 결정하는 공정을 포함하여도 좋다. 목표 온도를 결정하는 공정에서는, 보호막의 퇴적량과 피가공물의 온도의 미리 취득된 관계와, 마스크의 치수의 면내 분포 데이터에 기초하여, 마스크의 치수가 설계값이 되도록, 피가공물의 각 위치에서의 목표 온도를 결정한다. 보호막을 형성하는 공정에서는, 결정된 피가공물의 각 위치에서의 목표 온도가 되도록 피가공물의 온도 분포를 제어한다.

[0010] 전구체의 퇴적과, 전구체와 활성종의 반응에 의해 실현되는 보호막의 퇴적량은, 피가공물의 온도의 증감에 따라 변화한다. 즉, 피가공물의 온도를 파라미터로 하여 면내 위치마다 보호막의 퇴적 레이트를 변경할 수 있다. 이 때문에, 이 처리 방법에 따르면, 에칭에 따른 마스크의 형상 변화에 기인한 루테늄막의 형상의 편차를 억제하는 것뿐만 아니라, 마스크의 초기 형상에 기인한 루테늄막의 형상의 편차를 억제할 수 있다.

[0011] 일실시형태에서는, 처리 방법은, 루테늄막의 두께의 면내 분포 데이터를 취득하는 공정과, 피가공물의 각 위치에서의 목표 온도를 결정하는 공정을 포함하여도 좋다. 결정하는 공정에서는, 제1 공정과 제2 공정을 세트로 한 1 사이클당의 에칭량과 피가공물의 온도와 각 공정의 처리 시간의 미리 취득된 관계와, 루테늄막의 두께의 면내 분포 데이터와, 각 공정의 목표 처리 시간에 기초하여, 루테늄막의 두께가 평탄해지도록, 피가공물의 각 위치의 목표 온도를 결정한다. 제1 공정의 목표 처리 시간은 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하이고, 그리고/또는, 제2 공정의 목표 처리 시간은 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하이다. 제1 공정 및 제2 공정에서는, 결정된 피가공물의 각 위치에서의 목표 온도가 되도록 피가공물의 온도 분포를 제어한다.

[0012] 제1 공정의 목표 처리 시간을 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하로 하고, 그리고/또는, 제2 공정의 목표 처리 시간을 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하로 한 경우, 1 사이클당의 에칭량은 피가공물의 온도 및 각 공정의 처리 시간의 증감에 따라 변화한다. 즉, 각 공정의 목표 처리 시간이 상기 범위 내로 결정됨으로써, 피가공물의 온도를 파라미터로 하여 면내 위치마다 루테늄막의 에칭률을 변경할 수 있다. 이 때문에, 이 처리 방법에 따르면, 에칭률의 면내 균일성을 양호하게 유지하는 것뿐만 아니라, 루테늄막의 초기 막두께의 불균일에 기인하는 에칭 후의 잔막 두께의 면내 균일성의 저하를 억제할 수 있다.

## 발명의 효과

[0013] 이상 설명한 바와 같이, 루테늄막에서의 에칭률의 면내의 편차와 면내 방향에서의 루테늄막의 형상의 편차를 억제할 수 있는 피가공물의 처리 방법이 제공된다.

## 도면의 간단한 설명

[0014] 도 1은 일실시형태에 따른 처리 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 2는 도 1에 나타내는 처리 방법이 적용될 수 있는 일례의 피가공물의 단면도이다.

도 3은 도 1에 나타내는 처리 방법의 실행에 이용하는 것이 가능한 플라즈마 처리 장치를 예시하는 도면이다.

도 4의 (a)는 초기 상태의 피가공물의 일례이다. 도 4의 (b)는 피가공물 상의 보호막을 설명하는 도면이다. 도 4의 (c)는 보호막의 제거를 설명하는 도면이다.

도 5의 (a)는 에칭을 위해 준비된 피가공물의 일례이다. 도 5의 (b)는 에칭된 피가공물의 일례이다. 도 5의 (c)는 보호막을 형성한 피가공물의 일례이다. 도 5의 (d)는 보호막의 일부가 에칭된 피가공물의 일례이다.

도 6은 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 Ru 에칭량의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 7의 (a)는 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 불휘발성 산화물의 표면 피복률의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 7의 (b)는 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 휘발성 산화물의 생성량의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 7의 (c)는 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간

과 Ru 에칭량의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 8은 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 Ru 에칭량의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 9의 (a)는 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 불휘발성 염화물의 표면 피복률의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 9의 (b)는 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 휘발성 염화물의 생성량의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 9의 (c)는 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 Ru 에칭량의 관계를 나타내는 그래프이다.

도 10은 에칭의 원리를 설명하는 개념도이다.

도 11은 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정하는 방법의 일례를 나타내는 흐름도이다.

도 12는 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정하는 방법의 다른 예를 나타내는 흐름도이다.

도 13의 (a)는 루테늄막의 면내 분포 데이터를 설명하는 도면이다. 도 13의 (b)는 루테늄막의 위치마다의 목표 에칭률을 설명하는 도면이다. 도 13의 (c)는 면내 분포 데이터에 기초하여 에칭된 루테늄막이다.

도 14는 각 공정의 처리 시간과 1 사이클당의 에칭량의 관계를 나타내는 실험 결과이다.

도 15는 웨이퍼의 온도와 산화막의 막 두께의 관계를 나타내는 실험 결과이다.

도 16은 텅스텐막의 막 두께 측정 부분을 나타내는 도면이다.

도 17은 텅스텐막의 막 두께 측정 결과를 나타내는 그래프이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0015] 이하, 도면을 참조하여 여러 가지의 실시형태에 대해서 상세하게 설명한다. 각 도면에서 동일 또는 상당하는 부분에 대해서는 동일한 부호를 붙인다.

[0016] (처리 방법의 개요)

[0017] 도 1은 일실시형태에 따른 처리 방법을 나타내는 흐름도이다. 도 1에 나타내는 처리 방법(이하, 「방법(MT)」이라고 함)은 루테늄막을 에칭하기 위해 실행된다. 루테늄막이란, 루테늄으로 형성된 막이다. 도 2는 방법(MT)이 적용될 수 있는 일례의 피가공물의 단면도이다. 도 2에 나타내는 피가공물(이하, 「웨이퍼(W)」라고 함)은 루테늄막(L2)을 갖는다. 루테늄막(L2)은 에칭 대상의 막이다. 루테늄막(L2)은 일례로서 하지층(L1) 상에 형성된다.

[0018] 웨이퍼(W)는 마스크(MK)를 더 갖는다. 마스크(MK)는 루테늄막(L2) 상에 마련되어 있다. 마스크(MK)는 일례로서 탄소를 함유하는 재료로 형성되어 있다. 마스크(MK)는 루테늄막(L2)과의 선택비가 큰 것이면, 특별히 한정되지 않는다. 마스크(MK)는 루테늄막(L2)의 표면을 부분적으로 노출시키고 있다. 방법(MT)에서는, 마스크(MK)의 패턴이 플라즈마에 의한 에칭에 의해 루테늄막(L2)에 전사된다.

[0019] 방법(MT)의 실행에는 플라즈마 처리 장치가 이용된다. 도 3은 방법(MT)의 실행에 이용하는 것이 가능한 일례의 플라즈마 처리 장치를 개략적으로 나타내는 도면이다. 도 3에 나타내는 바와 같이, 플라즈마 처리 장치(10)는 평행 평판의 전극을 구비하는 플라즈마 에칭 장치이며, 처리 용기(12)를 구비한다. 처리 용기(12)는 대략 원통 형상을 가지고 있으며, 처리 공간(Sp)을 획정한다. 처리 용기(12)는 예컨대 알루미늄으로 구성되어 있고, 그 내벽면에는 양극 산화 처리가 실시된다. 처리 용기(12)는 보안 접지된다.

[0020] 처리 용기(12)의 바닥부 상에는, 대략 원통형의 지지부(14)가 마련된다. 지지부(14)는 예컨대 절연 재료로 구성된다. 지지부(14)를 구성하는 절연 재료는, 석영과 같이 산소를 포함할 수 있다. 지지부(14)는 처리 용기(12) 내에서, 처리 용기(12)의 바닥부로부터 연직 방향으로 연장된다. 처리 용기(12) 내에는 배치대(PD)가 마련된다. 배치대(PD)는 지지부(14)에 의해 지지된다.

[0021] 배치대(PD)는 배치대(PD)의 상면에서 웨이퍼(W)를 유지한다. 웨이퍼(W)의 주면(FW)은 배치대(PD)의 상면에 접촉하는 웨이퍼(W)의 이면의 반대측에 있다. 웨이퍼(W)의 주면(FW)은 상부 전극(30)을 향하고 있다. 배치대(PD)는 하부 전극(LE) 및 정전 척(ESC)을 갖는다. 하부 전극(LE)은 제1 플레이트(18a) 및 제2 플레이트(18b)를 포함한다. 제1 플레이트(18a) 및 제2 플레이트(18b)는 예컨대 알루미늄이라고 하는 금속으로 구성되어 있고, 대략 원반 형상을 이루고 있다. 제2 플레이트(18b)는 제1 플레이트(18a) 상에 마련되어 있고, 제1 플레이트(18a)에 전기적으로 접속된다.

[0022] 제2 플레이트(18b) 상에는 정전 척(ESC)이 마련된다. 정전 척(ESC)은 도전막인 전극을, 한쌍의 절연층 사이, 또는 한쌍의 절연 시트 사이에 배치한 구조를 갖는다. 정전 척(ESC)의 전극에는 직류 전원(22)이 스위치(23)를 통해 전기적으로 접속된다. 웨이퍼(W)는 배치대(PD)에 배치되어 있는 경우에, 정전 척(ESC)에 접한다. 웨이퍼(W)의 이면[주면(FW)의 반대측의 면]은 정전 척(ESC)에 접한다. 정전 척(ESC)은 직류 전원(22)으로부터의 직류 전압에 의해 생기는 쿨롱력 등의 정전력에 의해 웨이퍼(W)를 흡착한다. 이에 의해, 정전 척(ESC)은 웨이퍼(W)를 유지할 수 있다.

[0023] 제2 플레이트(18b)의 둘레 가장자리부 상에는 웨이퍼(W)의 엣지 및 정전 척(ESC)을 둘러싸도록 포커스 링(FR)이 배치된다. 포커스 링(FR)은 에칭의 균일성을 향상시키기 위해 마련된다. 포커스 링(FR)은 에칭 대상의 막의 재료에 의해 적절하게 선택되는 재료로 구성되어 있고, 예컨대, 석영으로 구성될 수 있다.

[0024] 제2 플레이트(18b)의 내부에는 냉매 유로(24)가 마련된다. 냉매 유로(24)는 온도 조절 기구를 구성하고 있다. 냉매 유로(24)에는 처리 용기(12)의 외부에 마련된 칠러 유닛(도시 생략)으로부터 배관(26a)을 통해 냉매가 공급된다. 냉매 유로(24)에 공급되는 냉매는 배관(26b)을 통해 칠러 유닛에 복귀된다. 이와 같이, 냉매 유로(24)에는 냉매가 순환하도록 공급된다. 이 냉매의 온도를 제어함으로써, 정전 척(ESC)에 의해 지지된 웨이퍼(W)의 온도가 제어될 수 있다.

[0025] 플라즈마 처리 장치(10)에는 가스 공급 라인(28)이 마련된다. 가스 공급 라인(28)은 전열 가스 공급 기구로부터의 전열 가스, 예컨대 He 가스를, 정전 척(ESC)의 상면과 웨이퍼(W)의 이면 사이에 공급한다.

[0026] 플라즈마 처리 장치(10)에는 웨이퍼(W)의 온도를 조절하는 온도 조절부(HT)가 마련된다. 온도 조절부(HT)는 정전 척(ESC)에 내장된다. 온도 조절부(HT)에는 히터 전원(HP)이 접속된다. 히터 전원(HP)으로부터 온도 조절부(HT)에 전력이 공급됨으로써, 정전 척(ESC)의 온도가 조정되어, 정전 척(ESC) 상에 배치되는 웨이퍼(W)의 온도가 조정된다. 온도 조절부(HT)는 제2 플레이트(18b) 내에 매립되어도 좋다.

[0027] 온도 조절부(HT)는 열을 발하는 복수의 가열 소자와, 그 복수의 가열 소자의 각각의 주위의 온도를 각각 검출하는 복수의 온도 센서를 구비한다. 복수의 가열 소자의 각각은 웨이퍼(W)가 정전 척(ESC) 상에 위치 맞춤되어 배치되어 있는 경우에, 웨이퍼(W)의 주면(FW)의 복수의 영역마다 마련된다. 제어부(Cnt)는 웨이퍼(W)가 정전 척(ESC) 상에 위치 맞춤되어 배치되는 경우에, 웨이퍼(W)의 주면(FW)의 복수의 영역의 각각에 대응하는 가열 소자 및 온도 센서를 영역과 관련시켜 인식한다. 제어부(Cnt)는 영역과, 이 영역에 대응하는 가열 소자 및 온도 센서를, 복수의 영역마다, 예컨대 숫자나 문자 등의 번호 등에 의해 식별할 수 있다. 제어부(Cnt)는 하나의 영역의 온도를, 그 하나의 영역에 대응하는 부분에 마련된 온도 센서에 의해 검출하고, 그 하나의 영역에 대한 온도 조절을, 그 하나의 영역에 대응하는 부분에 마련된 가열 소자에 의해 행한다. 또한, 웨이퍼(W)가 정전 척(ESC) 상에 배치되어 있는 경우에 하나의 온도 센서에 의해 검출되는 온도는, 웨이퍼(W) 중 그 온도 센서 상의 영역의 온도와 동일하다.

[0028] 플라즈마 처리 장치(10)는 상부 전극(30)을 구비한다. 상부 전극(30)은 배치대(PD)의 상방에서, 배치대(PD)와 대향 배치된다. 하부 전극(LE)과 상부 전극(30)은 서로 대략 평행하게 마련되어 있고, 평행 평판 전극을 구성한다. 상부 전극(30)과 하부 전극(LE) 사이에는 웨이퍼(W)에 플라즈마 처리를 행하기 위한 처리 공간(Sp)이 제공된다.

[0029] 상부 전극(30)은 절연성 차폐 부재(32)를 통해, 처리 용기(12)의 상부에 지지된다. 절연성 차폐 부재(32)는 절연 재료로 구성되어 있고, 예컨대, 석영과 같이 산소를 포함할 수 있다. 상부 전극(30)은 전극판(34) 및 전극 지지체(36)를 포함할 수 있다. 전극판(34)은 처리 공간(Sp)에 면하고 있고, 전극판(34)에는 복수의 가스 토출 구멍(34a)이 마련된다. 전극판(34)은 일실시형태에서는 실리콘을 함유한다. 별도의 실시형태에서는 전극판(34)은 산화실리콘을 함유할 수 있다.

[0030] 전극 지지체(36)는 전극판(34)을 착탈 가능하게 지지하는 것이며, 예컨대 알루미늄이라고 하는 도전성 재료로 구성될 수 있다. 전극 지지체(36)는 수냉 구조를 가질 수 있다. 전극 지지체(36)의 내부에는 가스 확산실(36a)이 마련된다. 가스 확산실(36a)로부터는 가스 토출 구멍(34a)에 연통하는 복수의 가스 통류 구멍(36b)이 하방으로 연장된다. 전극 지지체(36)에는 가스 확산실(36a)에 처리 가스를 유도하는 가스 도입구(36c)가 형성되어 있고, 가스 도입구(36c)에는 가스 공급관(38)이 접속된다.

[0031] 가스 공급관(38)에는 밸브군(42) 및 유량 제어기군(44)을 통해, 가스 소스군(40)이 접속된다. 가스 소스군(40)은 복수의 가스 소스를 갖는다. 복수의 가스 소스에 대해서는 후술한다.

[0032] 밸브군(42)은 복수의 밸브를 포함한다. 유량 제어기군(44)은 매스플로우 컨트롤러라고 하는 복수의 유량 제어기를 포함한다. 가스 소스군(40)의 복수의 가스 소스 각각은, 밸브군(42)의 대응의 밸브 및 유량 제어기군(44)의 대응의 유량 제어기를 통해, 가스 공급관(38)에 접속된다. 따라서, 플라즈마 처리 장치(10)는 가스 소스군(40)의 복수의 가스 소스 중 선택된 하나 이상의 가스 소스로부터의 가스를, 개별로 조정된 유량으로, 처리 용기(12) 내에 공급하는 것이 가능하다.

[0033] 플라즈마 처리 장치(10)에서는, 처리 용기(12)의 내벽을 따라 디포지션 실드(46)가 착탈 가능하게 마련된다. 디포지션 실드(46)는 지지부(14)의 외주에도 마련된다. 디포지션 실드(46)는 처리 용기(12)에 에칭 부생물(디포지션)이 부착하는 것을 방지한다. 디포지션 실드(46)는 알루미늄재에 산화이트륨($Y_2O_3$) 등의 세라믹스를 피복함으로써 구성될 수 있다. 디포지션 실드는 $Y_2O_3$ 외에, 예컨대, 석영과 같이 산소를 포함하는 재료로 구성될 수 있다.

[0034] 처리 용기(12)의 바닥부측, 또한, 지지부(14)와 처리 용기(12)의 측벽 사이에는 배기 플레이트(48)가 마련된다. 배기 플레이트(48)는 예컨대 알루미늄재에 $Y_2O_3$ 등의 세라믹스를 피복함으로써 구성될 수 있다. 배기 플레이트(48)의 하방, 또한, 처리 용기(12)에는 배기구(12e)가 마련된다. 배기구(12e)에는 배기관(52)을 통해 배기 장치(50)가 접속된다. 배기 장치(50)는 터보 분자 펌프 등의 진공 펌프를 갖는다. 배기 장치(50)는 처리 용기(12) 내의 공간을 원하는 진공도까지 감압할 수 있다. 처리 용기(12)의 측벽에는 웨이퍼(W)의 반입출구(12g)가 마련된다. 반입출구(12g)는 게이트 밸브(54)에 의해 개폐 가능하게 구성된다.

[0035] 플라즈마 처리 장치(10)는 제1 고주파 전원(62) 및 제2 고주파 전원(64)을 더 구비한다. 제1 고주파 전원(62)은 플라즈마 생성용의 제1 고주파 전력을 발생하는 전원이며, 27~100[㎒]의 주파수, 일례에서는 60[㎒]의 고주파 전력을 발생한다. 또한, 제1 고주파 전원(62)은 펄스 사양을 구비하고 있으며, 주파수 5~10[㎑], Duty 50~100%로 제어 가능하다. 제1 고주파 전원(62)은 정합기(66)를 통해 상부 전극(30)에 접속된다. 정합기(66)는 제1 고주파 전원(62)의 출력 임피던스와 부하측[하부 전극(LE)측]의 입력 임피던스를 정합시키기 위한 회로이다. 제1 고주파 전원(62)은 정합기(66)를 통해 하부 전극(LE)에 접속되어도 좋다.

[0036] 제2 고주파 전원(64)은 웨이퍼(W)에 이온을 인입하기 위한 제2 고주파 전력, 즉 고주파 바이어스 전력을 발생하는 전원이다. 제2 고주파 전원(64)은 예컨대 400[㎑]~40.68[㎒]의 범위 내의 주파수의 고주파 바이어스 전력을 발생한다. 제2 고주파 전원(64)은 일례에서는 13.56[㎒]의 주파수의 고주파 바이어스 전력을 발생한다. 또한, 제2 고주파 전원(64)은 펄스 사양을 구비하고 있으며, 주파수 5~40[㎑], Duty 20~100%로 제어 가능하다. 제2 고주파 전원(64)은 정합기(68)를 통해 하부 전극(LE)에 접속된다. 정합기(68)는 제2 고주파 전원(64)의 출력 임피던스와 부하측[하부 전극(LE)측]의 입력 임피던스를 정합시키기 위한 회로이다.

[0037] 플라즈마 처리 장치(10)는 전원(70)을 더 구비한다. 전원(70)은 상부 전극(30)에 접속된다. 전원(70)은 처리 공간(Sp) 내에 존재하는 정이온을 전극판(34)에 인입하기 위한 전압을 상부 전극(30)에 인가한다. 일례에서는, 전원(70)은 부의 직류 전압을 발생하는 직류 전원이다. 이러한 전압이 전원(70)으로부터 상부 전극(30)에 인가되면, 처리 공간(Sp)에 존재하는 정이온이, 전극판(34)에 충돌한다. 이에 의해, 전극판(34)으로부터 2차 전자 및/또는 실리콘이 방출된다.

[0038] 플라즈마 처리 장치(10)는 제어부(Cnt)를 더 구비할 수 있다. 제어부(Cnt)는 프로그램 가능한 컴퓨터 장치라고 하는 제어기일 수 있다. 제어부(Cnt)는 레시피에 기초한 프로그램에 따라 플라즈마 처리 장치(10)의 각 부를 제어할 수 있다. 예컨대, 제어부(Cnt)는 제어 신호에 따라, 가스 소스군(40)으로부터 공급되는 가스의 선택 및 유량을 제어한다. 제어부(Cnt)는 제어 신호에 따라, 배기 장치(50)의 배기를 제어한다. 제어부(Cnt)는 제어 신호에 따라, 제1 고주파 전원(62) 및 제2 고주파 전원(64)으로부터의 전력 공급을 제어한다. 제어부(Cnt)는 제어 신호에 따라, 전원(70)으로부터의 전압 인가를 제어한다. 제어부(Cnt)는 제어 신호에 따라, 히터 전원(HP)의 전력 공급을 제어한다. 제어부(Cnt)는 제어 신호에 따라, 칠러 유닛으로부터의 냉매 유량 및 냉매 온도를 제어한다. 방법(MT)의 각 공정은 제어부(Cnt)에 의한 제어에 의해 플라즈마 처리 장치(10)의 각 부를 동작시킴으로써 실행될 수 있다. 제어부(Cnt)의 기억부에는 방법(MT)을 실행시키기 위한 컴퓨터 프로그램 및 방법(MT)의 실행에 이용되는 각종 데이터(DT)가 판독 가능하게 저장되어 있다.

[0039] 이하, 복수의 가스 소스의 상세를 설명한다. 복수의 가스 소스는 루테늄막(L2)의 에칭 가스의 소스를 포함한다. 일례로서, 복수의 가스 소스는 산소 함유 가스의 소스 및 염소 함유 가스의 소스를 포함할 수 있다. 산소 함유 가스란, 산소 원자를 포함하는 가스이다. 산소 함유 가스의 일례는 산소 가스이다. 염소 함유 가스란, 염소 원자를 포함하는 가스이다. 염소 함유 가스의 일례는 염소 가스이다.

[0040] 복수의 가스 소스는 보호막을 형성하기 위한 가스의 소스 및 루테늄막(L2) 상에 형성된 보호막을 제거하기 위한 에칭 가스의 소스를 포함한다. 보호막은 금속막, 산화막, 질화막 및 유기막으로 이루어지는 군에서 선택된 막이다.

[0041] 산화막의 일례는 산화실리콘으로 형성된 막이다. 실리콘 산화막을 형성하기 위한 가스는 전구체용의 가스 및 전구체에 활성종을 공급하는 가스를 포함한다. 전구체용의 가스의 일례는 아미노실란계 가스(예컨대 모노아미노실란, 트리실란) 또는 할로겐화규소 가스[예컨대 4염화규소($SiCl_4$) 가스, 4브롬화규소($SiBr_4$) 가스, 4불화규소($SiF_4$) 가스, 또는 $SiH_2Cl_4$ 가스]이다. 전구체에 활성종을 공급하는 가스의 일례는 산소 함유 가스이다. 복수의 가스 소스는 캐리어 가스 또는 퍼지 가스의 소스로서, 헬륨(He) 가스, 네온(Ne) 가스, 아르곤(Ar) 가스, 크세논(Xe) 가스, 크립톤(Kr) 가스라고 하는 희가스, 또는 질소($N_2$) 가스를 포함할 수 있다. 실리콘 산화막을 에칭하기 위한 가스의 일례는 4불화탄소($CF_4$) 가스 및 산소 가스이다.

[0042] 금속막의 일례는 텅스텐으로 형성된 막이다. 텅스텐막을 형성하기 위한 가스는 전구체용의 가스 및 전구체에 활성종을 공급하는 가스를 포함한다. 전구체용의 가스의 일례는 할로겐화텅스텐 가스, 6불화텅스텐($WF_6$) 가스, 또는 6염화텅스텐($WCl_6$) 가스이다. 전구체에 활성종을 공급하는 가스의 일례는 수소 함유 가스이다. 복수의 가스 소스는 캐리어 가스 또는 퍼지 가스의 소스로서, 희가스 또는 질소 가스를 포함할 수 있다. 텅스텐막을 에칭하기 위한 가스의 일례는 4불화탄소 가스 및 산소 가스이다.

[0043] 질화막의 일례는 질화실리콘(SiN)으로 형성된 막이다. 실리콘 질화막을 형성하기 위한 가스는 전구체용의 가스 및 전구체에 활성종을 공급하는 가스를 포함한다. 전구체용의 가스의 일례는 아미노실란계 가스 또는 할로겐화규소 가스이다. 전구체에 활성종을 공급하는 가스의 일례는 암모니아($NH_3$) 가스이다. 복수의 가스 소스는 캐리어 가스 또는 퍼지 가스의 소스로서, 희가스 또는 질소 가스를 포함할 수 있다. 실리콘 질화막을 에칭하기 위한 가스의 일례는 4불화탄소 가스 및 산소 가스, 또는, 플론($CHF_3$) 가스 및 산소 가스이다.

[0044] 유기막을 형성하기 위한 가스는 전자 공여성의 치환기를 포함하는 제1 가스 및 전자 흡인성의 치환기를 포함하는 제2 가스를 포함한다. 복수의 가스 소스는 캐리어 가스 또는 퍼지 가스의 소스로서, 희가스 또는 질소 가스를 포함할 수 있다. 유기막을 에칭하기 위한 가스의 일례는 산소 가스, 산소 가스 및 아르곤 가스, 또는, 수소 가스 및 질소 가스이다.

[0045] (처리 방법의 상세)

[0046] 방법(MT)의 상세는 방법(MT)이 플라즈마 처리 장치(10)를 이용하여 도 2에 나타내는 웨이퍼(W)에 적용되는 경우를 예로 하여 설명된다. 방법(MT)은 플라즈마 처리 장치(10)의 처리 용기(12) 내, 즉, 처리 공간(Sp) 안에 웨이퍼(W)가 배치된 상태로 실행된다. 처리 공간(Sp) 안에서는, 웨이퍼(W)는 정전 척(ESC) 상에 배치되어, 정전 척(ESC)에 의해 유지된다.

[0047] 도 1에 나타내는 바와 같이, 방법(MT)은 제1 마스크 조정 공정(ST1), 에칭 공정(ST2) 및 제2 마스크 조정 공정(ST3)을 포함할 수 있다.

[0048] 제1 마스크 조정 공정(ST1)은 보호층을 형성하는 공정이다. 제1 마스크 조정 공정(ST1)은 초기 단계의 마스크(MK)의 형상을 조정하기 위해 실행된다. 이 때문에, 초기 단계의 마스크(MK)가 설계값에 충분히 가까운 경우에는, 제1 마스크 조정 공정(ST1)은 실행되지 않아도 좋다.

[0049] 제1 마스크 조정 공정(ST1)은 공정(S10) 및 공정(S12)을 포함한다. 공정(S10)에서, 제어부(Cnt)는 원자 퇴적법(ALD: Atomic Layer Deposition)에 따라 피가공물에 보호막을 형성한다.

[0050] 공정(S10)에서, 제어부(Cnt)는 웨이퍼(W)의 면내 온도 분포를 조정하면서 성막한다. 먼저 제어부(Cnt)는 마스크(MK)의 치수의 면내 분포 데이터를 취득한다. 면내 분포 데이터는 마스크(MK)의 치수의 분포를 나타내는 데이터이다. 보다 구체적으로는, 면내 분포 데이터는 마스크의 위치와, 그 치수(형상)를 관련시킨 데이터이다.

[0051] 도 4의 (a)는 초기 상태의 피가공물의 일례이다. 도 4의 (a)에 나타내는 바와 같이, 마스크(MK1)는 면내 방향의 길이가 DT1이다. 마스크(MK2)는 면내 방향의 길이가 DT2이다. 마스크(MK1)의 면내 방향의 길이의 설계값은 DT1보다 긴 DT3이라고 한다. 마스크(MK2)의 면내 방향의 길이의 설계값은 DT2보다 긴 DT4라고 한다. 이러한 경우, 마스크(MK)의 형상을 조정할 필요가 있다.

[0052] 제어부(Cnt)는 보호막의 퇴적량과 웨이퍼(W)의 온도의 미리 취득된 관계와, 마스크(MK)의 치수의 면내 분포 데이터에 기초하여, 마스크(MK)의 치수가 설계값이 되도록, 웨이퍼(W)의 각 위치에서의 목표 온도를 결정한다. 원자 퇴적법에 따라 형성되는 보호막의 퇴적량은 웨이퍼(W)의 온도에 의존한다. 예컨대, 보호막이 산화막인 경우에는, 후술하는 도 15에 나타내는 바와 같이, 웨이퍼(W)의 온도가 높아질수록 퇴적량은 증가한다. 예컨대, 보호막이 금속막인 경우에는, 후술하는 도 17에 나타내는 바와 같이, 웨이퍼(W)의 온도가 높아질수록 퇴적량은 감소한다. 질화막 및 유기막에서도, 마찬가지로 퇴적량은 온도 의존성을 갖는다. 이러한 의존 관계는 플라즈마 처리 장치(10) 또는 다른 장치에서 미리 취득되어, 제어부(Cnt)의 기억부에 기억되어 있다. 제어부(Cnt)는 설계값과의 차분에 상당하는 퇴적량이 퇴적하도록, 보호막의 퇴적량과 웨이퍼(W)의 온도의 미리 취득된 관계에 기초하여, 웨이퍼(W)의 온도를 결정한다.

[0053] 도 4의 (b)는 피가공물 상의 보호막을 설명하는 도면이다. 도 4의 (b)에 나타내는 바와 같이, 제어부(Cnt)는 마스크(MK1)에 대응하는 웨이퍼(W)의 영역(RT1)의 온도를 결정한다. 제어부(Cnt)는 보호막의 퇴적량과 웨이퍼(W)의 온도의 미리 취득된 관계에 기초하여, 길이(DT3)와 길이(DT1)의 차분에 상당하는 퇴적량이 퇴적하는 제1 온도를 결정한다. 제1 온도는 영역(RT1)의 목표 온도이다. 제어부(Cnt)는 마스크(MK2)에 대응하는 웨이퍼(W)의 영역(RT2)의 온도를 결정한다. 제어부(Cnt)는 보호막의 퇴적량과 웨이퍼(W)의 온도의 미리 취득된 관계에 기초하여, 길이(DT4)와 길이(DT2)의 차분에 상당하는 퇴적량이 퇴적하는 제2 온도를 결정한다. 제2 온도는 영역(RT2)의 목표 온도이다. 제어부(Cnt)는 결정된 웨이퍼(W)의 각 위치에서의 목표 온도가 되도록 웨이퍼(W)의 온도 분포를 제어한다. 구체적으로는, 제어부(Cnt)는 히터 전원(HP) 및 온도 조절부(HT)를 제어함으로써, 웨이퍼(W)의 온도 분포를 제어한다.

[0054] 제어부(Cnt)는 온도 분포를 제어하면서, 보호막을 퇴적한다. 보호막이 산화막, 질화막 또는 금속막인 경우, 제어부(Cnt)는 전구체 가스를 웨이퍼(W)에 공급하는 공정과, 플라즈마를 생성하는 공정을 각각이 포함하는 복수회의 사이클을 실행한다. 전구체 가스를 웨이퍼(W)에 공급하는 공정은 웨이퍼(W) 상에 보호막의 원료를 함유하는 전구체를 퇴적시키기 위해 실행된다. 플라즈마를 생성하는 공정은 웨이퍼(W) 상의 전구체에 활성종을 공급하기 위해 실행된다.

[0055] 제어부(Cnt)는 유량 제어기군(44)을 제어하여, 처리 공간(Sp) 내에 전구체용의 제1 가스를 공급한다. 이에 의해, 제1 가스의 분자는 화학 결합에 기초한 화학 흡착에 의해 웨이퍼(W)의 표면에 부착된다. 계속해서, 제어부(Cnt)는 처리 공간(Sp)을 퍼지한다. 구체적으로는, 제어부(Cnt)는 배기 장치(50)를 제어하여 제1 가스를 배기한다. 제어부(Cnt)는 유량 제어기군(44)을 제어하여, 퍼지 가스로서 질소 가스 또는 희가스라고 하는 불활성 가스를 처리 공간(Sp)에 공급하여도 좋다. 즉, 퍼지는 진공 상태로 실현되어도 좋고, 불활성 가스를 처리 공간(Sp)에 공급함으로써 실현되어도 좋다. 처리 공간(Sp)의 퍼지에 따라, 웨이퍼(W)의 표면 상에 과도하게 부착된 분자가 제거되어, 매우 얇은 전구체의 분자층이 형성된다.

[0056] 계속해서, 제어부(Cnt)는 전구체에 활성종을 공급하기 위해, 제2 가스의 플라즈마를 생성한다. 제어부(Cnt)는 유량 제어기군(44)을 제어하여, 제2 가스를 처리 공간(Sp)에 공급한다. 그리고, 제어부(Cnt)는 제1 고주파 전원(62) 및 제2 고주파 전원(64)을 제어하여, 고주파 전력을 공급한다. 또한, 제어부(Cnt)는 배기 장치(50)를 동작시킴으로써 처리 공간(Sp)의 압력을 미리 설정된 압력으로 설정한다. 이와 같이 하여, 제2 가스의 플라즈마가 처리 공간(Sp) 내에서 생성된다. 제2 가스의 플라즈마가 생성되면, 활성종, 예컨대 라디칼이 생성된다. 라디칼은 웨이퍼(W)의 표면에 흡착된 전구체와 결합하여, 매우 얇은 분자층을 형성한다.

[0057] 보호막이 산화막인 경우, 제1 가스의 일례는 아미노실란계 가스 또는 할로겐화규소 가스이고, 제2 가스의 일례는 산소 함유 가스이다. 보호막이 금속막인 경우, 제1 가스의 일례는 할로겐화텅스텐 가스, 6불화텅스텐 가스, 또는 6염화텅스텐 가스이고, 제2 가스의 일례는 수소 함유 가스이다. 보호막이 질화막인 경우, 제1 가스의 일례는 아미노실란계 가스 또는 할로겐화규소 가스이고, 제2 가스의 일례는 암모니아 가스이다.

[0058] 보호막이 유기막인 경우, 플라즈마를 생성하는 일없이 막 형성이 형성된다. 보호막이 유기막인 경우, 전자 공여성의 치환기를 포함하는 가스를 공급하는 공정과, 전자 흡인성의 치환기를 포함하는 가스를 공급하는 공정을 각각이 포함하는 복수회의 사이클을 실행한다. 전자 공여성의 치환기를 포함하는 가스의 재료와 전자 흡인성의 치환기를 포함하는 가스의 재료가 중합 반응함으로써, 매우 얇은 분자층인 보호막이 형성된다.

[0059] 도 4의 (b)에 나타내는 바와 같이, 웨이퍼(W) 상에 형성된 보호막(L3)은 웨이퍼(W)의 온도에 대응한 두께가 된다. 보호막(L3)이 형성됨으로써, 마스크(MK1)의 면내 방향의 길이는 DT1에서 DT3으로 변경된다. 마스크(MK2)의 면내 방향의 길이는 DT2에서 DT4로 변경된다. 형성된 보호막(L3)은 마스크의 측벽면을 따라 연장되는 제1 영역

(R31)과, 루테늄막(L2) 상으로 연장되는 제2 영역(R32)을 포함한다.

[0060] 계속해서, 공정(S12)에서는 제어부(Cnt)는 보호막의 일부를 제거한다. 도 4의 (c)는 보호막의 제거를 설명하는 도면이다. 도 4의 (c)에 나타내는 바와 같이, 제어부(Cnt)는 제1 영역(R31)을 남기면서 제2 영역(R32)를 제거하도록 보호막(L3)을 에칭한다. 제어부(Cnt)는 유량 제어기군(44)을 제어하여, 에칭 가스를 처리 공간(Sp)에 공급한다. 그리고, 제어부(Cnt)는 제1 고주파 전원(62) 및 제2 고주파 전원(64)을 제어하여, 고주파 전력을 공급한다. 또한, 제어부(Cnt)는 배기 장치(50)를 동작시킴으로써 처리 공간(Sp)의 압력을 미리 설정된 압력으로 설정한다. 이와 같이 하여, 에칭 가스의 플라즈마가 처리 공간(Sp) 내에서 생성되어, 에칭에 의해, 제2 영역(R32)이 제거된다.

[0061] 보호막이 산화막 또는 금속막인 경우, 에칭 가스의 일례는 4불화탄소($CF_4$) 가스 및 산소 가스이다. 보호막이 질화막인 경우, 에칭 가스의 일례는 4불화탄소 가스 및 산소 가스, 또는, 플론 가스 및 산소 가스이다. 보호막이 유기막인 경우, 에칭 가스의 일례는 산소 가스, 산소 가스 및 아르곤 가스, 또는, 수소 가스 및 질소 가스이다.

[0062] 제1 마스크 조정 공정(ST1)을 실행함으로써, 마스크(MK)의 형상을 임의로 제어할 수 있다. 즉, 마스크(MK1)와 마스크(MK2)의 면내 방향의 길이를 균일하게 같게 하는 것도 가능하다. 이 때문에, 마스크(MK)의 초기 형상에 기인한 루테늄막의 면내 방향의 형상의 편차를 억제할 수 있다.

[0063] 계속해서, 도 1에 나타내는 바와 같이, 제어부(Cnt)는 루테늄막의 에칭 공정(ST2)을 실행한다. 에칭 공정(ST2)은 공정(S14)(제1 공정의 일례) 및 공정(S16)(제2 공정의 일례)을 포함한다.

[0064] 공정(S14)에서, 제어부(Cnt)는 산소 함유 가스를 이용한 플라즈마 처리에 의해 루테늄막(L2)을 에칭한다. 산소 함유 가스를 이용한 플라즈마 처리란, 산소 함유 가스에 의해 생성된 플라즈마를 이용하여 웨이퍼(W)를 처리하는 것이다. 제어부(Cnt)는 미리 정해진 에칭 조건으로 플라즈마 처리를 실행한다. 에칭 조건은 목표 온도 및 목표 처리 시간을 포함한다. 목표 온도는 웨이퍼(W)의 목표가 되는 미리 설정된 온도이다. 목표 처리 시간은 플라즈마 처리의 목표가 되는 미리 설정된 시간이다. 목표 온도는 100℃ 이하여도 좋다. 목표 온도 및 목표 처리 시간의 결정 방법에 대해서는 후술한다. 공정(S14)에서는, 제어부(Cnt)는 웨이퍼(W)의 온도가 목표 온도가 되도록, 히터 전원(HP) 및 온도 조절부(HT)를 제어한다. 공정(S14)에서는, 제어부(Cnt)는 처리 용기(12) 내, 즉 처리 공간(Sp) 안에서, 산소 가스의 플라즈마를 생성한다. 제어부(Cnt)는 이온을 인입하기 위한 고주파 바이어스를 인가하여도 좋다. 제어부(Cnt)는 목표 처리 시간 동안, 웨이퍼(W)를 플라즈마 에칭한다.

[0065] 공정(S16)에서, 제어부(Cnt)는 염소 함유 가스를 이용한 플라즈마 처리에 의해 루테늄막(L2)을 에칭한다. 염소 함유 가스를 이용한 플라즈마 처리란, 염소 함유 가스에 의해 생성된 플라즈마를 이용하여 웨이퍼(W)를 처리하는 것이다. 제어부(Cnt)는 미리 정해진 에칭 조건으로 플라즈마 처리를 실행한다. 에칭 조건은 목표 온도 및 목표 처리 시간을 포함한다. 목표 온도는 100℃ 이하여도 좋다. 목표 온도 및 목표 처리 시간의 결정 방법에 대해서는 후술한다. 공정(S16)에서는, 제어부(Cnt)는 웨이퍼(W)의 온도가 목표 온도가 되도록, 히터 전원(HP) 및 온도 조절부(HT)를 제어한다. 공정(S16)에서는, 제어부(Cnt)는 처리 용기(12) 내, 즉 처리 공간(Sp) 안에서 염소 가스의 플라즈마를 생성한다. 제어부(Cnt)는 이온을 인입하기 위한 고주파 바이어스를 인가하여도 좋다. 제어부(Cnt)는 목표 처리 시간 동안, 웨이퍼(W)를 플라즈마 에칭한다.

[0066] 도 5의 (a)는 에칭을 위해 준비된 피가공물의 일례이다. 도 5의 (b)는 에칭된 피가공물의 일례이다. 에칭 공정(ST2)이 실행됨으로써, 도 5의 (a) 및 도 5의 (b)에 나타내는 바와 같이, 웨이퍼(W)의 루테늄막(L2)은 마스크(MK)를 이용하여 에칭된다. 후술하는 바와 같이, 에칭 공정(ST2)의 공정(S14)과 공정(S16)은 목표 사이클수가 될 때까지 반복해서 실행된다.

[0067] 계속해서, 제어부(Cnt)는 공정(S18)으로서, 실행 사이클수를 판정한다. 실행 사이클수는 공정(S14)과 공정(S16)을 1 세트로 하여 카운트될 수 있다. 일례로서, 공정(S14)과 공정(S16)을 교대로 1회 실행한 경우, 실행 사이클수는 「1」이 된다. 일례로서, 공정(S14)과 공정(S16)을 교대로 2회 실행한 경우, 실행 사이클수는 「2」가 된다.

[0068] 제어부(Cnt)는 공정(S18)으로서, 실행 사이클수가 지정 사이클수와 같은지의 여부를 판정한다. 지정 사이클수는 보호막을 형성하는 타이밍을 판정하기 위해 미리 정해진 임계값이다. 지정 사이클수는 마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화에 의존하여 미리 결정된다. 마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화는 사전에 실시 조건에서 측정되어도 좋다. 마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화는 시뮬레이션을 이용하여 결정되어도 좋다. 예컨대, 실행 사이클수가 X회인 경우에, 마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화가 Y인 것이 사전에 취득된다. 제어부(Cnt)는 실행 사이클수가 지정 사이클수와 같은 경우[공정(S18): YES], 보호막을 형성하는 타이밍이라고 판정한다. 이 경우, 제어부(Cnt)는

제2 마스크 조정 공정(ST3)으로서, 보호막을 형성한다.

[0069] 제2 마스크 조정 공정(ST3)에서는, 제어부(Cnt)는 제1 마스크 조정 공정(ST1)과 마찬가지로, 보호막(L3)을 형성하고, 에칭에 의해 보호막(L3)의 제2 영역(R32)를 제거한다. 즉, 제2 마스크 조정 공정(ST3)은 공정(S10) 및 공정(S12)에 대응하는 공정(S20) 및 공정(S22)을 갖는다.

[0070] 공정(S20)에서는, 제어부(Cnt)는 지정 사이클수의 에칭에 의한 마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화를 보충하도록, 보호막(L3)을 형성한다. 형성 방법은 공정(S10)과 동일하며, 웨이퍼(W)의 온도를 조정하면서 원자 퇴적법에 따라 보호막(L3)을 형성한다. 일례로서, 제어부(Cnt)는 목표가 되는 퇴적량[마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화에 상당]과, 보호막의 퇴적량과 웨이퍼(W)의 온도의 미리 취득된 관계에 기초하여, 마스크(MK)의 치수가 설계값이 되도록, 웨이퍼(W)의 각 위치에서의 목표 온도를 결정한다.

[0071] 목표가 되는 퇴적량은 지정 사이클수의 에칭에 의한 마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화에 기초하여 예측된 양이어도 좋고, 에칭 후에 실제로 측정된 양이어도 좋다. 또한, 지정 사이클수의 에칭에 의한 마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화는, 마스크(MK)의 치수의 면내 분포 데이터로서 제공되어도 좋다.

[0072] 도 5의 (c)는 보호막을 형성한 피가공물의 일례이다. 공정(S20)이 실행됨으로써, 도 5의 (c)에 나타내는 바와 같이, 보호막(L3)이 웨이퍼(W) 상에 형성된다.

[0073] 계속되는 공정(S22)에서는, 제어부(Cnt)는 보호막의 일부를 제거한다. 제거 방법은 공정(S12)과 동일하며, 에칭에 의해 행한다. 도 5의 (d)는 보호막의 제거를 설명하는 도면이다. 도 5의 (d)에 나타내는 바와 같이, 제어부(Cnt)는 제1 영역(R31)을 남기면서 제2 영역(R32)을 제거하도록 보호막(L3)을 에칭한다.

[0074] 공정(S22)이 종료한 경우, 또는, 실행 사이클수가 지정 사이클수와 같지 않은 경우[공정(S18): NO], 공정(S24)에서, 제어부(Cnt)는 실행 사이클수가 미리 설정된 목표 사이클수와 같은지의 여부를 판정한다.

[0075] 제어부(Cnt)는 실행 사이클수가 미리 설정된 목표 사이클수와 같지 않다고 판정된 경우, 공정(S14)으로부터 처리를 재차 실행한다. 제어부(Cnt)는 실행 사이클수가 미리 설정된 목표 사이클수와 같다고 판정된 경우, 도 1에 나타낸 흐름도를 종료한다. 이와 같이, 방법(MT)에 따르면, 공정(S10) 및 공정(S12)에서, 초기 단계의 웨이퍼(W)의 마스크의 형상이 조정된다. 그리고, 목표 사이클수가 될 때까지 공정(S14) 및 공정(S16)이 교대로 실행되어, 루테늄막(L2)이 에칭된다. 그리고, 공정(S14) 및 공정(S16)이 지정된 사이클수 실행된 경우, 공정(S20) 및 공정(S22)이 실행되어, 마스크(MK)의 형상이 조정된다.

[0076] (루테늄막의 에칭 원리)

[0077] 먼저 공정(S14)의 에칭 원리가 설명된다. 도 6은 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 Ru 에칭량의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 6에 나타내는 그래프의 횡축은 처리 시간, 종축은 Ru 에칭량이다. 도 6에 나타내는 바와 같이, 루테늄막의 표면에는 산소 함유 가스의 플라즈마에 의한 화학 반응에 의해, 휘발성의 루테늄 산화물이 생성된다. 휘발성 산화물의 일례는 $RuO_3$(g)나 $RuO_4$(g)이다. 휘발성 산화물이 생성됨으로써, 루테늄막의 표면은 에칭된다.

[0078] 또한, 루테늄막의 표면에는 산소 함유 가스의 플라즈마에 의한 화학 반응에 의해, 불휘발성의 루테늄산화물이 생성된다. 불휘발성 산화물의 일례는 $RuO_2$(s)이다. $RuO_2$(s) 등의 불휘발성 산화물은 처리 시간의 경과와 함께 루테늄막의 표면을 덮는다. 루테늄막의 표면에 불휘발성 산화물이 생성된 경우, 루테늄막의 표면 중 휘발성 산화물이 형성되는 영역(반응 사이트)이 감소한다. 반응 사이트의 감소에 따라, 불휘발성 산화물의 생성량은 감소한다. 예컨대 휘발성 산화물의 표면 피복률이 70%가 되는 처리 시간을 넘은 처리 시간에서는, Ru 에칭량은 크게 증가하지 않게 된다. 표면 피복률이란, 점유되어 있는 반응 사이트의 비율이다. 표면 피복률이 100%가 되는 처리 시간에서는 플라즈마에 의한 화학 반응이 현저히 진행되지 않게 된다. 플라즈마에 의한 화학 반응이 포화된 상태가 된 경우, 에칭 스톱이 일어나, 처리 시간을 길게 하여도 Ru 에칭량은 대략 일정값이 된다. 이하에서는, 표면의 반응 사이트가 0%에 근접하여, 반응이 진행되지 않는 현상을 자기 제한(Self-limiting)이라고 한다. 자기 제한이 확인되는 처리 시간대를 자기 제한 영역이라고 한다. 완전한 자기 제한이 되기 전에 반응의 진행속도가 저하하는 현상을 준자기 제한(Sub Self-limiting)이라고 한다. 준자기 제한이 확인되는 처리 시간대를 준자기 제한 영역이라고 한다. 일례로서, 준자기 제한 영역은 표면 피복률이 70%~100%가 되는 처리 시간이다.

[0079] 도 7의 (a)~도 7의 (c)는 불휘발성 산화물의 표면 피복률과 휘발성 산화물의 생성량과 Ru 에칭량을 대비시킨 그래프이다. 도 7의 (a)는 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 불휘발성 산화물의 표면 피복률의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 7의 (b)는 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 휘

발성 산화물의 생성량과의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 7의 (c)는 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 Ru 에칭량의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 7의 (a)~도 7의 (c)에서, 횡축은 처리 시간이다.

[0080] 산소 함유 가스에 의한 플라즈마에 의해, $Ru+2O^{*}\rightarrow RuO_2(s)$라고 하는 화학 반응에 의해, 루테늄막의 표면에 불휘발성 산화물이 생성된다. 그와 동시에, $Ru+4O^{*}\rightarrow RuO_4(g)$라고 하는 화학 반응에 의해, 루테늄막의 표면에서 휘발성 산화물이 생성된다. 도 7의 (a)에 나타내는 바와 같이, 처리 시간이 경과함에 따라 $RuO_2(s)$의 표면 피복률이 증가한다. 도 7의 (b)에 나타내는 바와 같이, $RuO_2(s)$의 표면 피복률의 증가에 따라 $RuO_4(g)$의 생성량이 감소한다. 도 7의 (c)에 나타내는 바와 같이, $RuO_4(g)$의 생성량의 감소에 따라 Ru 에칭량의 증가량이 작아진다. 이와 같이, 산소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서는, 1회의 공정으로 에칭할 수 있는 양이 한정된다.

[0081] 계속해서, 공정(S16)의 에칭 원리가 설명된다. 도 8은 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 Ru 에칭량의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 8에 나타내는 그래프의 횡축은 처리 시간, 종축은 Ru 에칭량이다. 이하의 설명에서는, 공정(S16) 전에 공정(S14)이 실행되는 경우가 예시된다. 도 8에 나타내는 바와 같이, 루테늄막의 표면에는 염소 함유 가스의 플라즈마에 의한 화학 반응에 의해, 불휘발성 산화물로부터 휘발성의 루테늄 염화물이 생성된다. 휘발성 염화물의 일례는 $RuO_xCl_y(g)$이다. $RuO_xCl_y(g)$ 등의 휘발성 염화물이 생성됨으로써, 루테늄막의 표면은 에칭된다.

[0082] 불휘발성 산화물은 휘발성 염화물에 변화하여 증발하기 때문에, 처리 시간의 경과에 따라 감소한다. 이 때문에, 시간 경과와 함께 Ru 에칭량은 감소한다. 또한, 루테늄막의 표면에는 염소 함유 가스의 플라즈마에 의한 화학 반응에 의해, 불휘발성의 루테늄 염화물이 생성된다. 불휘발성 염화물의 일례는 $RuCl_3(s)$이다. $RuCl_3(s)$ 등의 불휘발성 염화물은 처리 시간의 경과와 함께 루테늄막의 표면을 덮는다. 예컨대 휘발성 염화물의 표면 피복률이 70%가 되는 처리 시간을 넘는 처리 시간에서는, Ru 에칭량은 크게 증가하지 않게 된다. 표면 피복률이 100%가 되는 처리 시간에서는 플라즈마에 의한 화학 반응이 현저히 진행되지 않게 된다. 플라즈마에 의한 화학 반응이 포화된 상태가 된 경우, 에칭 스톱이 발생하여, 처리 시간을 길게 하여도 Ru 에칭량은 대략 일정값이 된다. 이와 같이, 염소 함유 가스의 플라즈마 에칭에서도, 자기 제한과 준자기 제한이 존재한다.

[0083] 도 9의 (a)~도 9의 (c)는 불휘발성 염화물의 표면 피복률과 휘발성 염화물의 생성량과 Ru 에칭량을 대비시킨 그래프이다. 도 9의 (a)는 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 불휘발성 염화물의 표면 피복률의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 9의 (b)는 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 휘발성 염화물의 생성량의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 9의 (c)는 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서의 처리 시간과 Ru 에칭량의 관계를 나타내는 그래프이다. 도 9의 (a)~도 9의 (c)에서, 횡축은 처리 시간이다.

[0084] 염소 함유 가스에 의한 플라즈마의 화학 반응에 의해, 루테늄막의 표면에 존재한 불휘발성 산화물은 휘발성 염화물로 변화한다. 그와 동시에, 염소 함유 가스에 의한 플라즈마의 화학 반응에 의해, 루테늄막의 표면에서 불휘발성 염화물이 생성된다. 도 9의 (a)에 나타내는 바와 같이, 처리 시간이 경과함에 따라 $RuCl_3(s)$의 표면 피복률이 증가한다. 도 9의 (b)에 나타내는 바와 같이, $RuCl_3(s)$의 표면 피복률이 증가[$RuO_2(s)$의 표면 피복률의 감소]에 따라 $RuO_xCl_y(g)$의 생성량이 감소한다. 도 9의 (c)에 나타내는 바와 같이, $RuO_xCl_y(g)$의 생성량의 감소에 따라 Ru 에칭량의 증가량이 작아진다. 이와 같이, 염소 함유 가스에 의한 플라즈마 에칭에서는, 1회의 공정으로 에칭할 수 있는 양이 한정된다.

[0085] (교대 실시에 의한 표면 갱신)

[0086] 방법(MT)에서는, 공정(S14) 및 공정(S16)은 교대로 실행된다. 공정(S14) 및 공정(S16)이 교대로 실행됨으로써, 공정(S14)에서 발생한 에칭 저해 요인은 다음 공정(S16)에서 제거된다. 마찬가지로, 공정(S16)에서 발생한 에칭 저해 요인은 다음 공정(S14)에서 제거된다.

[0087] 도 10은 에칭 방법의 원리를 설명하는 개념도이다. 도 10의 상태(A)에 나타내는 바와 같이, 공정(S14)이 행해진 경우, 산소 라디칼에 의해 불휘발성 산화물(예컨대 $RuO_2$)과 휘발성 산화물(예컨대 $RuO_4$)이 생성된다. 휘발성 산화물이 생성됨으로써, 루테늄막은 에칭된다. 계속해서, 상태(B)에 나타내는 바와 같이, 불휘발성 산화물이 루테늄막의 표면을 덮어, 휘발성 산화물의 생성량이 저하한다. 휘발성 산화물의 생성량이 저하함으로써, Ru 에칭량이 감소한다(자기 제한). 계속해서 공정(S16)이 행해진 경우, 상태(C)에 나타내는 바와 같이, 염소 라디칼에 의

해 불휘발성 산화물로부터 휘발성 염화물(예컨대 $RuO_xCl_y$)이 생성된다. 휘발성 염화물이 생성됨으로써, 루테늄막은 에칭된다. 계속해서, 상태(D)에 나타내는 바와 같이, 불휘발성 산화물이 제거되고, 대신에 불휘발성 염화물(예컨대 $RuCl_3$)이 루테늄막의 표면을 덮어, 휘발성 염화물의 생성량이 저하한다. 휘발성 염화물의 생성량이 저하함으로써, Ru 에칭량이 감소한다(자기 제한). 재차 공정(S14)이 행해진 경우, 산소 라디칼에 의해 불휘발성 염화물이 제거되어, 상태(A)로 되돌아간다. 이와 같이, 공정(S14) 및 공정(S16)이 교대로 실행됨으로써, 루테늄막의 표면은 갱신된다.

[0088] (목표 온도 및 목표 처리 시간의 결정)

[0089] 공정(S14) 및 공정(S16)은 각각 자기 제한이 존재하기 때문에, 공정(S14)과 공정(S16)을 세트로 한 1 사이클당의 Ru 에칭량은, 어느 처리 시간 이상에서는 일정값이 된다. 그리고, 1 사이클당의 Ru 에칭량이 포화되기까지의 처리 시간은, 루테늄막의 제어 온도에 의존한다. 1 사이클당의 에칭량과 루테늄막의 제어 온도와 각 공정의 처리 시간의 관계를 미리 취득해 둠으로써, 제어부(Cnt)는 목표가 되는 1 사이클당의 Ru 에칭량을 달성하는 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정할 수 있다. 이하, 1 사이클당의 에칭량을 EPC(Etch per cycle)라고도 한다.

[0090] 도 11은 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정하는 방법의 일례를 나타내는 흐름도이다. 도 11에 나타내는 흐름도는 예컨대 제어부(Cnt)에 의해 실행된다.

[0091] 공정(S30)에서, 제어부(Cnt)는 EPC와 루테늄막의 제어 온도와 각 공정의 처리 시간의 관계를 취득한다. 제어부(Cnt)는 예컨대 후술하는 도 14에 나타내는 바와 같이, 각 공정의 처리 시간과 EPC의 관계를 제어 온도마다 취득한다. 이 관계는 예컨대 플라즈마 처리 장치(10)에 의해 미리 취득되고, 제어부(Cnt)의 기억부에 기억되어 있어도 좋다. 이 관계는 예컨대 다른 플라즈마 처리 장치에 의해 미리 취득되어, 제어부(Cnt)의 기억부에 기억되어 있어도 좋다. 제어부(Cnt)는 기억부를 참조함으로써, EPC와 루테늄막의 제어 온도와 각 공정의 처리 시간의 관계를 취득한다. 제어부(Cnt)는 통신을 통해 EPC와 루테늄막의 제어 온도와 각 공정의 처리 시간의 관계를 취득하여도 좋다.

[0092] 공정(S32)에서, 제어부(Cnt)는 취득된 관계에 기초하여 공정(S14) 및 공정(S16)의 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정한다. 제어부(Cnt)는 공정(S14) 및 공정(S16)의 목표 온도 및 목표 처리 시간으로서, 공통의 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정한다. 제어부(Cnt)는 예컨대 목표 온도를 미리 취득된 관계에 대응하는 온도 범위로 설정한다. 제어부(Cnt)는 일례로서 목표 온도를 100℃ 이하로 설정한다. 제어부(Cnt)는 일례로서 목표 온도를 25℃~80℃의 범위로 설정하여도 좋다. 제어부(Cnt)는 설정된 목표 온도와 전술한 관계에 기초하여, EPC가 포화되기까지의 처리 시간을 결정한다. 그리고, 제어부(Cnt)는 목표 처리 시간을 EPC가 포화되기까지의 처리 시간 이상으로 설정한다. 즉, 제어부(Cnt)는 목표 처리 시간을 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이상으로서, 또한, 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이상으로 설정한다. 제어부(Cnt)는 공정(S14) 및 공정(S16)의 목표 온도 및 목표 처리 시간을 각각 독립적으로 결정하여도 좋다. 이 경우, 제어부(Cnt)는 공정(S14)의 목표 처리 시간을 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이상으로 설정하여, 공정(S16)의 목표 처리 시간을 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이상으로 설정한다. 공정(S32)이 종료한 경우, 도 11에 나타내는 흐름도가 종료한다.

[0093] 도 11에 나타내는 흐름도가 실행됨으로써, 도 1에 나타내는 방법(MT)에서, EPC가 포화되는 처리 시간에 루테늄막이 에칭된다(자기 제한 영역에서의 에칭). 목표 온도 및 목표 처리 시간의 결정은 전술한 방법에 한정되지 않는다. 예컨대, EPC가 온도에 의존하는 처리 시간대(준자기 제한 영역)에 기초하여 목표 온도 및 목표 처리 시간이 결정되어도 좋다.

[0094] 도 12는 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정하는 방법의 다른 예를 나타내는 흐름도이다. 도 12에 나타내는 흐름도는 예컨대 제어부(Cnt)에 의해 실행된다.

[0095] 공정(S40)에서, 제어부(Cnt)는 EPC와 루테늄막의 제어 온도와 각 공정의 처리 시간의 관계를 취득한다. 공정(S40)은 도 11의 공정(S30)과 동일하다.

[0096] 공정(S42)에서, 제어부(Cnt)는 루테늄막의 두께의 면내 분포 데이터를 취득한다. 면내 분포 데이터란, 루테늄막의 위치마다의 두께의 분포를 나타내는 데이터이다. 도 13의 (a)는 루테늄막의 면내 분포 데이터를 설명하는 도면이다. 도 13의 (a)에 나타내는 바와 같이, 루테늄막의 위치(PO)마다 두께(DE)가 상이한 경우가 있다. 제어부(Cnt)는 면내 분포 데이터로서, 위치(PO)와 두께(DE)를 관련시킨 데이터를 취득한다. 면내 분포 데이터는 미리 취득되어, 제어부(Cnt)의 기억부에 기억되어 있어도 좋다. 이 경우, 제어부(Cnt)는 기억부를 참조함으로써, 면

내 분포 데이터를 취득한다. 제어부(Cnt)는 통신을 통해 면내 분포 데이터를 취득하여도 좋다.

[0097] 공정(S44)에서, 제어부(Cnt)는 두께의 면내 분포 데이터와, 공정(S40)에서 취득된 관계에 기초하여, 루테늄막의 두께가 평탄해지도록, 공정(S14) 및 공정(S16)의 목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정한다. 구체적인 일례로서, 제어부(Cnt)는 두께의 면내 분포 데이터에 기초하여, 루테늄막이 균일한 두께가 되도록 루테늄막의 위치마다 목표 에칭률을 결정한다. 도 13의 (b)는 루테늄막의 위치마다의 목표 에칭률을 설명하는 도면이다. 도 13의 (b)에서, 목표 에칭률의 크기가 화살표의 길이로 나타나 있다. 도 13의 (b)에 나타내는 바와 같이, 예컨대 엣지 부근이 중앙에 비해서 두꺼운 경우에는, 엣지 부근의 에칭률은 중앙의 에칭률과 비교하여 크게 결정된다. 이에 의해, 루테늄막은 균일한 두께로 할 수 있다. 다음에, 제어부(Cnt)는 목표 처리 시간을 결정한다. 제어부(Cnt)는 목표 처리 시간으로서, 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하로서, 또한, 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하로 결정한다. 이 경우, 준자기 제한 영역에서 에칭량이 제어된다. 다음에, 제어부(Cnt)는 목표 처리 시간과 공정(S40)에서 취득된 관계에 기초하여, 위치마다의 목표 에칭률을 달성하기 위한, 위치마다의 목표 온도를 결정한다. 제어부(Cnt)는 공정(S14) 및 공정(S16)의 목표 온도 및 목표 처리 시간을 각각 독립적으로 결정하여도 좋다. 이 경우, 제어부(Cnt)는 공정(S14)의 목표 처리 시간을 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하로 설정하고, 그리고/또는, 공정(S16)의 목표 처리 시간을 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하로 설정한다. 이에 의해, 공정(S14) 및 공정(S16) 중 적어도 한쪽에서, 준자기 제한 영역에서 에칭량이 제어된다. 공정(S44)이 종료한 경우, 도 12에 나타내는 흐름도가 종료한다.

[0098] 도 12에 나타내는 흐름도가 실행됨으로써, 도 1에 나타내는 방법(MT)에서, EPC가 포화되는 처리 시간 이하에, 또한, 루테늄막의 면내 온도 분포가 제어된 상태로, 에칭된다(준자기 제한 영역에서의 에칭). 이에 의해, 도 13의 (c)에 나타내는 바와 같이, 면내 균일성이 우수한 에칭을 행할 수 있다.

[0099] (실시형태의 정리)

[0100] 방법(MT)에 따르면, 산소 함유 가스와 염소 함유 가스를 교대로 나누어 사용하여 에칭하기 때문에, 에칭률이 혼합 가스의 플라즈마의 분포에 의존하는 것을 회피할 수 있다. 이 때문에, 에칭률의 편차를 억제할 수 있다. 또한, 방법(MT)에 따르면, 마스크(MK) 및 루테늄막(L2)의 표면 상에, 원자 퇴적법에 따라 보호막(L3) 이 형성된다. 그리고, 제1 영역(R31)이 남겨지도록 보호막(L3)이 에칭된다. 이에 의해, 에칭에 따른 마스크(MK)의 횡방향의 형상 변화를 보호막(L3)에 의해 보충할 수 있다. 또한, 보호막(L3)의 제1 영역(R31)이 마스크(MK)의 측벽면을 따라 마련되기 때문에, 루테늄막(L2)의 플라즈마 에칭에 대하여 보다 강고한 마스크가 제공된다. 따라서, 방법(MT)은 면내 방향에서의 루테늄막(L2)의 형상의 편차를 억제할 수 있다. 즉, 방법(MT)에 따르면, 루테늄막(L2)의 깊이 방향 및 횡방향의 에칭을 임의로 제어할 수 있다.

[0101] 전구체의 퇴적과, 전구체와 활성종 반응에 의해 실현되는 보호막(L3)의 퇴적량은, 웨이퍼(W)의 온도의 증감에 따라 변화한다. 즉, 웨이퍼(W)의 온도를 파라미터로 하여 면내 위치마다 보호막(L3)의 퇴적 레이트를 변경할 수 있다. 이 때문에, 방법(MT)에 따르면, 에칭에 따르는 마스크(MK)의 형상 변화에 기인한 루테늄막(L2)의 형상의 편차를 억제하는 것뿐만 아니라, 마스크(MK)의 초기 형상에 기인한 루테늄막(L2)의 형상의 편차를 억제할 수 있다.

[0102] 처리 시간이 미리 정해진 조건을 만족시키는 경우, 1 사이클당의 에칭량은 웨이퍼(W)의 온도 및 각 공정의 처리 시간의 증감에 따라 변화한다. 미리 정해진 조건이란, 공정(S14)의 목표 처리 시간을 루테늄과 산소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하로 하고, 그리고/또는, 공정(S16)의 목표 처리 시간을 루테늄과 염소의 반응이 포화되는 처리 시간 이하로 한 경우이다.

[0103] 이 경우, 각 공정의 목표 처리 시간이 상기 범위 내로 결정됨으로써, 웨이퍼(W)의 온도를 파라미터로 하여 면내 위치마다 루테늄막(L2)의 에칭률을 변경할 수 있다. 이 때문에, 방법(MT)에 따르면, 에칭률의 면내 균일성을 양호하게 유지하는 것뿐만 아니라, 루테늄막(L2)의 초기 막 두께의 불균일에 기인한 에칭 후의 잔막 두께의 면내 균일성의 저하를 억제할 수 있다.

[0104] 방법(MT)에 따르면, 어떤 목표 온도에서 목표 제어 시간을 자기 제한 영역에서의 처리 시간으로 함으로써, 공정(S14) 및 공정(S16)에서 에칭 스톱을 발생시킬 수 있다. 이에 의해, 방법(MT)에 따르면, 1 사이클당의 에칭량을 일정하게 제어할 수 있다.

[0105] 방법(MT)에 따르면, 두께의 면내 분포 데이터에 기초하여 루테늄막의 면내 온도 분포를 제어함으로써, 루테늄막의 면내 위치마다 에칭률을 변경할 수 있다. 이 때문에, 방법(MT)에 따르면, 에칭률의 면내 균일성을 양호하게 유지하는 것뿐만 아니라, 루테늄막의 초기 막 두께의 불균일에 기인한 에칭 후의 잔막 두께의 면내 균일성의 저

하를 억제할 수 있다.

[0106] 이상, 여러 가지의 실시형태에 대해서 설명해 왔지만, 전술한 실시형태에 한정되는 일없이 여러 가지의 변형 양태를 구성 가능하다. 예컨대, 방법(MT)은 유도 결합형의 플라즈마 처리 장치 마이크로파라고 하는 표면파를 이용하여 가스를 여기시키는 플라즈마 처리 장치라고 하는 임의의 타입의 플라즈마 처리 장치를 이용하여 실행되어도 좋다. 또한, 방법(MT)에서, 공정(S14)과 공정(S16) 중 어느 것이 먼저 실행되어도 좋다.

[0107] 방법(MT)은 공정(S14) 후 및 공정(S16) 후에서, 배기 공정을 포함하여도 좋다. 배기 공정에서는, 제어부(Cnt)는 가스가 처리 공간(Sp)으로부터 배기될 때까지 대기한다. 이에 의해, 산소 함유 가스와 염소 함유 가스의 혼합을 억제할 수 있다.

[0108] 방법(MT)에서, 제1 마스크 조정 공정(ST1), 에칭 공정(ST2) 및 제2 마스크 조정 공정(ST3)은 각각 상이한 장치에서 실행되어도 좋다.

[0109] 방법(MT)에서, 마스크(MK)의 치수의 면내 분포 데이터 및 루테늄막(L2)의 면내 분포 데이터는 미리 취득되어 있어도 좋고, 방법(MT)의 실행 중에 취득되어도 좋다.

[0110] 이하, 방법(MT)의 평가를 위해 실시한 여러 가지의 실험에 대해서 설명한다. 또한, 본 개시는 이하의 실험에 한정되는 것이 아니다.

[0111] (루테늄막 에칭 시의 자기 제한의 확인)

[0112] 방법(MT)에서의 공정(S14) 및 공정(S16)의 처리 시간을 변경하여 루테늄막을 에칭하였다. 플라즈마 처리의 조건을 이하에 나타낸다.

[0113] <공정(S14)>

[0114] 제1 고주파: 100 ㎒, 50 W

[0115] 처리 공간(Sp)의 압력: 1.33 Pa(10 mTorr)

[0116] 처리 가스: $O_2$

[0117] 처리 가스의 유량: 200 sccm

[0118] 웨이퍼(W)의 제어 온도: 25℃, 80℃

[0119] 처리 시간: 15 sec～180 sec

[0120] <공정(S16)>

[0121] 제1 고주파: 100 ㎒, 50 W

[0122] 처리 공간(Sp)의 압력: 1.33 Pa(10 mTorr)

[0123] 처리 가스: $Cl_2$

[0124] 처리 가스의 유량: 200 sccm

[0125] 웨이퍼(W)의 제어 온도: 25℃, 80℃

[0126] 처리 시간: 15 sec～180 sec

[0127] <사이클수>

[0128] 5회

[0129] 공정(S14) 및 공정(S16)의 처리 시간마다, 1 사이클당의 에칭량을 측정하였다. 공정(S14)과 공정(S16)의 처리 시간 및 제어 온도는 동일하게 하였다. 결과를 도 14에 나타낸다. 도 14는 각 공정의 처리 시간과 1 사이클당의 에칭량의 관계를 나타내는 실험 결과이다. 횡축은 각 공정의 처리 시간[sec], 종축은 EPC[㎚/cycle]이다. 도 14에 나타내는 바와 같이, 제어 온도 25℃에서는, 처리 시간이 120 sec 이상이 되었을 때에, 1 사이클당의 에칭량은 대략 일정해져, 자기 제한이 확인되었다. 제어 온도 80℃에서는, 처리 시간이 30 sec 이상이 되었을 때에, 1 사이클당의 에칭량은 대략 일정해져, 자기 제한이 확인되었다. 이와 같이, 제어 온도 25℃, 80℃에서, 루테늄막의 에칭량이 일정해지는 자기 제한이 존재하는 것이 확인되었다. 또한, 자기 제한이 되기까지의 처리 시간, 즉

준자기 제한 영역에서는, 루테늄막의 에칭량은 온도에 의존하는 것이 확인되었다. 이와 같이, 준자기 제한 영역에서 처리 시간과 제어 온도를 변경함으로써, 에칭량을 자기 제한 이하의 범위로 변경할 수 있는 것이 확인되었다.

[0130] (보호막의 막 두께와 웨이퍼의 온도의 관계의 확인)

[0131] (산화막)

[0132] 웨이퍼(W)의 처리 온도를 10℃~80℃로 설정하고, 원자 퇴적법에 따라 보호막(L3)을 형성하여, 막 두께(퇴적량)를 측정하였다. 보호막(L3)의 재료는 산화실리콘으로 하였다. 결과를 도 15에 나타낸다. 도 15는 웨이퍼의 온도와 산화막의 막 두께의 관계를 나타내는 실험 결과이다. 횡축이 웨이퍼(W)의 온도이고, 종축은 실리콘 산화막의 막 두께이다. 도 15에 나타내는 바와 같이, 웨이퍼(W)의 온도가 커짐에 따라, 실리콘 산화막의 막 두께가 커지는 것이 확인되었다. 즉, 방법(MT)에 따르면, 웨이퍼(W)의 면내 온도를 조정하면서 산화막의 보호막을 형성함으로써, 마스크(MK)의 면내 방향의 치수를 조정할 수 있는 것이 확인되었다.

[0133] (금속막)

[0134] 웨이퍼(W)의 처리 온도를 -60℃~20℃로 설정하고, 원자 퇴적법에 따라 보호막(L3)을 형성하여, 막 두께(퇴적량)를 측정하였다. 보호막(L3)의 재료는 텅스텐으로 하였다. 도 16은 텅스텐막의 막 두께 측정 부분을 나타내는 도면이다. 도 16에 나타내는 텅스텐막(WF)의 막 두께(FTa, FTb, FTc, FTd)를 각각 측정하였다. 막 두께(FTa)는 마스크(EMK)의 상면의 위에서의 텅스텐막(WF)의 막 두께이다. 막 두께(FTb)는 마스크(EMK)의 상면을 포함하는 횡단면 상에서의 텅스텐막(WF)의 횡방향의 막 두께이다. 막 두께(FTc)는 마스크(EMK) 및 텅스텐막(WF)에 의해 제공되고 있는 스페이스(MS)의 폭이 최소인 횡단면 상에서의 텅스텐막(WF)의 횡방향의 막 두께이다. 막 두께(FTd)는 마스크(EMK)의 상면으로부터 하방으로 150 ㎚의 거리를 갖는 횡단면 상에서의 텅스텐막(WF)의 막 두께이다. 도 17은 텅스텐막의 막 두께 측정 결과를 나타내는 그래프이다. 도 17에서, 횡축은 막 형성 시의 웨이퍼(W)의 온도를 나타내고 있고, 종축은 텅스텐막의 막 두께를 나타내고 있다. 도 17에 나타내는 바와 같이, 웨이퍼(W)의 온도가 커짐에 따라, 텅스텐막의 막 두께가 작아지는 것이 확인되었다. 즉, 방법(MT)에 따르면, 웨이퍼(W)의 면내 온도를 조정하면서 금속막의 보호막을 형성함으로써, 마스크(MK)의 면내 방향의 치수를 조정할 수 있는 것이 확인되었다.

## *부호의 설명*

[0135]

10: 플라즈마 처리 장치
12: 처리 용기
12e: 배기구
12g: 반입출구
14: 지지부
18a: 제1 플레이트
18b: 제2 플레이트
22: 직류 전원
23: 스위치
24: 냉매 유로
26a: 배관
26b: 배관
28: 가스 공급 라인
30: 상부 전극
32: 절연성 차폐 부재
34: 전극판
34a: 가스 토출 구멍
36: 전극 지지체
36a: 가스 확산실
36b: 가스 통류 구멍
36c: 가스 도입구
38: 가스 공급관
40: 가스 소스군
42: 밸브군
44: 유량 제어기군
46: 디포지션 실드
48: 배기 플레이트
50: 배기 장치
52: 배기관
54: 게이트 밸브
62: 제1 고주파 전원
64: 제2 고주파 전원

66: 정합기

68: 정합기

70: 전원

Cnt: 제어부

DT: 데이터

ESC: 정전 척

FR: 포커스 링

FW: 주면

HP: 히터 전원

HT: 온도 조절부

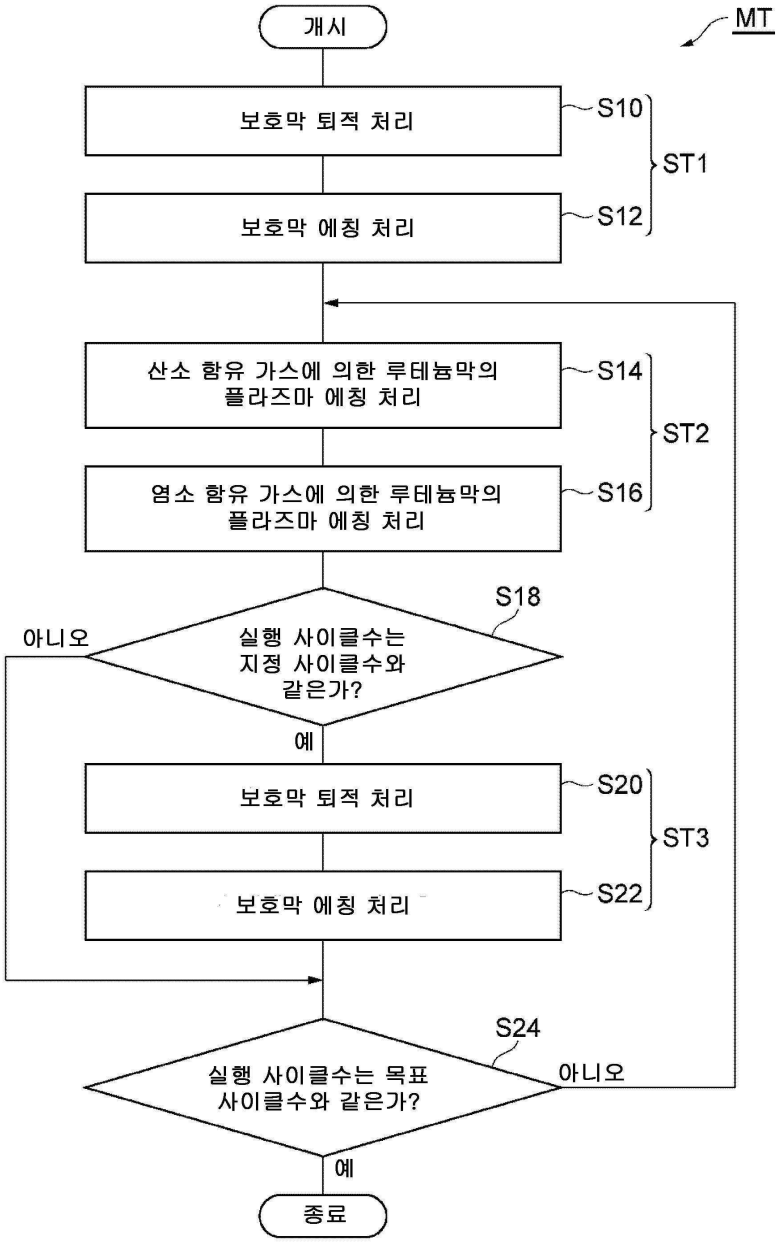
PD: 배치대

Sp: 처리 공간

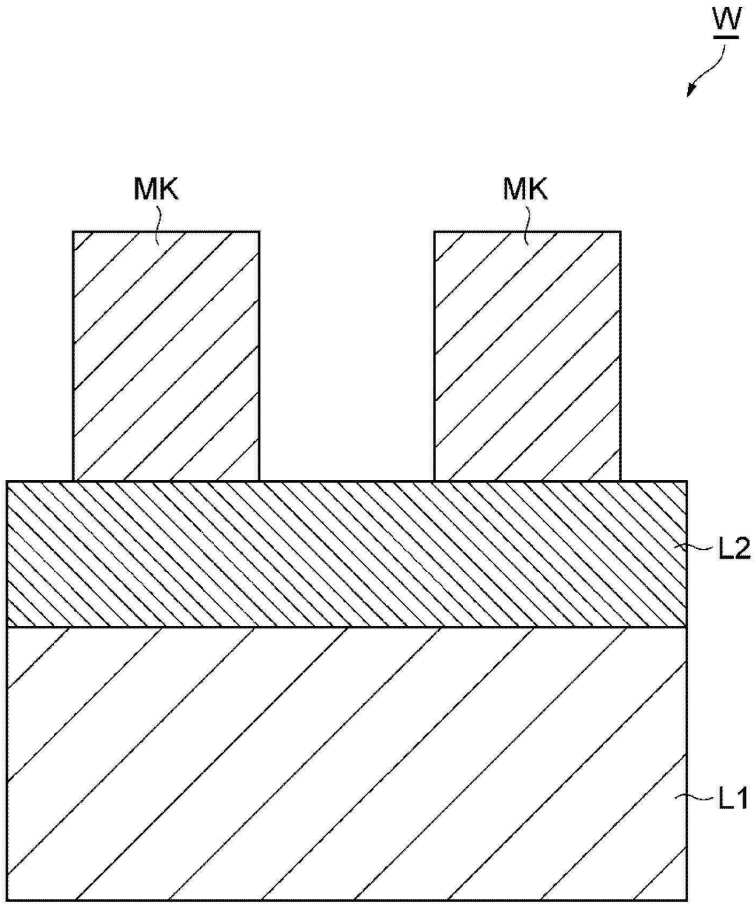
W: 웨이퍼

## 도면

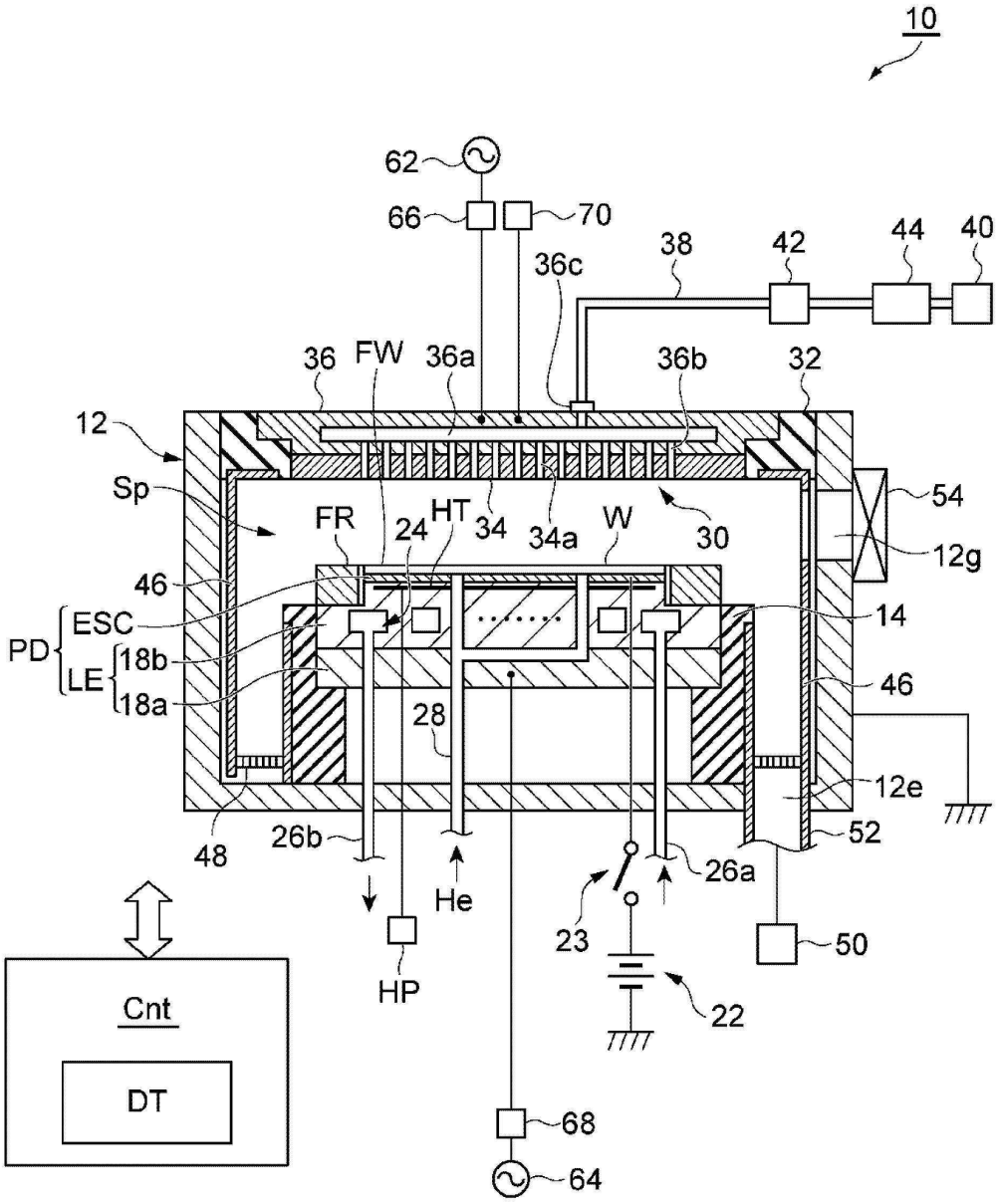
### 도면1



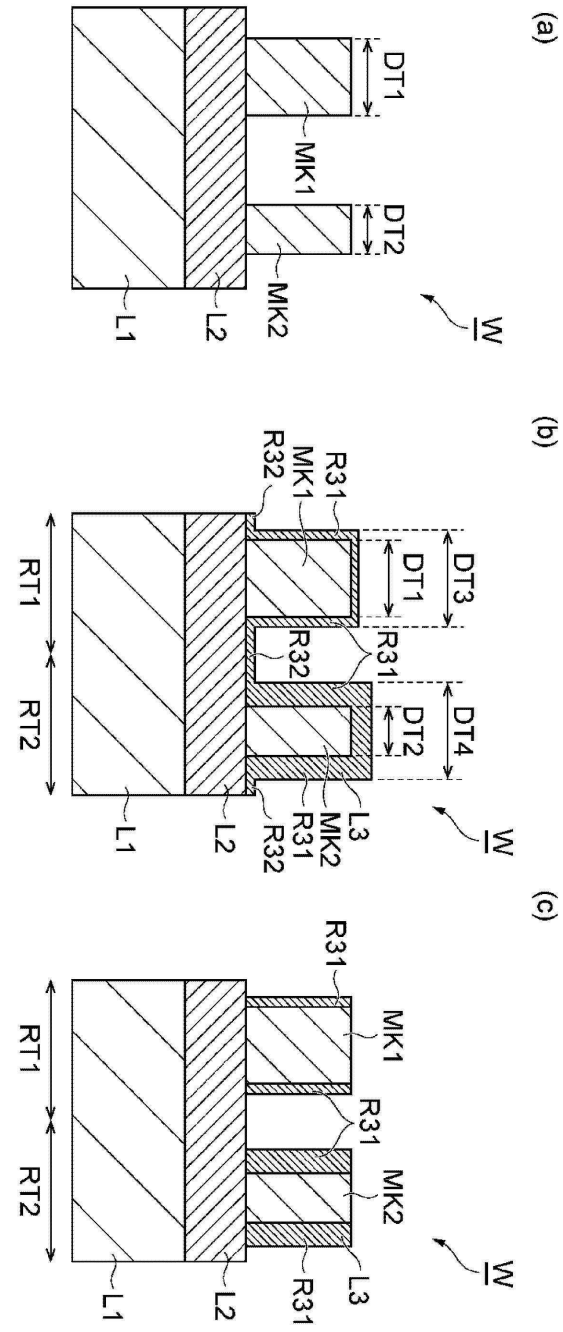
도면2



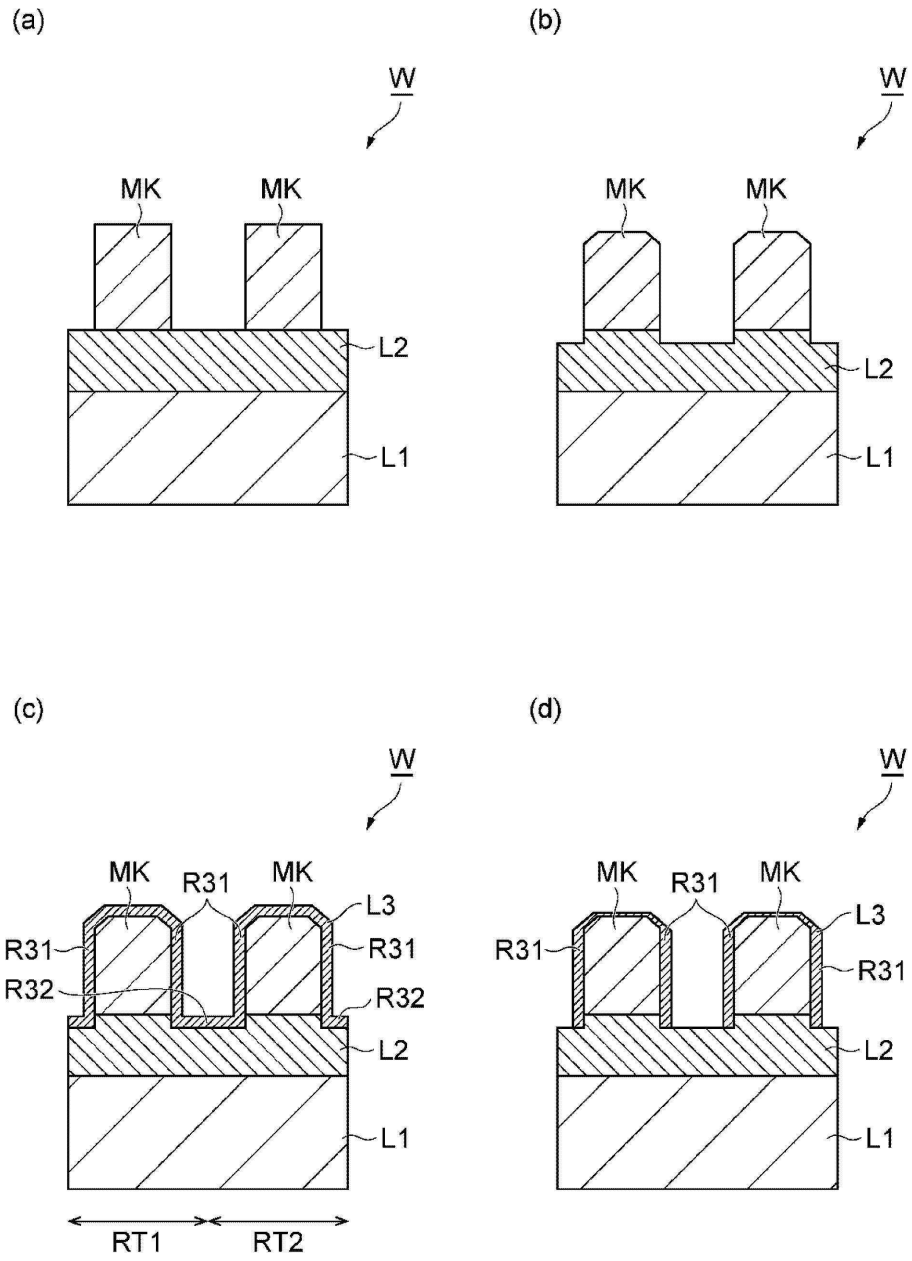
도면3


10
62
66
70
38
42
44
40
36c
36
FW
36a
36b
32
12
Sp
FR
24
HT
34
34a
W
30
54
12g
46
PD
ESC
LE
18b
18a
14
46
28
12e
48
26b
52
26a
He
23
50
HP
22
Cnt
DT
68
64

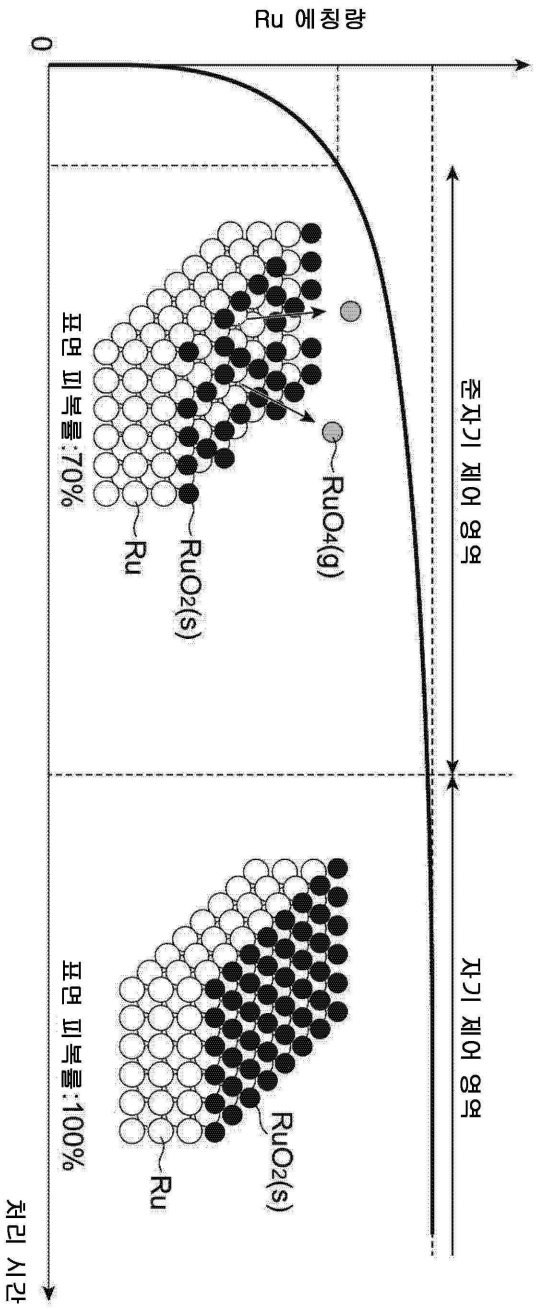
도면4


(a)
DT1
MK1
DT2
MK2
L1
L2
W
(b)
R32
MK1
R31
DT1
DT3
R32
R31
DT2
DT4
RT1
RT2
L1
L2
R32
R31
MK2
L3
W
(c)
R31
MK1
RT1
R31
MK2
RT2
L1
L2
R31
L3
W

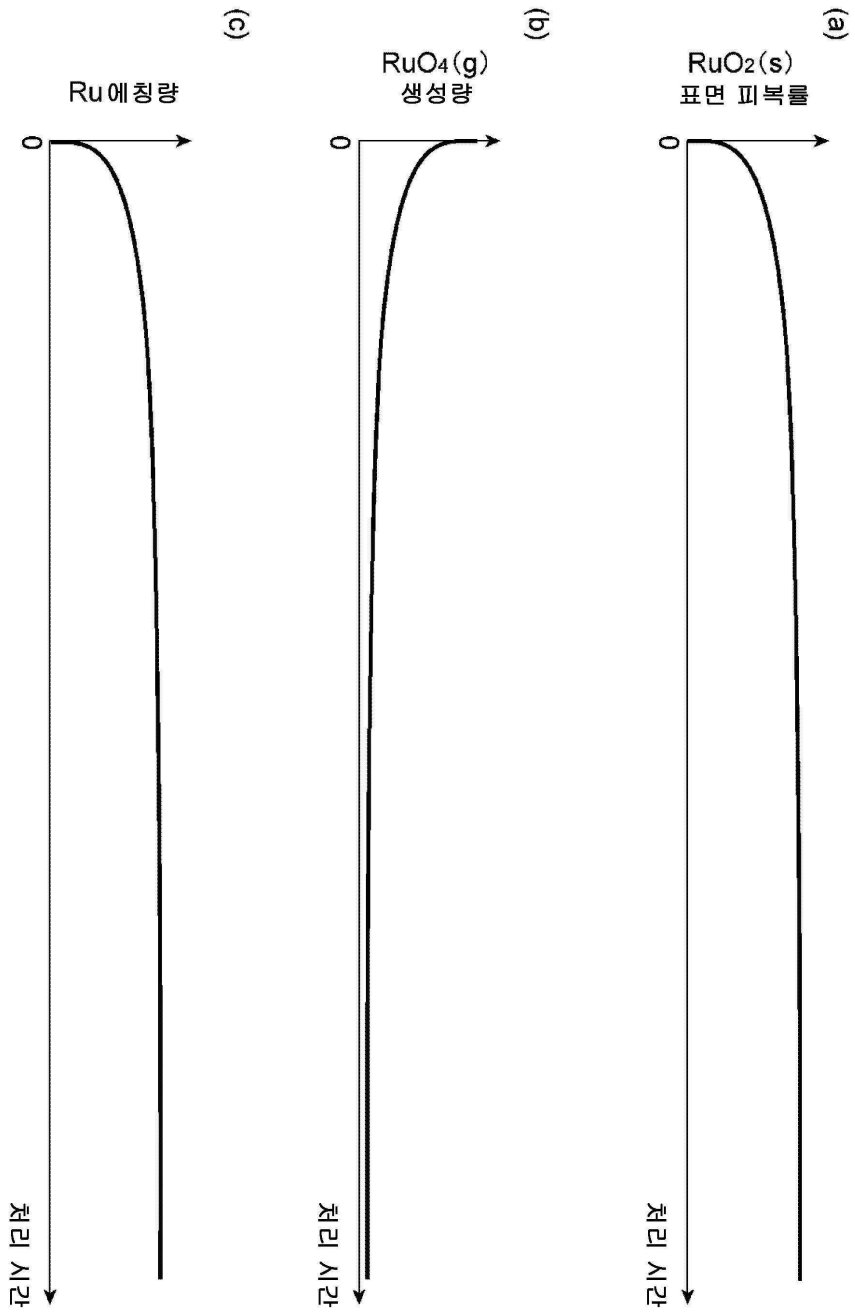
도면5


(a)
W
MK
MK
L2
L1
(b)
W
MK
MK
L2
L1
(c)
W
MK
R31
MK
L3
R31
R31
R32
R32
L2
L1
RT1
RT2
(d)
W
MK
R31
MK
L3
R31
R31
L2
L1

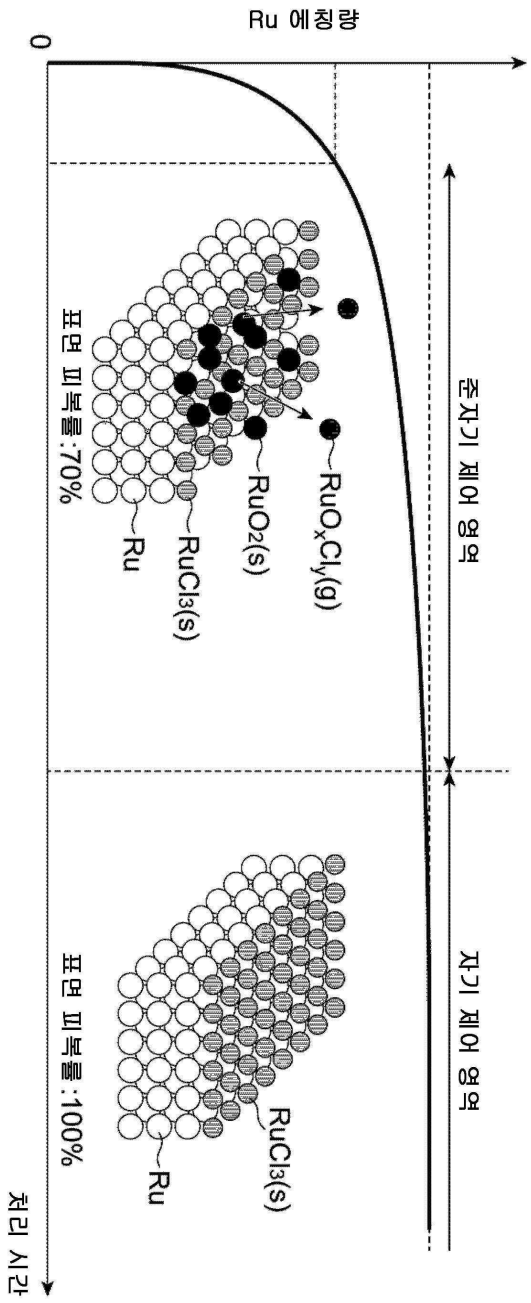
도면6


Ru 에칭량
0
처리 시간
표면 피복률:70%
Ru
RuO2(s)
RuO4(g)
촉자기 제어 영역
표면 피복률:100%
Ru
RuO2(s)
자기 제어 영역

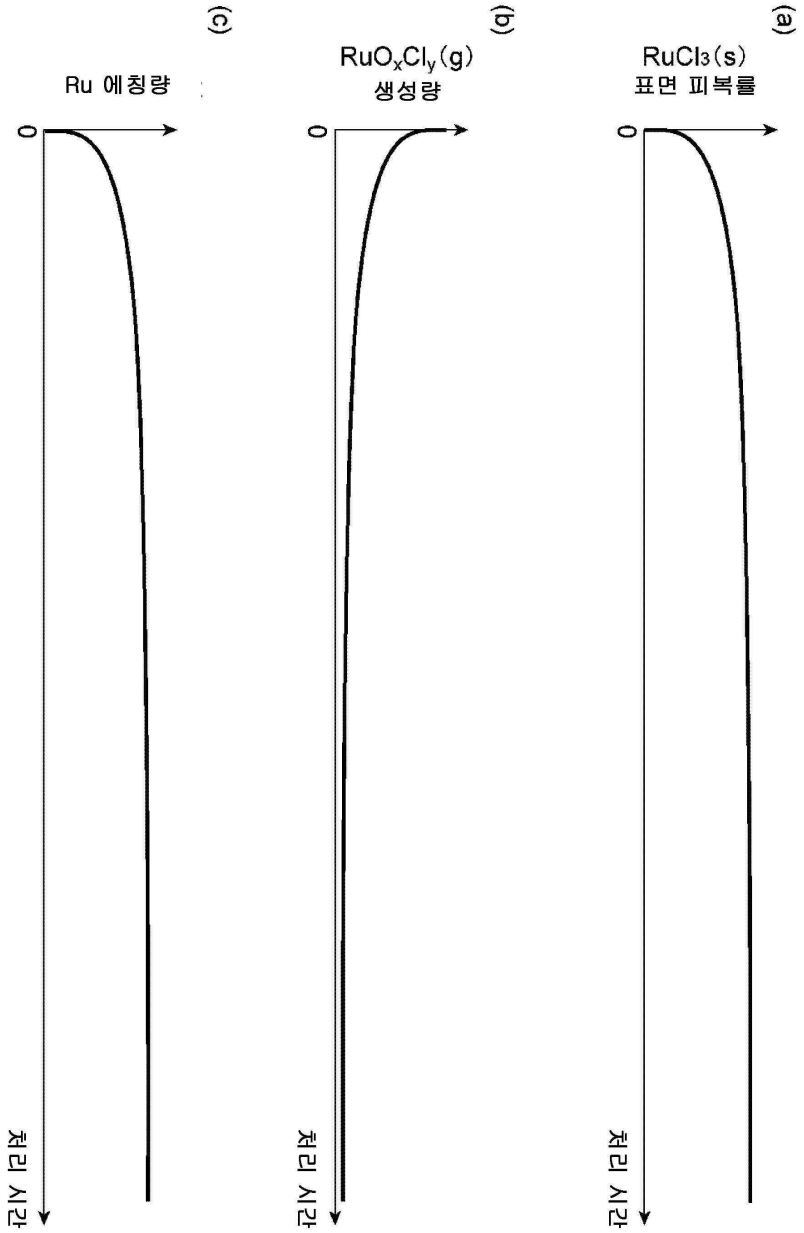
도면7



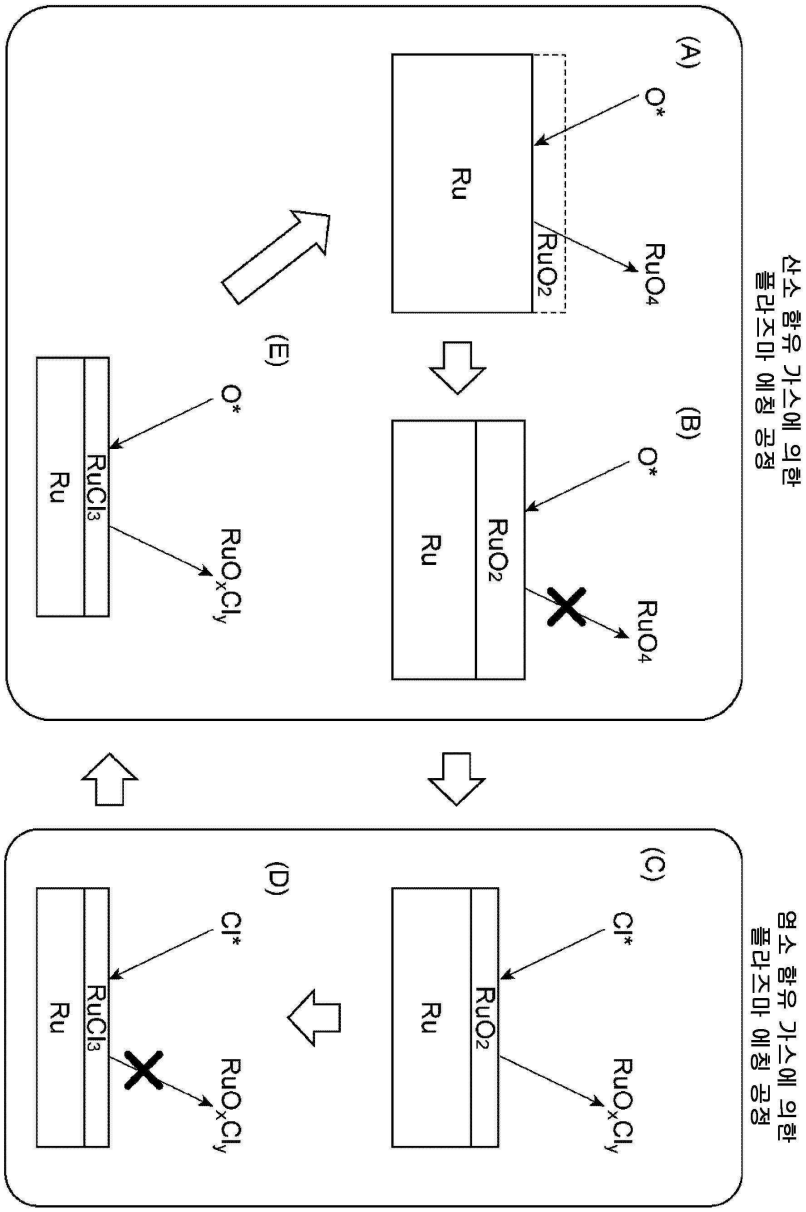
도면8


Ru 에칭량
0
초기 제어 영역
자기 제어 영역
표면 피복률:70%
표면 피복률:100%
Ru
RuCl3(s)
RuO2(s)
RuOxCly(g)
Ru
RuCl3(s)
처리 시간

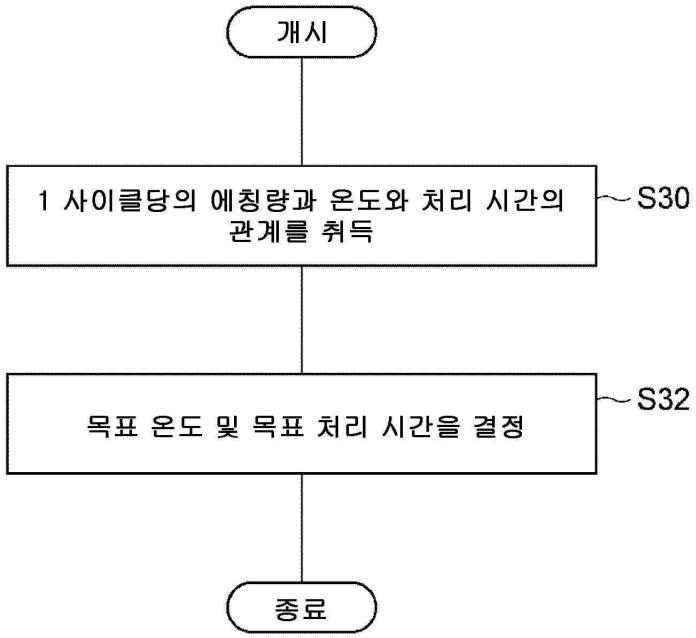
도면9



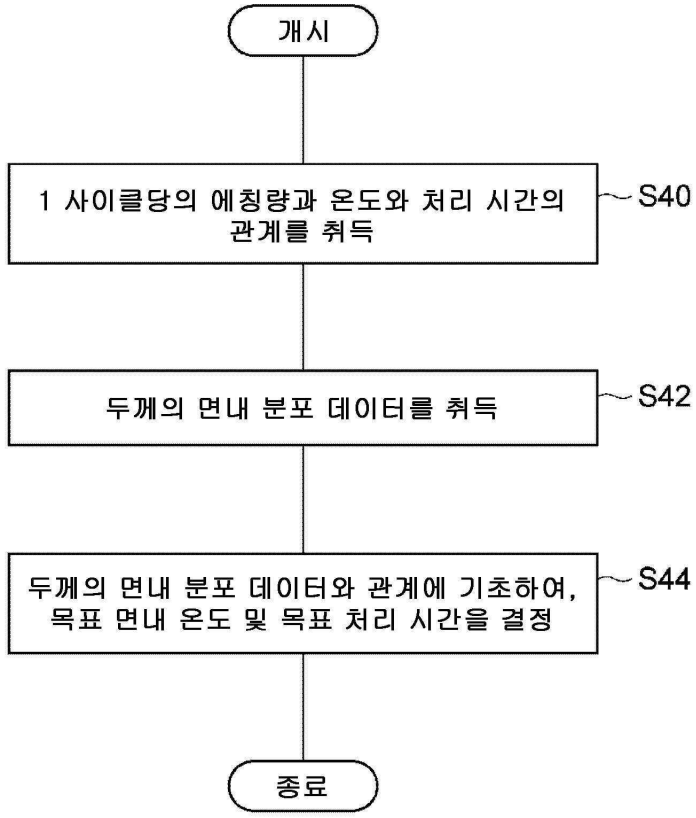
도면10


(A)
O*
Ru
RuO2
RuO4
(B)
O*
Ru
RuO2
RuO4
(C)
Cl*
Ru
RuO2
RuOxCly
(D)
Cl*
Ru
RuCl3
RuOxCly
(E)
O*
Ru
RuCl3
RuOxCly
산소 함유 가스에 의한
플라즈마 에칭 공정
염소 함유 가스에 의한
플라즈마 에칭 공정

도면11

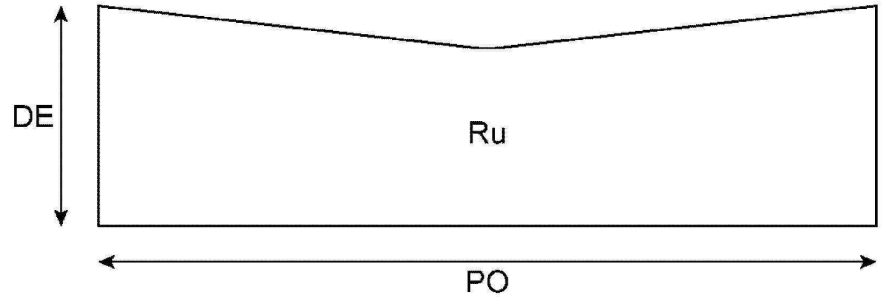

개시
1 사이클당의 에칭량과 온도와 처리 시간의 관계를 취득
S30
목표 온도 및 목표 처리 시간을 결정
S32
종료

도면12

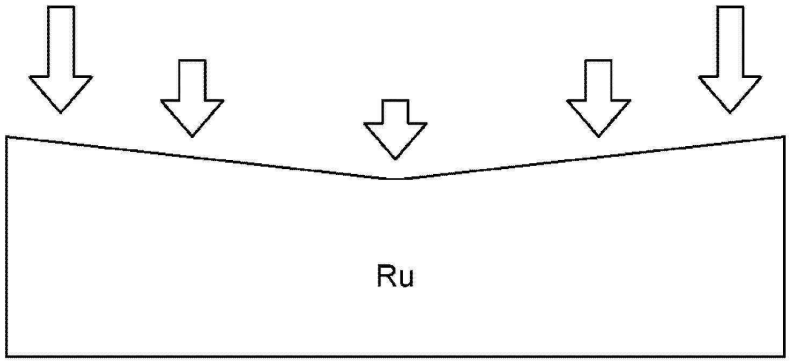

개시
1 사이클당의 에칭량과 온도와 처리 시간의 관계를 취득
S40
두께의 면내 분포 데이터를 취득
S42
두께의 면내 분포 데이터와 관계에 기초하여, 목표 면내 온도 및 목표 처리 시간을 결정
S44
종료

도면13

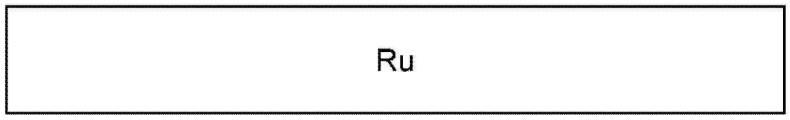
(A)



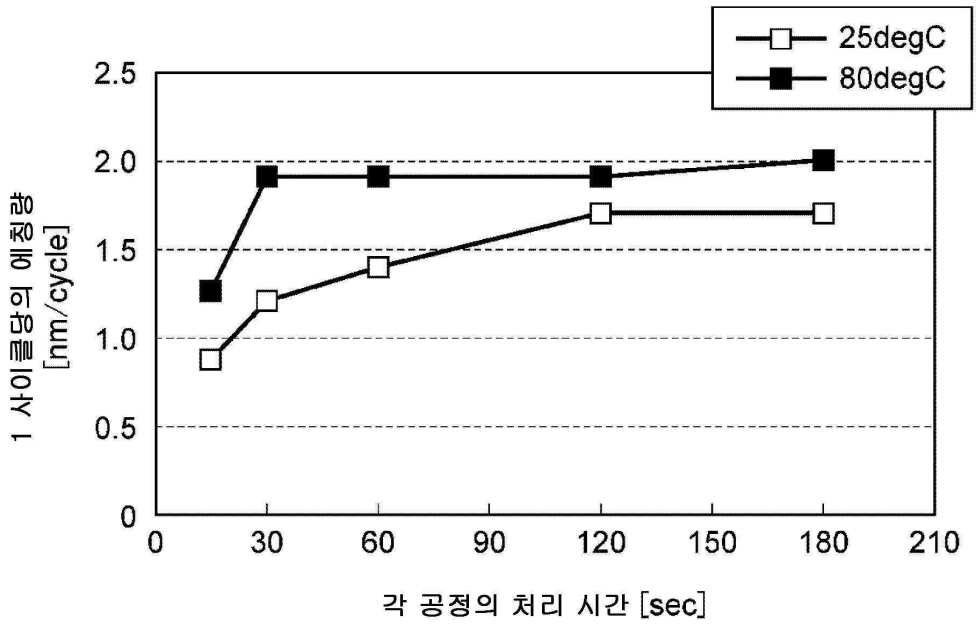

(B)



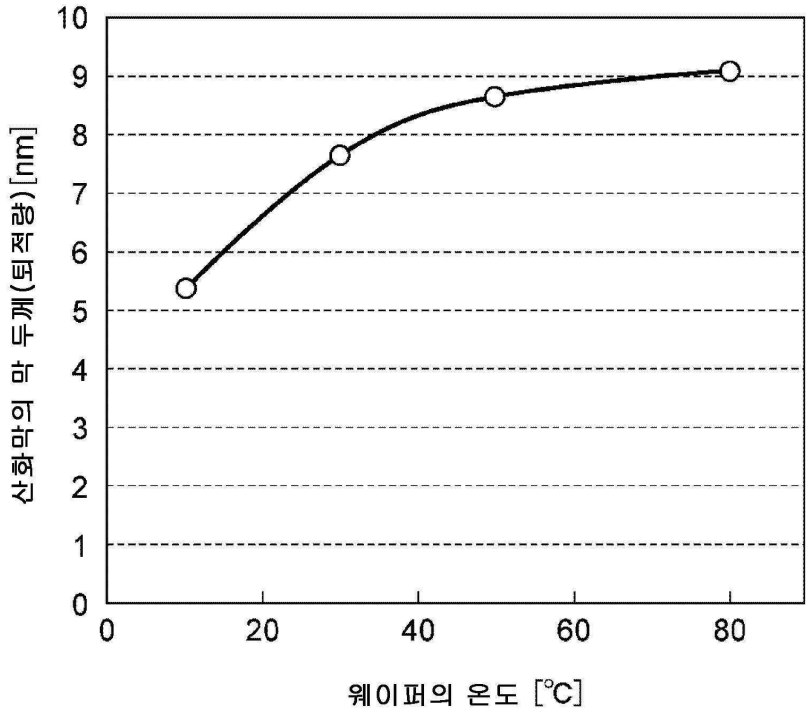

(C)



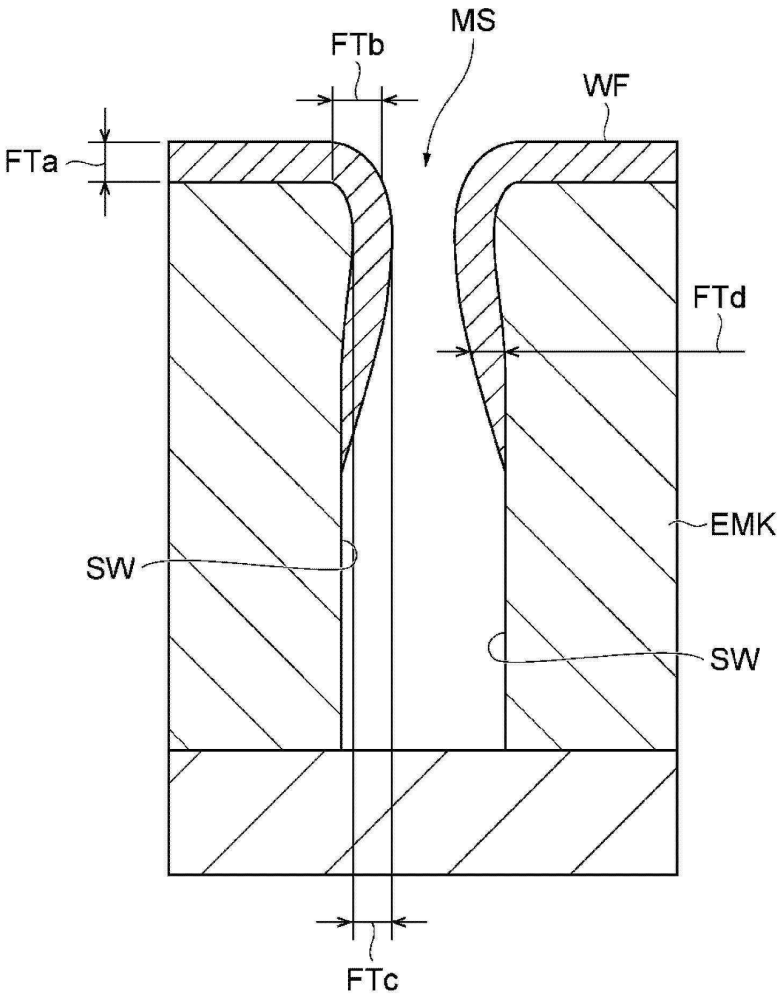
도면14


25degC
80degC
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
0
0
30
60
90
120
150
180
210
1 사이클당의 에칭량 [nm/cycle]
각 공정의 처리 시간 [sec]

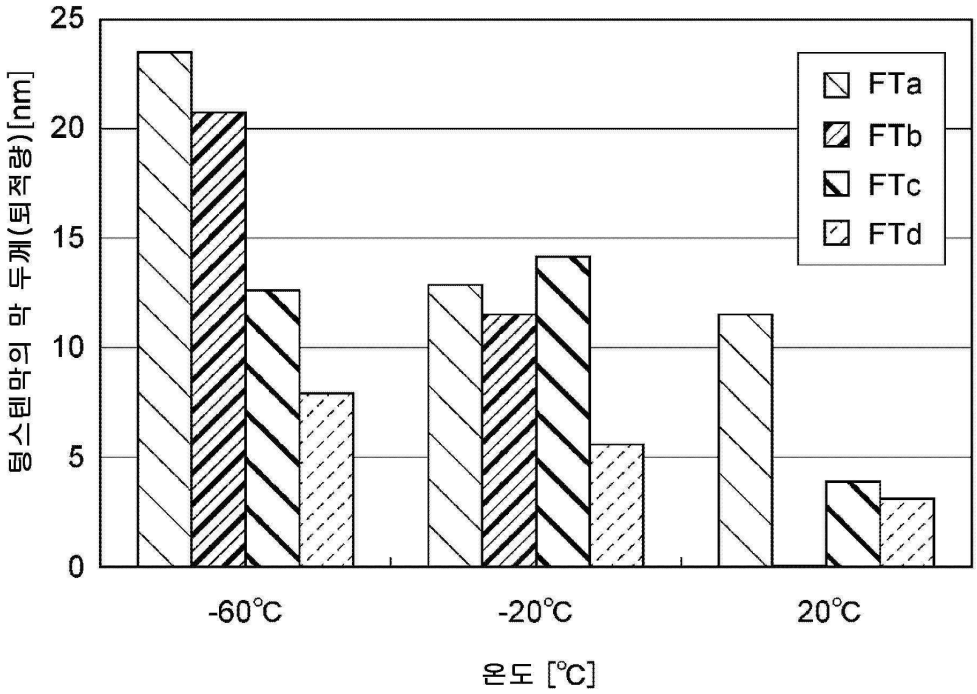
도면15


10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
0
20
40
60
80
산화막의 막 두께(퇴적량)[nm]
웨이퍼의 온도 [℃]

도면16


MS
FTb
WF
FTa
FTd
EMK
SW
SW
FTc

도면17


25
20
15
10
5
0
텅스텐막의 막 두께(퇴적량)[nm]
FTa
FTb
FTc
FTd
-60℃
-20℃
20℃
온도 [℃]