



공개특허 10-2023-0165190



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0165190  
(43) 공개일자 2023년12월05일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H01L 21/311 (2006.01) H01J 37/32 (2006.01)*  
*H01L 21/3213 (2006.01) H01L 21/67 (2006.01)*
- (52) CPC특허분류  
*H01L 21/31116 (2013.01)*  
*H01J 37/32091 (2013.01)*
- (21) 출원번호 10-2023-7007234
- (22) 출원일자(국제) 2022년03월31일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2023년02월28일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2022/016596
- (87) 국제공개번호 WO 2022/215649  
국제공개일자 2022년10월13일
- (30) 우선권주장  
63/172,316 2021년04월08일 미국(US)
- (71) 출원인  
도쿄엘렉트론가부시키가이샤  
일본 도쿄도 미나토구 아카사카 5쵸메 3번 1고
- (72) 발명자  
스다 류타로  
일본 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈  
1 도쿄엘렉트론 미야기 가부시키가이샤 내  
도무라 마주  
일본 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈  
1 도쿄엘렉트론 미야기 가부시키가이샤 내  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
특허법인태평양

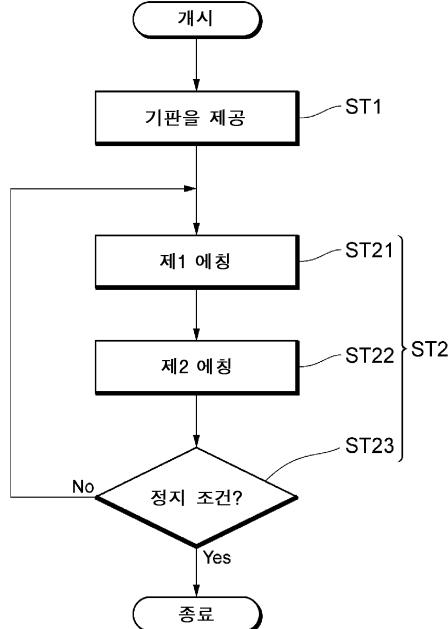
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 예칭 방법 및 플라즈마 처리 시스템

### (57) 요 약

예칭의 형상 이상을 억제하는 기술을 제공한다. 챔버를 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서 실행되는 예칭 방법이 제공된다. 이 방법은 (a) 실리콘 함유막과 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내의 기판 지지부 상에 제공하는 공정과, (b) 실리콘 함유막을 예칭하는 공정을 포함하고, (b)의 공정은 (b-1) 불화 수소 가스와, (뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



불화 수소와 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함하는 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 제1 처리 가스는, 반응 제어 가스로서, 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 반응을 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 공정과, (b-2) 불화 수소 가스를 포함하는 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 제2 처리 가스는, 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/ 또는 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 반응 제어 가스를 포함하지 않는 공정을 포함한다.

## (52) CPC특허분류

*H01J 37/32137* (2013.01)*H01L 21/31144* (2013.01)*H01L 21/32137* (2013.01)*H01L 21/32139* (2013.01)*H01L 21/67069* (2013.01)

## (72) 발명자

## 기하라 요시히데

일본 미야기肯 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈 1  
도쿄엘렉트론 미야기 가부시키가이샤 내

## 미우라 다이키

일본 미야기肯 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈 1  
도쿄엘렉트론 미야기 가부시키가이샤 내

## 박재영

경기도 화성시 삼성1로1길 56 도쿄엘렉트론 코리아  
가부시키가이샤 내

## 후쿠나가 유스케

일본 미야기Ken 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈 1  
도쿄엘렉트론 미야기 가부시키가이샤 내

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

챔버를 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서 실행되는 에칭 방법으로서,

(a) 실리콘 함유막과 상기 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내에 제공하는 공정과,

(b) 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정을 포함하고,

상기 (b)의 공정은,

(b-1) 불화 수소 가스와, 불화 수소와 상기 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함하는 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 상기 제1 처리 가스는, 상기 반응 제어 가스로서, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 공정과,

(b-2) 불화 수소 가스를 포함하는 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 상기 제2 처리 가스는, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 상기 반응 제어 가스를 포함하지 않는 공정을 포함하는, 에칭 방법.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 (b)의 공정에 있어서, 상기 (b-1)의 공정 후에, 상기 (b-2)의 공정을 행하는, 에칭 방법.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 (b)의 공정에 있어서, 상기 (b-2)의 공정 후에, 상기 (b-1)의 공정을 행하는, 에칭 방법.

#### 청구항 4

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 (b)의 공정에 있어서, 상기 (b-1)의 공정과 상기 (b-2)의 공정을 교대로 반복하는, 에칭 방법.

#### 청구항 5

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 (b)의 공정에 있어서, 에칭에 의해 상기 실리콘 함유막에 형성되는 오목부의 깊이, 해당 오목부의 애스팩트비, 및 에칭 시간 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 (b-1)의 공정과 상기 (b-2)의 공정의 전환을 행하는, 에칭 방법.

#### 청구항 6

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 (b-1)의 공정에 있어서, 제1 듀티비를 갖는 소스 RF 신호의 펄스파를 이용하여, 상기 제1 처리 가스로부터 플라즈마를 생성하고,

상기 (b-2)의 공정에 있어서, 상기 제1 듀티비보다도 작은 제2 듀티비를 갖는 소스 RF 신호의 펄스파를 이용하여, 상기 제2 처리 가스로부터 플라즈마를 생성하는, 에칭 방법.

**청구항 7**

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 반응 촉진 가스는 인 함유 가스, 질소 함유 가스 및 수소 함유 가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종인, 예칭 방법.

**청구항 8**

청구항 7에 있어서,

상기 인 함유 가스는 할로젠화 인가스인, 예칭 방법.

**청구항 9**

청구항 7에 있어서,

상기 질소 함유 가스는  $\text{NH}_3$  가스,  $\text{NF}_3$  가스,  $\text{NO}$  가스 및  $\text{NO}_2$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종인, 예칭 방법.

**청구항 10**

청구항 7에 있어서,

상기 수소 함유 가스는 OH기를 갖는 가스인, 예칭 방법.

**청구항 11**

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 반응 억제 가스는 염소 함유 가스인, 예칭 방법.

**청구항 12**

청구항 11에 있어서,

상기 염소 함유 가스는  $\text{Cl}_2$  가스,  $\text{SiCl}_2$  가스,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  가스,  $\text{SiCl}_4$  가스,  $\text{Si}_2\text{Cl}_6$  가스,  $\text{CHCl}_3$  가스,  $\text{CCl}_4$  가스 및  $\text{BCl}_3$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종인, 예칭 방법.

**청구항 13**

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 처리 가스 및 상기 제2 처리 가스 중 어느 것에 있어서도, 불활성 가스를 제외하고 불화 수소 가스의 분압이 가장 큰, 예칭 방법.

**청구항 14**

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 처리 가스 및 상기 제2 처리 가스 중 적어도 일방은, 탄소 함유 가스, 산소 함유 가스, 탄소를 포함하지 않는 불소 함유 가스 및 불소 이외의 할로젠 함유 가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 더 포함하는, 예칭 방법.

**청구항 15**

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 처리 가스에 포함되는 반응 억제 가스와, 상기 제2 처리 가스에 포함되는 반응 억제 가스가 서로 동일한 종류의 가스인, 예칭 방법.

**청구항 16**

청구항 1 내지 청구항 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 처리 가스에 포함되는 반응 촉진 가스와, 상기 제2 처리 가스에 포함되는 반응 촉진 가스가 서로 동일한 종류의 가스인, 에칭 방법.

### 청구항 17

챔버를 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서 실행되는 에칭 방법으로서,

(a) 실리콘 함유막과 상기 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내에 제공하는 공정과,

(b) 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정을 포함하고,

(b-1) 제1 처리 가스로부터 생성되는, 불화 수소의 활성종을 포함하는 플라즈마를 이용하여, 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 상기 제1 처리 가스는, 불화 수소와 상기 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스로서, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 상기 반응을 억제하는 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 공정과,

(b-2) 제2 처리 가스로부터 생성되는, 불화 수소의 활성종을 포함하는 플라즈마를 이용하여, 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 상기 제2 처리 가스는, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 상기 반응 제어 가스를 포함하지 않는 공정을 포함하는, 에칭 방법.

### 청구항 18

청구항 17에 있어서,

상기 불화 수소의 활성종은, 불화 수소 가스 또는 하이드로플루오로카본 가스 중 적어도 1종의 가스로부터 생성되는, 에칭 방법.

### 청구항 19

청구항 17에 있어서,

상기 불화 수소의 활성종은 불소 함유 가스 및 수소 함유 가스로부터 생성되는, 에칭 방법.

### 청구항 20

챔버, 상기 챔버 내에 마련된 기판 지지부, 플라즈마 생성부, 및 제어부를 구비하고,

상기 제어부는,

(a) 실리콘 함유막과 상기 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내의 기판 지지부 상에 제공하는 제어와,

(b) 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 제어를 실행하고,

상기 (b)의 제어는,

(b-1) 불화 수소 가스와, 불화 수소와 상기 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함하는 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 제어로서, 상기 제1 처리 가스는, 상기 반응 제어 가스로서, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 상기 반응을 억제하는 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 제어와,

(b-2) 불화 수소 가스를 포함하는 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 제어로서, 상기 제2 처리 가스는, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 상기 반응 제어 가스를 포함하지 않는 제어를 포함하는, 플라즈마 처리 시스템.

### 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] 본 개시의 예시적 실시 형태는, 에칭 방법 및 플라즈마 처리 시스템에 관한 것이다.

## 배경기술

[0002] 특히 문헌 1에는, 실리콘을 함유하는 기판 내의 막을, 어모페스 카본 또는 유기 폴리머를 포함하는 마스크를 이용하여 에칭하는 기술이 개시되어 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 특허 문헌 1 : 일본 공개특허공보 2016 - 39310호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0004] 본 개시는 에칭의 형상 이상을 억제하는 기술을 제공한다.

### 과제의 해결 수단

[0005] 본 개시의 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 챔버를 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서 실행되는 에칭 방법으로서, (a) 실리콘 함유막과 상기 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내의 기판 지지부 상에 제공하는 공정과, (b) 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정을 포함하고, 상기 (b)의 공정은 (b-1) 불화 수소 가스와, 불화 수소와 상기 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함하는 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 상기 제1 처리 가스는, 상기 반응 제어 가스로서, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 공정과, (b-2) 불화 수소 가스를 포함하는 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 상기 제2 처리 가스는 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 상기 반응 제어 가스를 포함하지 않는 공정을 포함하는, 에칭 방법이 제공된다.

## 발명의 효과

[0006] 본 개시의 하나의 예시적 실시 형태에 의하면, 에칭의 형상 이상을 억제하는 기술을 제공할 수 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 예시적인 플라즈마 처리 시스템을 개략적으로 나타내는 도면이다.

도 2는 본 처리 방법의 예시적인 실시 형태를 나타내는 순서도이다.

도 3은 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타내는 도면이다.

도 4는 반응 촉진 가스를 이용했을 경우의 공정 ST2의 타이밍 차트의 일례이다.

도 5는 반응 억제 가스를 이용했을 경우의 공정 ST2의 타이밍 차트의 일례이다.

도 6a는 H 기간 종료시의 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타내는 도면이다.

도 6b는 L 기간 종료시의 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타내는 도면이다.

도 7은 반응 촉진 가스를 이용했을 경우의 공정 ST2의 타이밍 차트의 다른 예이다.

도 8은 반응 억제 가스를 이용했을 경우의 공정 ST2의 타이밍 차트의 다른 예이다.

도 9a는 H1 기간 종료시의 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타내는 도면이다.

도 9b는 L1 기간 종료시의 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타내는 도면이다.

도 10은 본 처리 방법의 변형예를 나타내는 순서도이다.

도 11은 본 처리 방법의 변형예를 나타내는 순서도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 이하, 본 개시의 각 실시 형태에 대해 설명한다.

[0009] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 챔버를 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서 실행되는 에칭 방법으로서, (a) 실리콘 함유막과 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내의 기판 지지부 상에 제공하는 공정과, (b) 실리콘 함유막을 에칭하는 공정을 포함하고, (b)의 공정은 (b-1) 불화 수소 가스와, 불화 수소와 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함하는 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 제1 처리 가스는, 반응 제어 가스로서, 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 반응을 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 공정과, (b-2) 불화 수소 가스를 포함하는 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 제2 처리 가스는, 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 반응 제어 가스를 포함하지 않는 공정을 포함하는 에칭 방법이 제공된다.

[0010] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, (b)의 공정에 있어서, (b-1)의 공정 후에, (b-2)의 공정을 행하는 에칭 방법을 제공한다.

[0011] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, (b)의 공정에 있어서, (b-2)의 공정 후에, (b-1)의 공정을 행하는 에칭 방법을 제공한다.

[0012] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, (b)의 공정에 있어서, (b-1)의 공정과 (b-2)의 공정을 교대로 반복한다.

[0013] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, (b)의 공정에 있어서, 에칭에 의해 실리콘 함유막에 형성되는 오목부의 깊이, 오목부의 애스펙트비, 및 에칭 시간 중 적어도 하나에 기초하여, (b-1)의 공정과 (b-2)의 공정의 전환을 행한다.

[0014] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, (b-1)의 공정에 있어서, 제1 듀티비를 갖는 소스 RF 신호의 펄스파를 이용하여, 제1 처리 가스로부터 플라즈마를 생성하고, (b-2)의 공정에 있어서, 제1 듀티비보다도 작은 제2 듀티비를 갖는 소스 RF 신호의 펄스파를 이용하여, 제2 처리 가스로부터 플라즈마를 생성한다.

[0015] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 반응 촉진 가스는 인 함유 가스, 질소 함유 가스 및 수소 함유 가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이다.

[0016] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 인 함유 가스는 할로젠판 인가스이다.

[0017] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 질소 함유 가스는  $\text{NH}_3$  가스,  $\text{NF}_3$  가스,  $\text{NO}$  가스 및  $\text{NO}_2$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이다.

[0018] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 수소 함유 가스는  $\text{OH}$ 기를 갖는 가스이다.

[0019] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 반응 억제 가스는 염소 함유 가스이다.

[0020] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 염소 함유 가스는  $\text{Cl}_2$  가스,  $\text{SiCl}_2$  가스,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  가스,  $\text{SiCl}_4$  가스,  $\text{Si}_2\text{Cl}_6$  가스,  $\text{CHCl}_3$  가스,  $\text{CCl}_4$  가스 및  $\text{BCl}_3$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이다.

[0021] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 제1 처리 가스 및 제2 처리 가스 중 어느 것에 있어서도, 불활성 가스를 제외하고 불화 수소 가스의 분압이 가장 크다.

[0022] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 제1 처리 가스 및 제2 처리 가스 중 적어도 일방은, 탄소 함유 가스, 산소 함유 가스, 탄소를 포함하지 않는 불소 함유 가스 및 불소 이외의 할로젠판 함유 가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 더 포함한다.

[0023] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 제1 처리 가스에 포함되는 반응 억제 가스와, 제2 처리 가스에 포함되는 반

응 역제 가스가 서로 동일한 종류의 가스이다.

[0024] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 제1 처리 가스에 포함되는 반응 촉진 가스와, 제2 처리 가스에 포함되는 반응 촉진 가스가 서로 동일한 종류의 가스이다.

[0025] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 챔버를 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서 실행되는 예칭 방법으로서, (a) 실리콘 함유막과 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내의 기판 지지부 상에 제공하는 공정과, (b) 실리콘 함유막을 예칭하는 공정을 포함하고, (b-1) 제1 처리 가스로부터 생성되는, 불화 수소의 활성종을 포함하는 플라즈마를 이용하여, 실리콘 함유막을 예칭하는 공정으로서, 제1 처리 가스는 불화 수소와 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스로서, 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 반응을 억제하는 반응 역제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 공정과, (b-2) 제2 처리 가스로부터 생성되는, 불화 수소의 활성종을 포함하는 플라즈마를 이용하여, 실리콘 함유막을 예칭하는 공정으로서, 제2 처리 가스는 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 반응을 억제하는 반응 역제 가스를 제1 처리 가스 중의 반응 역제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 반응 제어 가스를 포함하지 않는 공정을 포함하는 예칭 방법이 제공된다.

[0026] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 불화 수소의 활성종은 불화 수소 가스 또는 하이드로플루오로카본 가스 중 적어도 1종의 가스로부터 생성된다.

[0027] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 불화 수소의 활성종은 불소 함유 가스 및 수소 함유 가스로부터 생성된다.

[0028] 하나의 예시적 실시 형태에 있어서, 챔버, 챔버 내에 마련된 기판 지지부, 플라즈마 생성부, 및 제어부를 구비하고, 제어부는 (a) 실리콘 함유막과 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내의 기판 지지부 상에 제공하는 제어와, (b) 실리콘 함유막을 예칭하는 제어를 실행하고, (b)의 제어는 (b-1) 불화 수소 가스와, 불화 수소와 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함하는 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 실리콘 함유막을 예칭하는 제어로서, 제1 처리 가스는, 반응 제어 가스로서, 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 반응을 억제하는 반응 역제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 제어와, (b-2) 불화 수소 가스를 포함하는 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 실리콘 함유막을 예칭하는 제어로서, 제2 처리 가스는, 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 반응을 억제하는 반응 역제 가스를 제1 처리 가스 중의 반응 역제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 반응 제어 가스를 포함하지 않는 제어를 포함하는 플라즈마 처리 시스템이 제공된다.

[0029] 이하, 도면을 참조하여, 본 개시의 각 실시 형태에 대해 상세하게 설명한다. 또한, 각 도면에 있어서 동일 또는 마찬가지인 요소에는 동일한 부호를 부여하고, 중복하는 설명을 생략한다. 특별히 언급하지 않는 한, 도면에 나타내는 위치 관계에 기초하여 상하 좌우 등의 위치 관계를 설명한다. 도면의 치수 비율은 실제의 비율을 나타내는 것이 아니고, 또, 실제의 비율은 도시의 비율로 한정되는 것은 아니다.

[0030] <플라즈마 처리 시스템의 구성예>

[0031] 이하에, 플라즈마 처리 시스템의 구성예에 대해 설명한다. 도 1은 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치의 구성예를 설명하기 위한 도면이다.

[0032] 플라즈마 처리 시스템은 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치(1) 및 제어부(2)를 포함한다. 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치(1)는, 플라즈마 처리 챔버(10), 가스 공급부(20), 전원(30) 및 배기 시스템(40)을 포함한다. 또, 플라즈마 처리 장치(1)는 기판 지지부(11) 및 가스 도입부를 포함한다. 가스 도입부는 적어도 1개의 처리 가스를 플라즈마 처리 챔버(10) 내에 도입하도록 구성된다. 가스 도입부는 샤큐 헤드(13)를 포함한다. 기판 지지부(11)는 플라즈마 처리 챔버(10) 내에 배치된다. 샤큐 헤드(13)는 기판 지지부(11)의 상방에 배치된다. 일 실시 형태에 있어서, 샤큐 헤드(13)는 플라즈마 처리 챔버(10)의 천장부(ceiling)의 적어도 일부를 구성한다. 플라즈마 처리 챔버(10)는 샤큐 헤드(13), 플라즈마 처리 챔버(10)의 측벽(10a) 및 기판 지지부(11)에 의해 규정된 플라즈마 처리 공간(10s)을 가진다. 플라즈마 처리 챔버(10)는 적어도 1개의 처리 가스를 플라즈마 처리 공간(10s)에 공급하기 위한 적어도 1개의 가스 공급구와, 플라즈마 처리 공간으로부터 가스를 배출하기 위한 적어도 1개의 가스 배출구를 가진다. 플라즈마 처리 챔버(10)는 접지 된다. 샤큐 헤드(13) 및 기판 지지부(11)는, 플라즈마 처리 챔버(10)의 하우징과는 전기적으로 절연된다.

[0033] 기판 지지부(11)는 본체부(111) 및 링 어셈블리(112)를 포함한다. 본체부(111)는 기판(W)을 지지하기 위한 중앙 영역(111a)과, 링 어셈블리(112)를 지지하기 위한 고리 모양 영역(111b)을 가진다. 웨이퍼는 기판(W)의 일레이디다. 본체부(111)의 고리 모양 영역(111b)은, 평면에서 보아 본체부(111)의 중앙 영역(111a)을 둘러싸고 있다.

기판(W)은 본체부(111)의 중앙 영역(111a) 상에 배치되고, 링 어셈블리(112)는 본체부(111)의 중앙 영역(111a) 상의 기판(W)을 둘러싸도록 본체부(111)의 고리 모양 영역(111b) 상에 배치된다. 따라서, 중앙 영역(111a)은 기판(W)을 지지하기 위한 기판 지지면이라고도 불리고, 고리 모양 영역(111b)은 에지링 어셈블리(112)를 지지하기 위한 링 지지면이라고도 불린다.

[0034] 일 실시 형태에 있어서, 본체부(111)는 기대(基臺)(1110) 및 정전 척(1111)을 포함한다. 기대(1110)는 도전성 부재를 포함한다. 기대(1110)의 도전성 부재는 하부 전극으로서 기능할 수 있다. 정전 척(1111)은 기대(1110) 위에 배치된다. 정전 척(1111)은 세라믹 부재(1111a)와 세라믹 부재(1111a) 내에 배치되는 정전 전극(1111b)을 포함한다. 세라믹 부재(1111a)는 중앙 영역(111a)을 가진다. 일 실시 형태에 있어서, 세라믹 부재(1111a)는 고리 모양 영역(111b)도 가진다. 또한, 고리 모양 정전 척이나 고리 모양 절연 부재와 같은, 정전 척(1111)을 둘러싸는 다른 부재가 고리 모양 영역(111b)을 가져도 된다. 이 경우, 링 어셈블리(112)는 고리 모양 정전 척 또는 고리 모양 절연 부재 위에 배치되어도 되고, 정전 척(1111)과 고리 모양 절연 부재의 양방 위에 배치되어도 된다. 또, RF 또는 DC 전극이 세라믹 부재(1111a) 내에 배치되어도 되고, 이 경우, RF 또는 DC 전극이 하부 전극으로서 기능한다. 후술하는 바이어스 RF 신호 또는 DC 신호가 RF 또는 DC 전극에 접속되는 경우, RF 또는 DC 전극은 바이어스 전극이라고도 불린다. 또한, 기대(1110)의 도전성 부재와 RF 또는 DC 전극의 모두가 두 개의 하부 전극으로서 기능해도 된다.

[0035] 링 어셈블리(112)는 1 또는 복수의 고리 모양 부재를 포함한다. 일 실시 형태에 있어서, 1 또는 복수의 고리 모양 부재는 1 또는 복수의 에지링과 적어도 1개의 커버 링을 포함한다. 에지링은 도전성 재료 또는 절연 재료로 형성되고, 커버 링은 절연 재료로 형성된다.

[0036] 또, 기판 지지부(11)는 정전 척(1111), 링 어셈블리(112) 및 기판 중 적어도 1개를 타겟 온도로 조절하도록 구성되는 온조 모듈을 포함해도 된다. 온조 모듈은 히터, 전열 매체, 유로(1110a), 또는 이들의 조합을 포함해도 된다. 유로(1110a)에는, 브라인(brine)이나 가스와 같은 전열 유체가 흐른다. 일 실시 형태에 있어서, 유로(1110a)가 기대(1110) 내에 형성되고, 1 또는 복수의 히터가 정전 척(1111)의 세라믹 부재(1111a) 내에 배치된다. 또, 기판 지지부(11)는 기판(W)의 이면과 중앙 영역(111a) 사이에 전열 가스를 공급하도록 구성된 전열 가스 공급부를 포함해도 된다.

[0037] 샤큐 헤드(13)는 가스 공급부(20)로부터의 적어도 1개의 처리 가스를 플라즈마 처리 공간(10s) 내에 도입하도록 구성된다. 샤큐 헤드(13)는 적어도 1개의 가스 공급구(13a), 적어도 1개의 가스 확산실(13b), 및 복수의 가스 도입구(13c)를 가진다. 가스 공급구(13a)에 공급된 처리 가스는, 가스 확산실(13b)를 통하여 복수의 가스 도입구(13c)로부터 플라즈마 처리 공간(10s) 내에 도입된다. 또, 샤큐 헤드(13)는 상부 전극을 포함한다. 또한, 가스 도입부는 샤큐 헤드(13)에 더하여, 측벽(10a)에 형성된 1 또는 복수의 개구부에 장착되는 1 또는 복수의 사이드 가스 주입부(SGI : Side Gas Injector)를 포함해도 된다.

[0038] 가스 공급부(20)는 적어도 1개의 가스 소스(21) 및 적어도 1개의 유량 제어기(22)를 포함해도 된다. 일 실시 형태에 있어서, 가스 공급부(20)는 적어도 1개의 처리 가스를, 각각에 대응하는 가스 소스(21)로부터 각각에 대응하는 유량 제어기(22)를 통해서 샤큐 헤드(13)에 공급하도록 구성된다. 각 유량 제어기(22)는, 예를 들면 매스 플로우 컨트롤러 또는 압력 제어식의 유량 제어기를 포함해도 된다. 또한, 가스 공급부(20)는 적어도 1개의 처리 가스의 유량을 변조 또는 펠스화하는 1 또는 그 이상의 유량 변조 디바이스를 포함해도 된다.

[0039] 전원(30)은 적어도 1개의 임피던스 정합 회로를 통해서 플라즈마 처리 챔버(10)에 결합되는 RF 전원(31)을 포함한다. RF 전원(31)은 소스 RF 신호 및 바이어스 RF 신호와 같은 적어도 1개의 RF 신호(RF 전력)를, 적어도 1개의 하부 전극 및/또는 적어도 1개의 상부 전극에 공급하도록 구성된다. 이것에 의해, 플라즈마 처리 공간(10s)에 공급된 적어도 1개의 처리 가스로부터 플라즈마가 형성된다. 따라서, RF 전원(31)은 플라즈마 처리 챔버(10)에서 1 또는 그 이상의 처리 가스로부터 플라즈마를 생성하도록 구성되는 플라즈마 생성부의 적어도 일부로서 기능할 수 있다. 또, 바이어스 RF 신호를 적어도 1개의 하부 전극에 공급함으로써, 기판(W)에 바이어스 전위가 발생하여, 형성된 플라즈마 중의 이온 성분을 기판(W)에 끌어들일 수 있다.

[0040] 일 실시 형태에 있어서, RF 전원(31)은 제1 RF 생성부(31a) 및 제2 RF 생성부(31b)를 포함한다. 제1 RF 생성부(31a)는 적어도 1개의 임피던스 정합 회로를 통해서 적어도 1개의 하부 전극 및/또는 적어도 1개의 상부 전극에 결합되어, 플라즈마 생성용의 소스 RF 신호(소스 RF 전력)를 생성하도록 구성된다. 일 실시 형태에 있어서, 소스 RF 신호는 10MHz~150MHz의 범위 내의 주파수를 가진다. 일 실시 형태에 있어서, 제1 RF 생성부(31a)는 상이한 주파수를 갖는 복수의 소스 RF 신호를 생성하도록 구성되어도 된다. 생성된 1 또는 복수의 소스 RF 신호는 적어도 1개의 하부 전극 및/또는 적어도 1개의 상부 전극에 공급된다.

- [0041] 제2 RF 생성부(31b)는 적어도 1개의 임피던스 정합 회로를 통해서 적어도 1개의 하부 전극에 결합되어, 바이어스 RF 신호(바이어스 RF 전력)를 생성하도록 구성된다. 바이어스 RF 신호의 주파수는 소스 RF 신호의 주파수와 동일해도 달라도 된다. 일 실시 형태에 있어서, 바이어스 RF 신호는 소스 RF 신호의 주파수보다도 낮은 주파수를 가진다. 일 실시 형태에 있어서, 바이어스 RF 신호는 100kHz~60MHz의 범위 내의 주파수를 가진다. 일 실시 형태에 있어서, 제2 RF 생성부(31b)는 상이한 주파수를 갖는 복수의 바이어스 RF 신호를 생성하도록 구성되어도 된다. 생성된 1 또는 복수의 바이어스 RF 신호는 적어도 1개의 하부 전극에 공급된다. 또, 다양한 실시 형태에 있어서, 소스 RF 신호 및 바이어스 RF 신호 중 적어도 1개가 펄스화되어도 된다.
- [0042] 또, 전원(30)은 플라즈마 처리 챔버(10)에 결합되는 DC 전원(32)을 포함해도 된다. DC 전원(32)은 제1 DC 생성부(32a) 및 제2 DC 생성부(32b)를 포함한다. 일 실시 형태에 있어서, 제1 DC 생성부(32a)는 적어도 1개의 하부 전극에 접속되고, 제1 DC 신호를 생성하도록 구성된다. 생성된 제1 바이어스 DC 신호는 적어도 1개의 하부 전극에 인가된다. 일 실시 형태에 있어서, 제2 DC 생성부(32b)는 적어도 1개의 상부 전극에 접속되고, 제2 DC 신호를 생성하도록 구성된다. 생성된 제2 DC 신호는 적어도 1개의 상부 전극에 인가된다.
- [0043] 다양한 실시 형태에 있어서, 제1 및 제2 DC 신호 중 적어도 1개가 펄스화되어도 된다. 이 경우, DC에 기초한 전압 펄스의 시퀀스가 적어도 1개의 하부 전극 및/또는 적어도 1개의 상부 전극에 인가된다. 전압 펄스는 직사각형, 사다리꼴, 삼각형 또는 이들의 조합의 펄스 파형을 가져도 된다. 일 실시 형태에 있어서, DC 신호로부터 전압 펄스의 시퀀스를 생성하기 위한 과정 생성부가 제1 DC 생성부(32a)와 적어도 1개의 하부 전극의 사이에 접속된다. 따라서, 제1 DC 생성부(32a) 및 과정 생성부는, 전압 펄스 생성부를 구성한다. 제2 DC 생성부(32b) 및 과정 생성부가 전압 펄스 생성부를 구성하는 경우, 전압 펄스 생성부는 적어도 1개의 상부 전극에 접속된다. 전압 펄스는 양의 극성을 가져도 되고, 음의 극성을 가져도 된다. 또, 전압 펄스의 시퀀스는 1 주기 내에 1 또는 복수의 양극성 전압 펄스와 1 또는 복수의 음극성 전압 펄스를 포함해도 된다. 또한, 제1 및 제2 DC 생성부(32a, 32b)는 RF 전원(31)에 더하여 마련되어도 되고, 제1 DC 생성부(32a)가 제2 RF 생성부(31b)를 대신해서 마련되어도 된다.
- [0044] 배기 시스템(40)은, 예를 들면 플라즈마 처리 챔버(10)의 바닥부에 마련된 가스 배출구(10e)에 접속될 수 있다. 배기 시스템(40)은 압력 조정 밸브 및 진공 펌프를 포함해도 된다. 압력 조정 밸브에 의해서, 플라즈마 처리 공간(10s) 내의 압력이 조정된다. 진공 펌프는 터보 분자 펌프, 드라이 펌프 또는 이들의 조합을 포함해도 된다.
- [0045] 제어부(2)는 본 개시에 있어서 기술되는 다양한 공정을 플라즈마 처리 장치(1)에 실행시키는 컴퓨터 실행 가능한 명령을 처리한다. 제어부(2)는, 여기서 기술되는 다양한 공정을 실행하도록 플라즈마 처리 장치(1)의 각 요소를 제어하도록 구성될 수 있다. 일 실시 형태에 있어서, 제어부(2)의 일부 또는 모두가 플라즈마 처리 장치(1)에 포함되어도 된다. 제어부(2)는, 예를 들면 컴퓨터(2a)를 포함해도 된다. 컴퓨터(2a)는, 예를 들면, 처리부(CPU : Central Processing Unit)(2a1), 기억부(2a2) 및 통신 인터페이스(2a3)를 포함해도 된다. 처리부(2a1)는 기억부(2a2)로부터 프로그램을 판독하고, 판독된 프로그램을 실행함으로써 다양한 제어 동작을 행하도록 구성될 수 있다. 이 프로그램은 미리 기억부(2a2)에 격납되어 있어도 되고, 필요한 때에, 매체를 통해서 취득되어도 된다. 취득된 프로그램은 기억부(2a2)에 격납되고, 처리부(2a1)에 의해서 기억부(2a2)로부터 판독되어 실행된다. 매체는 컴퓨터(2a)에 판독 가능한 다양한 기억 매체여도 되고, 통신 인터페이스(2a3)에 접속되어 있는 통신 회선이어도 된다. 기억부(2a2)는 RAM(Random Access Memory), ROM(Read Only Memory), HDD(Hard Disk Drive), SSD(Solid State Drive), 또는 이들의 조합을 포함해도 된다. 통신 인터페이스(2a3)는 LAN(Local Area Network) 등의 통신 회선을 통해서 플라즈마 처리 장치(1)와의 사이에서 통신해도 된다.
- [0046] <에칭 방법의 일례>
- [0047] 도 2는 하나의 예시적 실시 형태에 따른 에칭 방법(이하 「본 처리 방법」이라고도 함.)을 나타내는 순서도이다. 도 2에 나타내는 것처럼, 본 처리 방법은, 기판을 제공하는 공정 ST1과, 기판의 실리콘 함유막을 에칭하는 공정 ST2를 포함한다. 각 공정에 있어서의 처리는, 도 1에 나타내는 플라즈마 처리 시스템에서 실행되어도 된다. 이하에서는, 제어부(2)가 플라즈마 처리 장치(1)의 각부를 제어하여, 기판(W)에 대해서 본 처리 방법을 실행하는 경우를 예로 설명한다.
- [0048] (공정 ST1 : 기판의 제공)
- [0049] 공정 ST1에 있어서, 기판(W)은 플라즈마 처리 장치(1)의 플라즈마 처리 공간(10s) 내에 제공된다. 기판(W)은 기판 지지부(11)의 중앙 영역(11a)에 제공된다. 그리고, 기판(W)은 정전 척(1111)에 의해 기판 지지부(11)에 유지된다.

- [0050] 도 3은 공정 ST1에서 제공되는 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타내는 도면이다. 기판(W)은 하지(下地)막(UF) 상에, 실리콘 함유막(SF) 및 마스크(MF)가 이 순서로 적층되어 있다. 기판(W)은 반도체 디바이스의 제조에 이용되어도 된다. 반도체 디바이스는, 예를 들면, DRAM, 3D-NAND 플래시 메모리 등의 반도체 메모리 디바이스를 포함한다.
- [0051] 하지막(UF)은, 일례에서는, 실리콘 웨이퍼나 실리콘 웨이퍼 상에 형성된 유기막, 유전체막, 금속막, 반도체막 등이다. 하지막(UF)은 복수의 막이 적층되어 구성되어도 된다.
- [0052] 실리콘 함유막(SF)은 본 처리 방법에 있어서, 예칭의 대상이 되는 막이다. 실리콘 함유막(SF)은 일례에서는, 실리콘 산화막, 실리콘 질화막, 실리콘 산질화막, 다결정 실리콘막이다. 실리콘 함유막(SF)은 복수의 막이 적층되어 구성되어도 된다. 예를 들면, 실리콘 함유막(SF)은 실리콘 산화막과 실리콘 질화막이 교대로 적층되어 구성되어도 된다. 또 예를 들면, 실리콘 함유막(SF)은 실리콘 산화막과 다결정 실리콘막이 교대로 적층되어 구성되어도 된다.
- [0053] 마스크(MF)는 실리콘 함유막(SF)의 예칭에 있어서 마스크로서 기능하는 막이다. 마스크(MF)는, 예를 들면, 폴리 실리콘막, 봉소 도프 실리콘막, 텅스텐 함유막(예를 들면, WC막, WSi막 등), 어모퍼스 카본막 또는 산화 주석막 또는 티탄 함유막(예를 들면, TiN막 등)이어도 된다.
- [0054] 도 3에 나타내는 것처럼, 마스크(MF)는 실리콘 함유막(SF) 상에 있어서 적어도 하나의 개구(OP)를 규정한다. 개구(OP)는 실리콘 함유막(SF) 상의 공간으로서, 마스크(MF)의 측벽에 둘러싸여 있다. 즉, 실리콘 함유막(SF)의 상면은, 마스크(MF)에 의해서 덮인 영역과, 개구(OP)의 바닥부에서 노출된 영역을 가진다.
- [0055] 개구(OP)는 기판(W)의 평면시, 즉, 기판(W)을 도 3의 위에서 아래를 향하는 방향으로 보았을 경우에 있어서, 임의의 형상을 가져도 된다. 해당 형상은, 예를 들면, 원, 타원, 직사각형, 선이나 이들의 1 종류 이상을 조합한 형상이어도 된다. 마스크(MF)는 복수의 측벽을 가지며, 복수의 측벽이 복수의 개구(OP)를 규정해도 된다. 복수의 개구(OP)는 각각 선 형상을 가지며, 일정한 간격으로 늘어서서 라인&스페이스의 패턴을 구성해도 된다. 또, 복수의 개구(OP)는 각각 구멍 형상을 가지며, 어레이 패턴을 구성해도 된다.
- [0056] 기판(W)을 구성하는 각 막(하지막(UF), 실리콘 함유막(SF), 마스크(MF))은, 각각, CVD법, ALD법, 스판 코트법 등에 의해 형성되어도 된다. 개구(OP)는 마스크(MF)를 예칭함으로써 형성되어도 된다. 또 마스크(MF)는 리소그래피에 의해서 형성되어도 된다. 또한, 상기 각 막은 평탄한 막이어도 되고, 또, 요철을 갖는 막이어도 된다. 또 기판(W)이 하지막(UF) 아래에 다른 막을 더 가지고, 실리콘 함유막(SF) 및 하지막(UF)의 적층막이 다층 마스크로서 기능해도 된다. 즉, 실리콘 함유막(SF) 및 하지막(UF)의 적층막을 다층 마스크로 하여, 해당 다른 막을 예칭해도 된다.
- [0057] 기판(W)의 각 막을 형성하는 프로세스의 적어도 일부는, 플라즈마 처리 챔버(10)의 공간 내에서 행해져도 된다. 일례에서는, 마스크(MF)를 예칭하여 개구(OP)를 형성하는 공정은, 플라즈마 처리 챔버(10)에서 실행되어도 된다. 즉, 개구(OP) 및 후술하는 실리콘 함유막(SF)의 예칭은, 동일한 챔버 내에서 연속하여 실행되어도 된다. 또, 기판(W)의 각 막의 전부 또는 일부가 플라즈마 처리 장치(1)의 외부의 장치나 챔버에서 형성된 후, 기판(W)이 플라즈마 처리 장치(1)의 플라즈마 처리 공간(10s) 내로 반입되어, 기판 지지부(11)의 중앙 영역(111a)에 배치됨으로써, 기판이 제공되어도 된다.
- [0058] 기판(W)을 기판 지지부(11)의 중앙 영역(111a)에 제공 후, 기판 지지부(11)의 온도가 온조 모듈에 의해 설정 온도로 조정된다. 설정 온도는, 예를 들면, 70°C 이하, 0°C 이하, -10°C 이하, -20°C 이하, -30°C 이하, -40°C 이하, -50°C 이하, -60°C 이하 또는 -70°C 이하여야도 된다. 일례에서는, 기판 지지부(11)의 온도를 조정 또는 유지하는 것은, 유로(1110a)를 흐르는 전열 유체의 온도를 설정 온도 또는 설정 온도와 상이한 온도로 조정 또는 유지하는 것을 포함한다. 일례에서는, 기판 지지부(11)의 온도를 조정 또는 유지하는 것은, 정전 척(1111)과 기판(W)의 이면 사이의 전열 가스(예를 들면 He)의 압력을 제어하는 것을 포함한다. 또한, 유로(1110a)에 전열 유체가 흐르기 시작하는 타이밍은, 기판(W)이 기판 지지부(11)에 재치되기 전이어도 후이어도 되고, 또 동시에 된다. 또, 본 처리 방법에 있어서, 기판 지지부(11)의 온도는, 공정 ST1 전에 설정 온도로 조정되어도 된다. 즉, 기판 지지부(11)의 온도가 설정 온도로 조정된 후에, 기판 지지부(11)에 기판(W)을 제공해도 된다.
- [0059] (공정 ST2 : 예칭)
- [0060] 공정 ST2에 있어서, 기판(W)의 실리콘 함유막(SF)이 예칭된다. 공정 ST2는 제1 예칭 공정 ST21과, 제2 예칭 공

정 ST22를 구비한다. 또 공정 ST2는 에칭의 정지 조건을 만족하고 있는지 판정하는 공정 ST23을 구비해도 된다. 즉, 공정 ST23에 있어서 정지 조건을 만족한다고 판정될 때까지, 공정 ST21과 공정 ST22를 교대로 반복해도 된다. 공정 ST2에 있어서의 처리 동안, 기판 지지부(11)의 온도는, 공정 ST1에서 조정한 설정 온도로 유지된다.

[0061] (공정 ST21 : 제1 에칭)

공정 ST21에 있어서, 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여, 실리콘 함유막(SF)이 에칭된다. 먼저, 가스 공급부(20)로부터 제1 처리 가스가 플라즈마 처리 공간(10s) 내에 공급된다. 제1 처리 가스는 불화 수소(HF) 가스와, 불화 수소와 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함한다. 제1 처리 가스는, 반응 제어 가스로서, 불화 수소와 실리콘 함유막의 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 포함해도 된다. 제1 처리 가스는 해당 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 포함해도 된다. 또한, 제1 처리 가스는 반응 촉진 가스와 반응 억제 가스의 쌍방을 포함해도 된다.

[0063] 다음으로, 기판 지지부(11)의 하부 전극 및/또는 샤크 헤드(13)의 상부 전극에 소스 RF 신호가 공급된다. 이것에 의해, 샤크 헤드(13)와 기판 지지부(11)의 사이에서 고주파 전계가 생성되어, 플라즈마 처리 공간(10s) 내의 제1 처리 가스로부터 플라즈마가 생성된다. 또, 기판 지지부(11)의 하부 전극에 바이어스 신호가 공급되어, 플라즈마와 기판(W)의 사이에 바이어스 전위가 발생한다. 바이어스 전위에 의해서, 플라즈마 중의 이온, 래디컬 등의 활성종이 기판(W)으로 끌어당겨져, 해당 활성종에 의해서 실리콘 함유막(SF)이 에칭된다.

[0064] (공정 ST22 : 제2 에칭)

[0065] 제2 에칭 공정 ST22에 있어서, 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여, 실리콘 함유막(SF)이 더 에칭된다. 먼저, 가스 공급부(20)로부터 제2 처리 가스가 플라즈마 처리 공간(10s) 내에 공급된다. 제2 처리 가스는 불화 수소(HF) 가스를 포함한다.

[0066] 제2 처리 가스는 불화 수소와 실리콘 함유막의 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 해당 반응을 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함해도 된다. 제2 처리 가스가 반응 촉진 가스를 포함하는 경우, 해당 반응 촉진 가스의 분압은, 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스의 분압보다도 작아도 된다. 제2 처리 가스가 반응 억제 가스를 포함하는 경우, 해당 반응 억제 가스의 분압은, 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스의 분압보다도 커도 된다. 제2 처리 가스가 반응 촉진 가스와 반응 억제 가스의 쌍방을 포함하는 경우, 반응 촉진 가스의 분압이 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스의 분압에 비해 작거나, 반응 억제 가스의 분압이 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스의 분압에 비해 크거나, 또는 그 모두이어도 된다.

[0067] 제2 처리 가스는 불화 수소와 실리콘 함유막의 반응을 제어(억제 또는 촉진)하는 가스를 포함하지 않아도 된다.

[0068] 다음으로, 공정 ST21과 마찬가지로, 기판 지지부(11)의 하부 전극 및/또는 샤크 헤드(13)의 상부 전극에 소스 RF 신호가 공급된다. 이것에 의해, 샤크 헤드(13)와 기판 지지부(11)의 사이에서 고주파 전계가 생성되고, 플라즈마 처리 공간(10s) 내의 제2 처리 가스로부터 플라즈마가 생성된다. 또, 기판 지지부(11)의 하부 전극에 바이어스 신호가 공급되어, 플라즈마와 기판(W)의 사이에 바이어스 전위가 발생한다. 바이어스 전위에 의해서, 플라즈마 중의 이온, 래디컬 등의 활성종이 기판(W)으로 끌어당겨져, 해당 활성종에 의해서 실리콘 함유막(SF)이 더 에칭된다.

[0069] 공정 ST21로부터 공정 ST22로의 전환은, 예를 들면, 에칭에 의해 실리콘 함유막(SF)에 형성되는 오목부의 깊이, 해당 오목부의 애스펙트비, 및 에칭 시간 중 적어도 어느 하나에 기초하여 행해도 된다.

[0070] 공정 ST21 및 공정 ST22에 있어서, 바이어스 신호는 제2 RF 생성부(31b)로부터 공급되는 바이어스 RF 신호여도 된다. 또 바이어스 신호는 DC 생성부(32a)로부터 공급되는 바이어스 DC 신호여도 된다. 또한, 공정 ST21 및 공정 ST22에 있어서 바이어스 신호가 공급되지 않아도 된다.

[0071] 공정 ST21 및 공정 ST22에 있어서, 소스 RF 신호 및 바이어스 신호는, 쌍방이 연속파 또는 펄스파여도 되고, 또 일방이 연속파이고 타방이 펄스파여도 된다. 소스 RF 신호 및 바이어스 신호의 쌍방이 펄스파인 경우, 쌍방의 펄스파의 주기는 동기되어도 된다. 바이어스 DC 신호를 이용하는 경우, 펄스파는 직사각형, 사다리꼴, 삼각형 또는 이들의 조합의 파형을 가져도 된다. 바이어스 DC 신호의 극성은, 플라즈마와 기판의 사이에 전위차를 주어 이온을 끌어들이도록 기판(W)의 전위가 설정되면, 음이어도 양이어도 된다.

[0072] 소스 RF 신호 또는 바이어스 신호로서 펄스파를 이용하는 경우, 펄스파의 듀티비는 적절히 설정해도 되고, 예를 들면, 1~80%여도 되고, 또 5~50%여도 된다. 여기서, 듀티비는, 펄스파의 주기에 있어서의, 전력 또는 전압 레벨이 높은 기간이 차지하는 비율이다. 또, 펄스파의 듀티비는, 공정 ST21과 공정 ST22에서 동일해도 되고, 또 달

라도 된다. 일례에서는, 공정 ST22에 있어서의 소스 RF 신호의 펄스파의 듀티비를, 공정 ST21에 있어서의 소스 RF 신호의 펄스파의 듀티비보다도 작게 해도 된다. 듀티비를 작게 함으로써, 플라즈마에 의한 기판(W)으로의 입열이 억제되어, 공정 ST22에 비해 기판(W)의 온도가 낮아진다. 불화 수소는 기판(W)의 온도가 낮을수록 실리콘 함유막(SF)에 흡착하기 쉬운 경향이 있으므로, 듀티비를 작게 함으로써, 불화 수소의 실리콘 함유막(SF)으로의 흡착을 촉진할 수 있다.

[0073] (공정 ST23 : 종료 판정)

공정 ST23에 있어서, 정지 조건이 만족되는지 여부가 판정된다. 정지 조건은, 예를 들면, 공정 ST21 및 공정 ST22를 1 사이클로 하고, 해당 사이클의 반복 횟수가 소여의 횟수에 이르러 있는지 여부여도 된다. 정지 조건은, 예를 들면, 예정 시간이 소여의 시간에 이르러 있는지여도 된다. 정지 조건은, 예를 들면, 예정에 의해 형성되는 오목부의 깊이가 소여의 깊이에 이르러 있는지여도 된다. 공정 ST23에 있어서 정지 조건이 만족되고 있지 않다고 판정되면, 공정 ST21 및 공정 ST22를 포함하는 사이클이 반복된다. 공정 ST23에 있어서 정지 조건이 만족되었다고 판정되면, 본 처리 방법을 종료된다. 또한, 정지 조건이 만족되는지 여부의 판단을, 공정 ST23에 더하여, 공정 ST21과 공정 ST22의 사이에서도 실행해도 된다.

[0075] (처리 가스의 구성)

제1 처리 가스에 있어서, 불활성 가스를 제외한 모든 가스 중, HF 가스의 분압이 가장 커도 된다. 또 제2 처리 가스에 있어서, 불활성 가스를 제외한 모든 가스 중, HF 가스의 분압이 가장 커도 된다. 일례에서는, 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스에 있어서, HF 가스는 불활성 가스를 제외한 총 유량에 대해서, 50체적% 이상, 60체적% 이상, 70체적% 이상이어도 되고, 또 80체적% 이상 포함되어도 된다. 또한, HF 가스로서는, 고순도의 것, 예를 들면, 순도가 99.999% 이상의 것을 이용해도 된다.

[0077] 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스에 포함되는 반응 촉진 가스는, 예를 들면, 플라즈마 중의 불화 수소의 활성종이 실리콘 함유막(SF)에 흡착하는 것을 촉진하는 가스(흡착 촉진 가스)여도 된다. 여기서, 불화 수소의 활성종은, 불화 수소의 가스, 래디컬 및 이온 중 적어도 어느 것을 포함한다. 반응 촉진 가스로서는, 인 함유 가스, 질소 함유 가스 및 수소 함유 가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 사용해도 된다. 제1 처리 가스와 제2 처리 가스의 쌍방이 반응 촉진 가스를 포함하는 경우, 제1 처리 가스에 포함되는 반응 촉진 가스의 종류와, 제2 처리 가스에 포함되는 반응 촉진 가스의 종류는 동일해도 되고, 또 달라도 된다.

[0078] 인 함유 가스는 인 함유 분자를 포함하는 가스이다. 인 함유 분자는 삽산화 사인( $P_4O_{10}$ ), 팔산화 사인( $P_4O_8$ ), 육산화 사인( $P_4O_6$ ) 등의 산화물이어도 된다. 삽산화 사인은 오산화 이인( $P_2O_5$ )으로 불리는 경우가 있다. 인 함유 분자는 삼불화 인( $PF_3$ ), 오불화 인( $PF_5$ ), 삼염화 인( $PCl_3$ ), 오염화 인( $PCl_5$ ), 삼브로민화 인( $PBr_3$ ), 오브로민화 인( $PBr_5$ ), 아이오딘화 인( $PI_3$ )과 같은 할로젠파일(할로젠파일 인)이어도 된다. 즉, 인 함유 분자는 불화 인 등, 할로젠파일 원소로서 불소를 포함해도 된다. 혹은, 인 함유 분자는 할로젠파일 원소로서 불소 이외의 할로젠파일 원소를 포함해도 된다. 인 함유 분자는 불화 포스포릴( $POF_3$ ), 염화 포스포릴( $POCl_3$ ), 브로민화 포스포릴( $POBr_3$ )과 같은 할로젠파일 포스포릴이어도 된다. 인 함유 분자는 포스핀( $PH_3$ ), 인화 칼슘( $Ca_3P_2$  등), 인산( $H_3PO_4$ ), 인산 나트륨( $Na_3PO_4$ ), 헥사플루오로 인산( $HPF_6$ ) 등이어도 된다. 인 함유 분자는 플루오로포스핀류( $H_gPF_h$ )여도 된다. 여기서, g와 h의 합은 3 또는 5이다. 플루오로포스핀류로서는,  $HPF_2$ ,  $H_2PF_3$ 가 예시된다. 처리 가스는 적어도 하나의 인 함유 분자로서, 상기의 인 함유 분자 중 하나 이상의 인 함유 분자를 포함할 수 있다. 예를 들면, 처리 가스는 적어도 하나의 인 함유 분자로서,  $PF_3$ ,  $PCl_3$ ,  $PF_5$ ,  $PCl_5$ ,  $POCl_3$ ,  $PH_3$ ,  $PBr_3$ , 또는  $PBr_5$  중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 또한, 각 인 함유 분자가 액체 또는 고체인 경우, 각 인 함유 분자는 가열 등에 의해서 기화되어 플라즈마 처리 공간(10s) 내에 공급될 수 있다.

[0079] 질소 함유 가스로서는, 일례에서는,  $NH_3$  가스,  $NF_3$  가스,  $NO$  가스,  $NO_2$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 이용해도 된다.

[0080] 수소 함유 가스로서는, OH기를 갖는 가스를 이용해도 되고, 일례에서는,  $H_2O$  가스,  $H_2O_2$  가스 및 알코올로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 이용해도 된다.

[0081] 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스에 포함되는 반응 억제 가스는, 예를 들면, 플라즈마 중의 수소의 활성종을 제거(스카벤징(scavenging))함으로써, 플라즈마 중의 불화 수소의 활성종과 실리콘 함유막(SF)의 반응을 억

제하는 가스여도 된다. 반응 억제 가스로서는, 예를 들면, 염소 함유 가스를 이용해도 된다. 일례에서는, 염소 함유 가스는  $\text{Cl}_2$  가스,  $\text{SiCl}_2$  가스,  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  가스,  $\text{SiCl}_4$  가스,  $\text{Si}_2\text{Cl}_6$  가스,  $\text{CHCl}_3$  가스,  $\text{CCl}_4$  가스 및  $\text{BCl}_3$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종을 사용해도 된다. 제1 처리 가스와 제2 처리 가스의 쌍방이 반응 억제 가스를 포함하는 경우, 제1 처리 가스에 포함되는 반응 억제 가스의 종류와, 제2 처리 가스에 포함되는 반응 억제 가스의 종류는 동일해도 되고, 또 달라도 된다.

[0082] 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스는, 탄소 함유 가스를 더 포함해도 된다. 탄소 함유 가스는, 예를 들면, 플루오로카본 가스 및 하이드로플루오로카본 가스 중 어느 것 또는 양방이어도 된다. 일례에서는, 플루오로카본 가스는  $\text{CF}_4$  가스,  $\text{C}_2\text{F}_2$  가스,  $\text{C}_2\text{F}_4$  가스,  $\text{C}_3\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_3\text{F}_8$  가스,  $\text{C}_4\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_4\text{F}_8$  가스 및  $\text{C}_5\text{F}_8$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이어도 된다. 일례에서는, 하이드로플루오로카본 가스는  $\text{CHF}_3$  가스,  $\text{CH}_2\text{F}_2$  가스,  $\text{CH}_3\text{F}$  가스,  $\text{C}_2\text{HF}_5$  가스,  $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$  가스,  $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$  가스,  $\text{C}_2\text{H}_4\text{F}_2$  가스,  $\text{C}_3\text{HF}_7$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_2$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_4$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_5$  가스,  $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_4\text{H}_5\text{F}_5$  가스,  $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_8$  가스,  $\text{C}_5\text{H}_2\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_5\text{H}_2\text{F}_{10}$  가스 및  $\text{C}_5\text{H}_3\text{F}_7$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이어도 된다. 탄소 함유 가스는 불포화 결합을 갖는 곧은 사슬(straight chain) 모양의 것이어도 된다. 불포화 결합을 갖는 곧은 사슬 모양의 탄소 함유 가스는, 예를 들면,  $\text{C}_3\text{F}_6$ (헥사플루오로프로펜) 가스,  $\text{C}_4\text{F}_8$ (옥타플루오로-1-부텐, 옥타플루오로-2-부텐) 가스,  $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_4(1, 3, 3, 3-$ 테트라플루오로프로펜) 가스,  $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_6$ (트랜스-1, 1, 1, 4, 4, 4-헥사플루오로-2-부텐) 가스,  $\text{C}_4\text{F}_8\text{O}$ (펜타플루오로에틸 트리플루오로비닐 에테르) 가스,  $\text{CF}_3\text{COF}$  가스(1, 2, 2, 2-테트라 플루오로에탄-1-원),  $\text{CHF}_2\text{COF}$ (디플루오로아세트산 플루오라이드) 가스 및  $\text{COF}_2$ (불화 카르보닐) 가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이어도 된다.

[0083] 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스는, 산소 함유 가스를 더 포함해도 된다. 산소 함유 가스는, 예를 들면,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$  및  $\text{CO}_2$ 로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종의 가스여도 된다.

[0084] 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스는, 탄소를 포함하지 않는 불소 함유 가스를 더 포함해도 된다. 일례에서는, 탄소를 포함하지 않는 불소 함유 가스는,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{XeF}_2$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{IF}_5$ ,  $\text{IF}_7$ ,  $\text{BrF}_5$ ,  $\text{AsF}_5$ ,  $\text{NF}_5$ ,  $\text{BF}_3$  및  $\text{WF}_6$ 의 군으로부터 선택되는 적어도 1종이어도 된다.

[0085] 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스는, 불소 이외의 할로젠 함유 가스를 더 포함해도 된다. 불소 이외의 할로젠 함유 가스는, 예를 들면,  $\text{HBr}$  가스,  $\text{HI}$  가스 및  $\text{I}_2$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이어도 된다.

[0086] 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스는, 불활성 가스를 더 포함해도 된다. 불활성 가스는, 일례에서는,  $\text{Ar}$  가스,  $\text{He}$  가스,  $\text{Kr}$  가스 등의 희가스 또는  $\text{N}_2$  가스여도 된다.

[0087] 제1 처리 가스 및/또는 제2 처리 가스는,  $\text{HF}$  가스를 대신하거나 또는  $\text{HF}$  가스에 더하여, 플라즈마 중에  $\text{HF}$  종을 생성 가능한 가스를 포함해도 된다.

[0088]  $\text{HF}$  종을 생성 가능한 가스는, 예를 들면, 하이드로플루오로카본 가스이다. 하이드로플루오로카본 가스는 탄소수가 2 이상, 3 이상 또는 4 이상이어도 된다. 하이드로플루오로카본 가스는, 일례에서는,  $\text{CH}_2\text{F}_2$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_4$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_3\text{F}_5$  가스,  $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_4\text{H}_5\text{F}_5$  가스,  $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_8$  가스,  $\text{C}_5\text{H}_2\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_5\text{H}_2\text{F}_{10}$  가스 및  $\text{C}_5\text{H}_3\text{F}_7$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이다. 하이드로플루오로카본 가스는, 일례에서는,  $\text{CH}_2\text{F}_2$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_4$  가스,  $\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6$  가스 및  $\text{C}_4\text{H}_2\text{F}_6$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이다.

[0089]  $\text{HF}$  종을 생성 가능한 가스는, 예를 들면, 불소 함유 가스 및 수소 함유 가스이다. 불소 함유 가스는, 예를 들면, 플루오로카본 가스이다. 플루오로카본 가스는, 일례에서는,  $\text{C}_2\text{F}_2$  가스,  $\text{C}_2\text{F}_4$  가스,  $\text{C}_3\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_3\text{F}_8$  가스,  $\text{C}_4\text{F}_6$  가스,  $\text{C}_4\text{F}_8$  가스 및  $\text{C}_5\text{F}_8$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이다. 또 불소 함유 가스는, 예를 들면,  $\text{NF}_3$  가스 또는  $\text{SF}_6$  가스여도 된다. 수소 함유 가스는, 일례에서는,  $\text{H}_2$  가스,  $\text{CH}_4$  가스 및  $\text{NH}_3$  가스로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종이다.

[0090] (공정 ST2의 일례)

[0091] 도 4는 반응 촉진 가스를 이용했을 경우의 공정 ST2의 타이밍 차트의 일례이다. 도 4는 반응 제어 가스로서 반

응 촉진 가스를 이용하여, 제1 예칭 공정 ST21 및 제2 예칭 공정 ST2의 1 사이클에서, 실리콘 함유막(SF)을 예칭하는 예이다. 도 4에 있어서, 세로축은 제1 처리 가스 또는 제2 처리 가스에 포함되는 반응 촉진 가스의 분압, 및 실리콘 함유막(SF)에 대한 불화 수소의 흡착 레벨을 나타낸다. 가로축은 예칭 시간을 나타낸다. 「 $P_B$ 」는 반응 촉진 가스의 분압이 제로이거나, 또는 「 $P_A$ 」보다도 작은 것을 나타낸다. 「 $L_B$ 」는 실리콘 함유막(SF)에 대한 불화 수소의 흡착 레벨(흡착량)이 「 $L_A$ 」보다도 작은 것을 나타낸다. 도 4에서는, 시간 0~t11이 공정 ST21에 대응하고(이하 이 기간을 「H 기간」이라고 함), 시간 t11~t12가 공정 ST22에 대응한다(이하 이 기간을 「L 기간」이라고 함).

[0092] 또한, 도 4에서는, 반응 촉진 가스의 분압은, 각 기간(H 기간 및 L 기간) 내에서 일정하지만, 각 기간 내에 있어서 단계적 또는 연속적으로 변화(감소, 증가 또는 증감)시켜도 된다. 이 경우, 불화 수소 가스의 흡착 레벨은 해당 변화에 추종하여 변화할 수 있다.

[0093] 또 도 4는 공정 ST2에 있어서, 반응 제어 가스로서 반응 촉진 가스를 이용했을 경우의 타이밍 차트이지만, 이것을 대신하거나/또는 더하여, 반응 제어 가스로서 반응 억제 가스를 이용해도 된다. 도 5는 반응 억제 가스를 이용했을 경우의 공정 ST2의 타이밍 차트의 일례이다. 도 5에 나타내는 것처럼, H 기간에 있어서 반응 억제 가스의 분압을 낮게 또는 제로로 하고( $P_D$ ), L 기간에 있어서 반응 억제 가스의 분압을 높게( $P_C$ ) 해도 된다. 이것이 의해, H 기간에 있어서의 불화 수소의 흡착 레벨( $L_C$ )은, L 기간에 있어서의 흡착 레벨( $L_D$ )보다도 높아진다.

[0094] 도 6a는 도 4 또는 도 5의 H 기간(공정 ST21) 종료시(시간 t11)의 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타내는 도면이다. 도 6b는 도 4 또는 도 5의 L 기간(공정 ST22) 종료시(시간 t12)의 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타낸다.

[0095] 도 6a에 나타내는 것처럼, H 기간(공정 ST21)에 있어서의 처리에 의해, 실리콘 함유막(SF) 중, 개구(OP)에서 노출된 부분이 깊이 방향(도 6a에서 위에서 아래를 향하는 방향)으로 예칭되어 오목부(RC)가 형성된다. H 기간에서는, 오목부(RC)의 바닥부가 하지막(UF)에 도달할 때까지 또는 도달하기 직전까지 실리콘 함유막(SF)을 예칭해도 된다.

[0096] H 기간(공정 ST21)에 있어서, 불화 수소의 실리콘 함유막으로의 흡착 레벨( $L_A$  또는  $L_C$ )은, L 기간(공정 ST21)보다도 크다(도 4, 도 5 참조). 이것에 의해, H 기간에서는, 불화 수소의 실리콘 함유막(SF)으로의 흡착이 촉진되어, L 기간보다도 높은 예칭 레이트로 실리콘 함유막(SF)이 예칭된다. 다른 한편, H 기간에서는, 예칭에 의해 생기는 반응 생성물(바이프로덕트(by-product))이 L 기간에 비해 증가한다. 반응 부생성물은 오목부(RC)의 측벽에 흡착되어, 수평 방향(도 6a의 좌우 방향)의 예칭을 방해할 수 있다. 이것에 의해, 오목부(RC)는 깊이 방향을 따라서 끝이 가늘어지는 형상으로 될 수 있다(도 6a 참조).

[0097] 계속되는 L 기간(공정 ST22)에서는, 불화 수소의 실리콘 함유막으로의 흡착 레벨( $L_B$  또는  $L_D$ )은, H 기간(공정 ST21)보다도 작다(도 4, 도 5 참조). 이것에 의해, L 기간에서는, 불화 수소의 실리콘 함유막(SF)으로의 흡착이 억제되어, H 기간에 비해 낮은 예칭 레이트로 실리콘 함유막(SF)이 예칭된다. 다른 한편, L 기간에서는, 예칭에 의해 생기는 반응 부생성물이 H 기간에 비해 감소되어, 오목부(RC)의 측벽으로의 흡착이 억제된다. 이것에 의해, 수평 방향으로의 예칭이 진행하여, 오목부(RC)는 끝이 가늘어지는 형상으로부터 직사각 형상에 가까워진다(도 6b 참조). 즉 오목부(RC)의 수직성이 높아진다.

[0098] 이와 같이, 도 4 또는 도 5에 나타내는 예에서는, H 기간(공정 ST21)에 있어 높은 예칭 레이트로 실리콘 함유막(SF)을 예칭하고, 그 후, L 기간(공정 ST22)에서 실리콘 함유막(SF)의 오목부(RC)의 바닥부를 넓힌다. 이것에 의해, 공정 ST2 전체에 있어서의 예칭 레이트의 저하를 억제하면서, 예칭에 의해 형성되는 오목부의 수직성을 높여, 형상 이상을 억제할 수 있다.

[0099] (공정 ST2의 다른 예)

[0100] 도 7은 반응 촉진 가스를 이용했을 경우의 공정 ST2의 타이밍 차트의 다른 예이다. 도 7은 반응 제어 가스로서 반응 촉진 가스를 이용하고, 제1 예칭 공정 ST21 및 제2 예칭 공정 ST2의 1 사이클을 복수 사이클 반복하여, 실리콘 함유막(SF)을 예칭하는 예이다. 도 7의 세로축 및 가로축은, 도 4와 마찬가지이며, 「 $P_B$ 」는 반응 촉진 가스의 분압이 제로이거나, 또는 「 $P_A$ 」보다도 작은 것을 나타낸다. 「 $L_B$ 」는 실리콘 함유막(SF)에 대한 불화 수소의 흡착 레벨(흡착량)이 「 $L_A$ 」보다도 작은 것을 나타낸다. 도 7에서는, 시간 0~t21 및 시간 t22~t23 등이 공정

ST21에 대응한다(이하 이 기간을 「H1 기간」 「H2 기간」 등이라고 함). 또 시간 t21~t22 및 시간 t23~t24 등이 공정 ST22에 대응한다(이하 이 기간을 「L1 기간」 「L2 기간」 등이라고 함).

[0101] 또한, 도 7에서는, 반응 촉진 가스의 분압은, 각 기간(H1 기간, H2 기간, L1 기간, L2 기간 등)에 있어서 일정하지만, 각 기간 내에 있어서 단계적 또는 연속적으로 변화(감소, 증가 또는 증감)시켜도 된다. 이 경우, 불화 수소의 흡착 레벨은 해당 변화에 추종하여 변화할 수 있다.

[0102] 또 도 7은, 공정 ST2에 있어서, 반응 제어 가스로서 반응 촉진 가스를 이용했을 경우의 타이밍 차트이지만, 이 것을 대신하거나/또는 더하여, 반응 제어 가스로서 반응 억제 가스를 이용해도 된다. 도 8은 반응 억제 가스를 이용했을 경우의 공정 ST2의 타이밍 차트의 다른 예이다. 도 5에 나타내는 것처럼, 공정 ST1(H1 기간, H2 기간)에 있어서 반응 억제 가스의 분압을 낮게 또는 제로로 하고( $P_D$ ), 공정 ST2(L1 기간, L2 기간)에 있어서 반응 억제 가스의 분압을 높게( $P_C$ ) 해도 된다. 이전에 의해, 공정 ST1(H1 기간, H2 기간)에 있어서의 불화 수소의 흡착 레벨( $L_C$ )은, 공정 ST2(L1 기간, L2 기간)에 있어서의 흡착 레벨( $L_D$ )보다도 높아진다.

[0103] 도 9a는 도 7 또는 도 8의 H1 기간(1 사이클째의 공정 ST21) 종료시(시간 t21)의 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타내는 도면이다. 도 9b는 도 7 또는 도 8의 L1 기간(1 사이클째의 공정 ST22) 종료시(시간 t22)의 기판(W)의 단면 구조의 일례를 나타낸다.

[0104] 도 9a에 나타내는 것처럼, H1 기간(1 사이클째의 공정 ST21)에 있어서의 처리에 의해, 실리콘 함유막(SF) 중, 개구(OP)에서 노출된 부분이 깊이 방향(도 9a에서 위에서 아래를 향하는 방향)으로 예칭되어, 오목부(RC)가 형성된다. H1 기간에서는, 오목부(RC)가 소여의 깊이(예를 들면, 공정 ST21 및 공정 ST22를 n사이클 반복하는 경우에 있어서, 실리콘 함유막(SF)의 두께의 1/n의 깊이)가 될 때까지 실리콘 함유막(SF)이 예칭된다. H1 기간에서는, 상술한 H 기간과 마찬가지로, L1 기간보다도 높은 예칭 레이트로 실리콘 함유막(SF)이 예칭되는 한편으로, 오목부(RC)는 깊이 방향을 따라서 끝이 가늘어지는 형상으로 될 수 있다(도 9a 참조).

[0105] 계속되는 L1 기간(1 사이클째의 공정 ST22)에서는, 상술한 L 기간과 마찬가지로, H1 기간에 비해 낮은 예칭 레이트로 실리콘 함유막(SF)이 예칭되는 한편으로, 수평 방향으로의 예칭이 진행되어, 오목부(RC)는 끝이 가늘어지는 형상으로부터 직사각형에 가까워진다(도 9b 참조). 즉 오목부(RC)의 수직성이 높아진다.

[0106] 이와 같이, 도 6 또는 도 7에 나타내는 예에서는, 높은 예칭 레이트로 실리콘 함유막(SF)을 예칭하는 공정 ST1(H1 기간, H2 기간 등)과, 실리콘 함유막(SF)의 오목부(RC)의 바닥부를 넓히는 공정 ST2(L1 기간, L2 기간)를 교대로 반복한다. 이전에 의해, 공정 ST2에 있어서의 예칭 레이트의 저하를 억제하면서, 예칭에 의해 형성되는 오목부의 수직성을 높여, 형상 이상을 억제할 수 있다.

[0107] <변형예>

[0108] 본 개시의 실시 형태는, 본 개시의 범위 및 취지로부터 일탈하는 일 없이 다양한 변형을 할 수 있다. 예를 들면, 이하와 같은 변형이 가능하다.

[0109] 도 10은 본 처리 방법의 변형예를 나타내는 순서도이다. 도 10에 나타내는 것처럼, 예칭 공정에 있어서, 제1 예칭과 제2 예칭의 순서를 반대로 해도 된다. 즉, 처음에 제2 처리 가스를 이용하여 실리콘 함유막(SF)의 예칭을 행한 후(공정 ST21A), 제1 처리 가스를 이용하여 실리콘 함유막(SF)의 예칭을 행해도 된다(공정 ST23A). 또한, 공정 ST2A에 있어서, 정지 조건이 만족되는지 여부의 판단을, 공정 ST23에 더하여, 공정 ST21A와 공정 ST22A의 사이에서도 실행해도 된다.

[0110] 도 11은 본 처리 방법의 변형예를 나타내는 순서도이다. 도 11에 나타내는 것처럼, 예칭 공정에 있어서, 제1 예칭만을 행해도 된다. 즉, 예칭 공정 ST2B에 있어서, 제1 처리 가스를 이용하여 실리콘 함유막(SF)의 예칭을 행하도록(공정 ST2B) 해도 된다.

[0111] 플라즈마로부터의 입열에 의해서, 예칭의 진행에 따라서, 기판(W)의 온도가 커질 수 있다. 여기서, 불화 수소는 기판(W)의 온도가 낮을수록 실리콘 함유막(SF)에 흡착하기 쉬운 경향이 있다. 그 때문에, 예칭의 진행에 따라서, 불화 수소의 흡착량이 감소하여, 예칭 레이트가 저하될 수 있다. 이에, 예를 들면, 예칭 레이트가 저하될 수 있는 예칭 공정의 중기부터 종기에 걸쳐 반응 촉진 가스를 공급해도 된다. 이전에 의해, 예칭 레이트의 저하를 억제할 수 있다. 또한, 반응 촉진 가스의 공급량은, 예칭 시간, 기판(W)이나 기판 지지부(11)의 온도 등에 기초하여 설정해도 된다.

[0112] 예칭에 의해 형성되는 오목부의 애스펙트비가 커짐에 따라, 오목부의 바닥부로의 에천트(불화 수소의 활성종)의

공급량은 감소한다. 이에, 오목부의 애스펙트비에 따라 반응 제어 가스의 분압을 변경해도 된다. 예를 들면, 고 애스펙트 영역의 에칭에서는, 저애스펙트 영역의 에칭보다도, 반응 촉진 가스의 분압을 크게 해도 된다. 이것에 의해, 고애스펙트 영역에 있어서, 에천트와 실리콘 함유막(SF)의 반응을 촉진할 수 있다.

[0113] 실리콘 함유막(SF)의 에칭에 의해 생기는 반응 부생성물의 퇴적에 의해, 에칭 레이트가 저하할 수 있다. 이 때문에, 에칭의 도중에, 일시적으로 반응 억제 가스를 공급하여, 반응 부생성물의 휘발을 촉진해도 된다. 반응 촉진 가스는 미리 설정한 타이밍에서 공급해도 되고, 플라즈마의 발광 상태 등으로부터 추측되는 에칭의 상황에 따라 공급해도 된다. 반응 억제 가스의 공급량 및 공급 시간은, 반응 부생성물의 휘발을 촉진할 수 있는 한 제한되지 않는다.

[0114] 또 처리 방법은 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치(1) 이외에도, 유도 결합형 플라즈마나 마이크로파 플라즈마 등, 임의의 플라즈마원을 이용한 플라즈마 처리 장치를 이용하여 실행해도 된다.

[0115] <실시예>

[0116] 다음으로, 본 처리 방법의 실시예에 대해 설명한다. 본 개시는 이하의 실시예에 의해서 어떠한 한정이 되는 것은 아니다.

[0117] (실시예 1 및 실시예 2)

[0118] 플라즈마 처리 장치(1)를 이용하여 본 처리 방법을 적용하여, 도 3에 나타내는 기판(W)과 마찬가지의 구조를 갖는 기판을 에칭했다. 마스크(MF)로서는, 홀 형상의 개구(OP)를 갖는 어모퍼스 카본막을 이용했다. 실리콘 함유막(SF)으로서는, 실리콘 산화막을 이용했다. 제1 처리 가스는 HF 가스에 더하여, 반응 억제 가스로서 Cl<sub>2</sub> 가스를 포함하고 있었다. 또 제2 처리 가스는 HF 가스에 더하여, 반응 억제 가스로서 Cl<sub>2</sub> 가스를 포함하고 있었다. 제2 처리 가스에 있어서의 반응 억제 가스(Cl<sub>2</sub> 가스)의 분압은, 제1 처리에 있어서의 반응 억제 가스(Cl<sub>2</sub> 가스)의 분압보다도 작았다. 기판 지지부(11)의 온도는 15°C로 설정했다. 실시예 1에서는, 도 2의 공정 ST21(620초) 및 공정 ST22(310초)를 1 사이클 행했다. 실시예 2에서는, 도 2의 공정 ST21(150초) 및 공정 ST22(50초)를 이순서로 4 사이클 행했다.

[0119] (참고예 1)

[0120] 참고예 1에서는, 플라즈마 처리 장치(1)를 이용하여, 실시예 1 및 실시예 2와 동일한 구성의 기판(W)을 에칭했다. 참고예 1에서는, 실시예 1 및 실시예 2에서 이용한 제1 처리 가스와 동일한 처리 가스를 이용하여 840초 연속하여 에칭을 행했다. 기판 지지부(11)의 온도는 15°C로 설정했다.

[0121] 실시예 1, 실시예 2 및 참고예 1에 의한 실리콘 함유막(SF)의 에칭 레이트 ER [nm/분], BB 바이어스 [nm]를 표 1에 나타낸다. BB 바이어스는 에칭에 의해 형성되는 오목부의 최대 개구폭과 바닥부의 개구폭의 차이며, 이 값이 작을수록, 오목부가 직사각형에 가까운(수직성이 높은) 것이 된다.

[0122] [표 1]

	실시예 1	실시예 2	참고예 1
E R	415	453	425
BB 바이어스	63	63	71

[0123]

[0124] 실시예 1은, 참고예 1에 비해, 약간 에칭 레이트는 약간 저하됐지만, BB 바이어스는 작아, 오목부의 수직성이 향상되어 있었다. 실시예 2는 참고예 1에 비해 에칭 레이트가 향상되고, 또한 BB 바이어스도 작아 오목부의 수직성이 향상되어 있었다. 즉, 실시예 1 및 실시예 2 모두, 에칭 레이트의 저하를 억제하면서, 오목부의 수직성을 높일 수(형상 이상을 억제할 수) 있었다.

[0125] (실시예 3 및 실시예 4)

[0126] 플라즈마 처리 장치(1)를 이용하여 본 처리 방법을 적용하여, 도 3에 나타내는 기판(W)과 마찬가지의 구조를 갖는 기판을 에칭했다. 마스크(MF)로서는, 홀 형상의 개구(OP)를 갖는 어모퍼스 카본막을 이용했다. 실리콘 함유막(SF)으로서는, 실리콘 산화막을 이용했다. 제1 처리 가스는 HF 가스에 더하여, 반응 촉진 가스로서 PF<sub>3</sub> 가스를 포함하고 있었다. 제2 처리 가스는 HF 가스를 포함하고, PF<sub>3</sub> 가스는 포함하고 있지 않았다. 기판 지지부(11)의 온도는 -20°C로 설정하고, 도 10의 공정 ST21A(40초) 및 공정 ST22A(120초)를 4 사이클 행했다. 실시예 3

에서는, 공정 ST21A 및 공정 ST22A의 쌍방에서, 동일한 듀티비(37%)를 갖는 소스 RF 신호의 펄스파를 이용하여 플라즈마를 생성했다. 실시예 4에서는, 공정 ST21A에서 듀티비 29%의 소스 RF 신호의 펄스파를 이용하고, 공정 ST22A에서 듀티비 37%의 소스 RF 신호의 펄스파를 이용하여 플라즈마를 생성했다.

[0127] 실시예 3 및 실시예 4에 의한 실리콘 함유막(SF)의 에칭 레이트 ER [nm/분] , BB 바이어스 [nm] 를 표 2에 나타낸다.

[0128] [표 2]

	실시예 3	실시예 4
E R	469	472
BB 바이어스	77	80

[0129] [0130] 실시예 4는 실시예 3에 비해, 에칭 레이트가 약간 높고, BB 바이어스가 약간 컸다. 실시예 4에서는, 공정 ST21A에 있어서 공정 ST22B보다도 듀티비를 낮춤으로써, 기판(W)으로의 입열이 억제되어, 에칭 레이트의 저하가 억제된 것으로 생각된다.

[0131] 본 개시의 실시 형태는, 이하의 양태를 더 포함한다.

[0132] (부기 1)

[0133] 챔버를 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서 실행되는 디바이스 제조 방법으로서,

[0134] (a) 실리콘 함유막과 상기 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내의 기판 지지부 상에 제공하는 공정과,

[0135] (b) 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정을 포함하고,

[0136] 상기 (b)의 공정은,

[0137] (b-1) 불화 수소 가스와, 불화 수소와 상기 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함하는 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 상기 제1 처리 가스는, 상기 반응 제어 가스로서, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 공정과,

[0138] (b-2) 불화 수소 가스를 포함하는 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 공정으로서, 상기 제2 처리 가스는, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 상기 반응 제어 가스를 포함하지 않는 공정을 포함하는 디바이스 제조 방법.

[0139] (부기 2)

[0140] 챔버, 상기 챔버 내에 마련된 기판 지지부, 플라즈마 생성부를 구비하는 플라즈마 처리 시스템의 컴퓨터에,

[0141] (a) 실리콘 함유막과 상기 실리콘 함유막 상의 마스크를 갖는 기판을, 챔버 내의 기판 지지부 상에 제공하는 제어와,

[0142] (b) 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 제어를 실행시키고,

[0143] 상기 (b)의 제어는,

[0144] (b-1) 불화 수소 가스와, 불화 수소와 상기 실리콘 함유막의 반응을 제어하는 반응 제어 가스를 포함하는 제1 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 제어로서, 상기 제1 처리 가스는, 상기 반응 제어 가스로서, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스 및 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스 중 적어도 일방을 포함하는 제어와,

[0145] (b-2) 불화 수소 가스를 포함하는 제2 처리 가스로부터 생성된 플라즈마를 이용하여 상기 실리콘 함유막을 에칭하는 제어로서, 상기 제2 처리 가스는, 상기 반응을 촉진하는 반응 촉진 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 촉진 가스보다도 작은 분압으로 포함하는 및/또는 상기 반응을 억제하는 반응 억제 가스를 상기 제1 처리 가스 중의 반응 억제 가스보다도 높은 분압으로 포함하거나, 또는 상기 반응 제어 가스를 포함하지 않는 제어를

포함하는, 프로그램.

[0146] (부기 3)

[0147] 부기 2에 기재된 프로그램을 격납한, 기억 매체.

### 부호의 설명

[0148] 1……플라즈마 처리 장치 2……제어부

10……플라즈마 처리 챔버 10s……플라즈마 처리 공간

11……기판 지지부 13……샤워 헤드

20……가스 공급부 31a……제1 RF 생성부

31b……제2 RF 생성부 32a……제1 DC 생성부

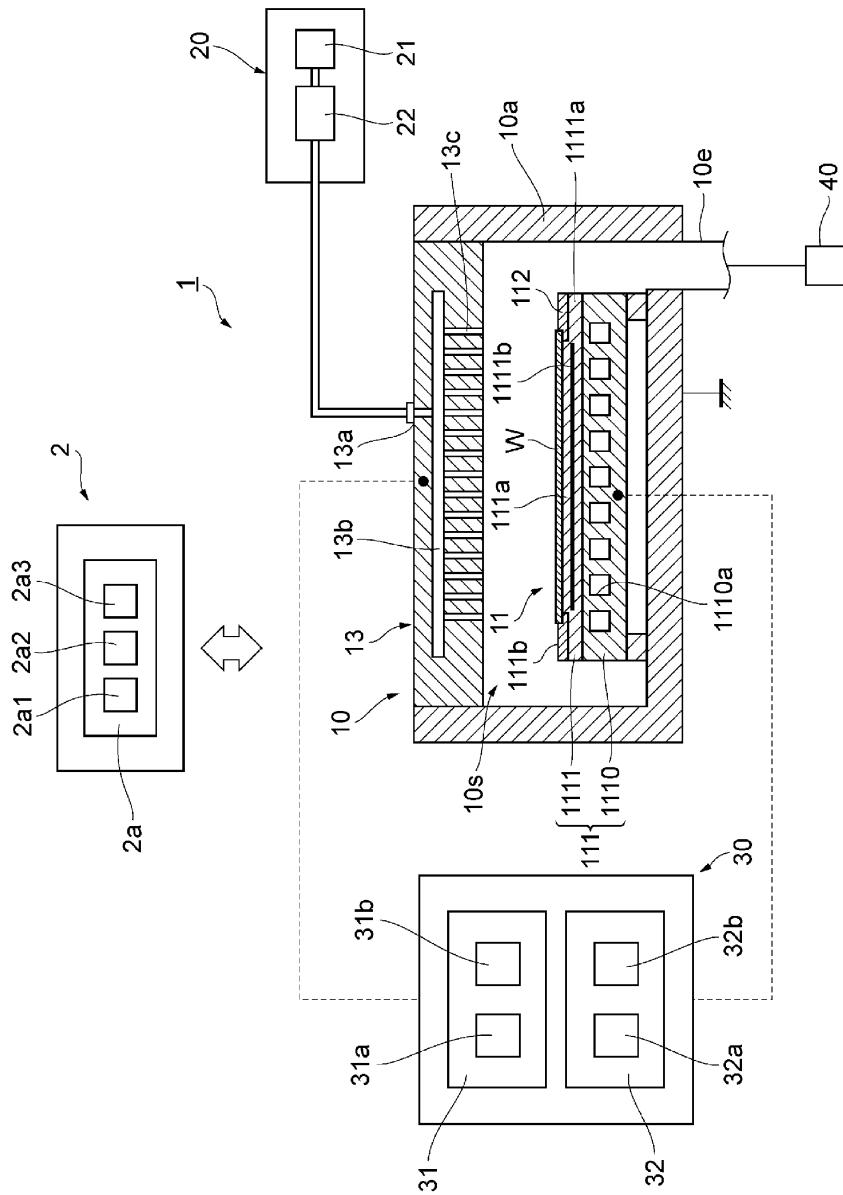
SF……실리콘 함유막 MF……마스크

OP……개구 RC……오목부

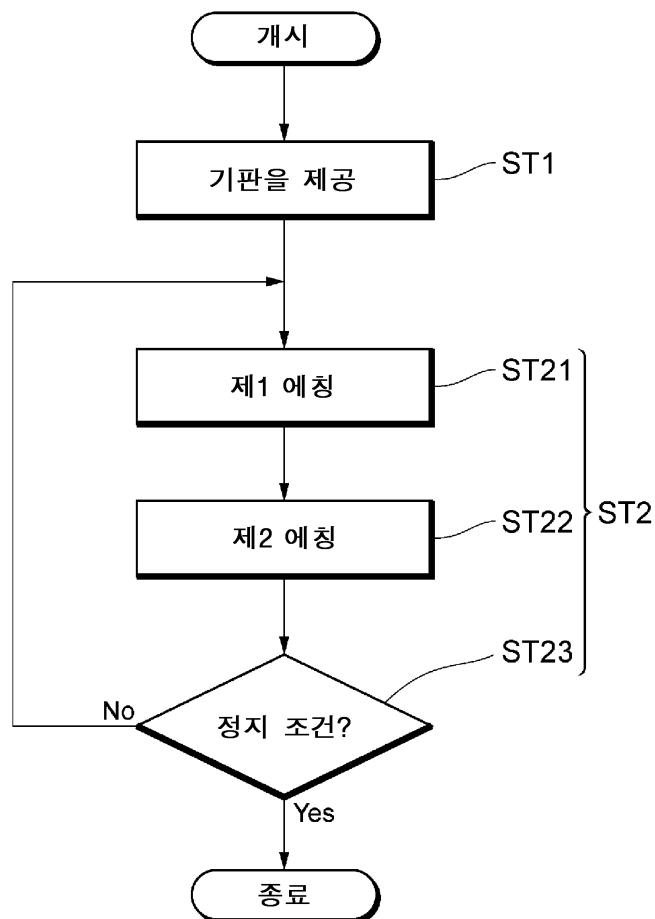
UF……하지막 W……기판

## 도면

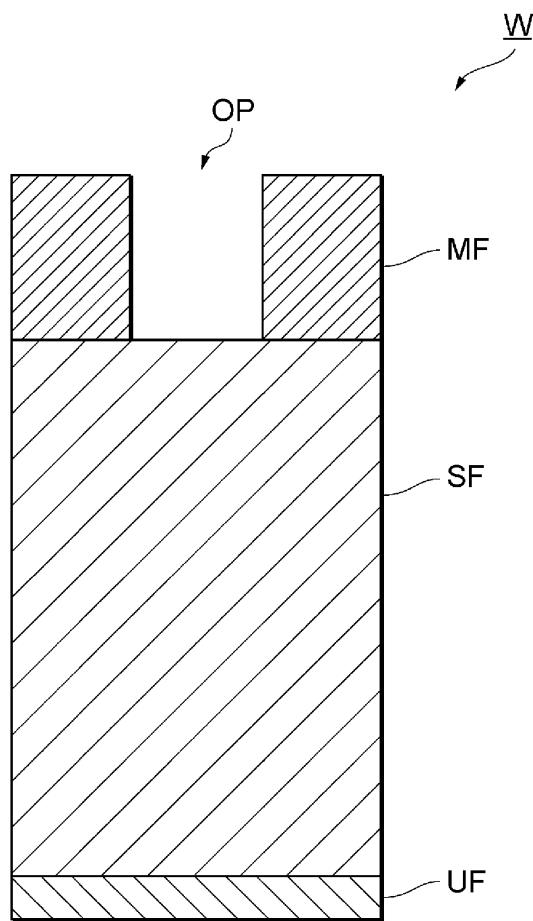
## 도면1



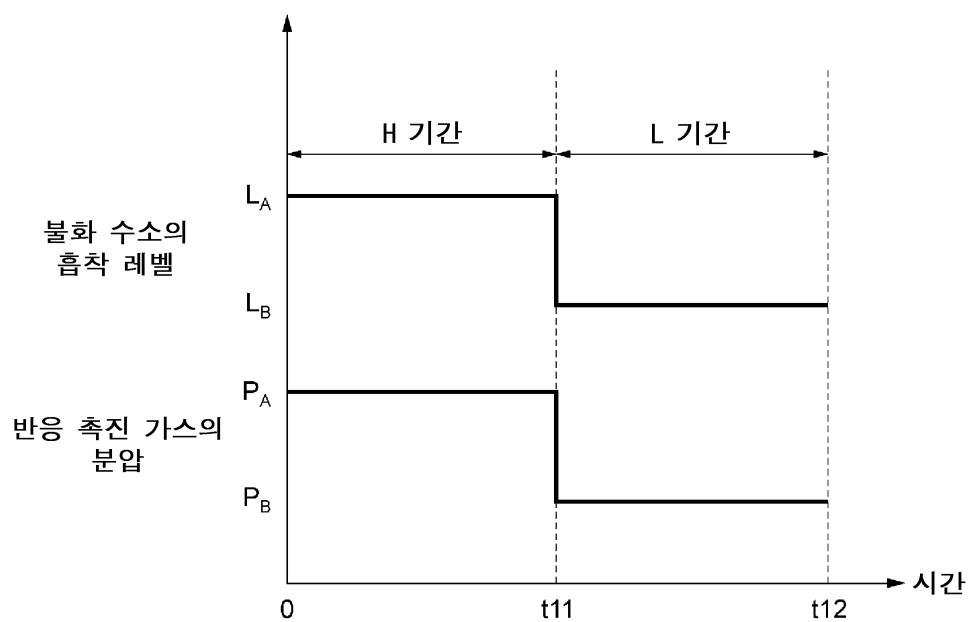
## 도면2



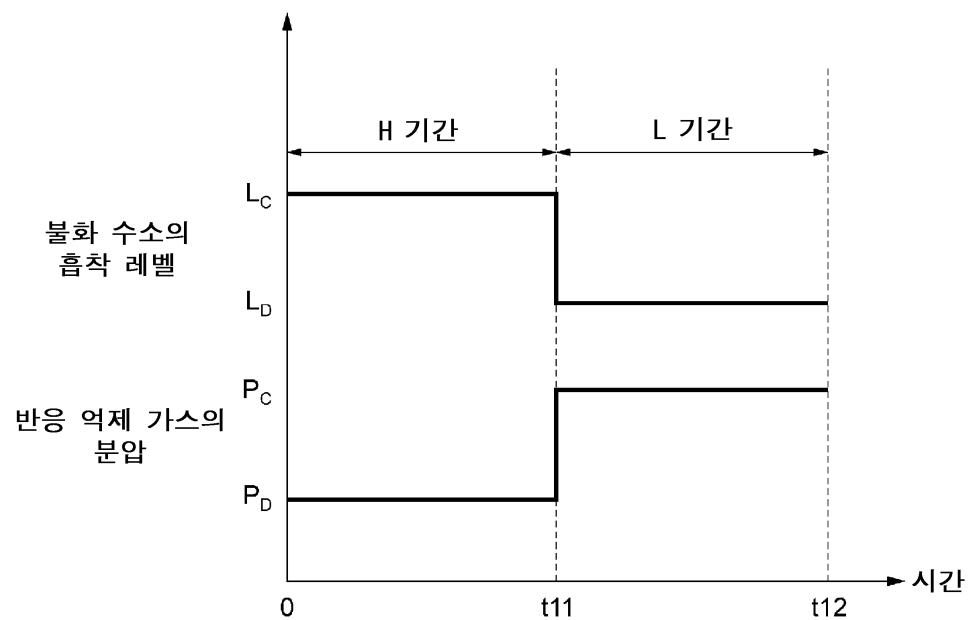
도면3



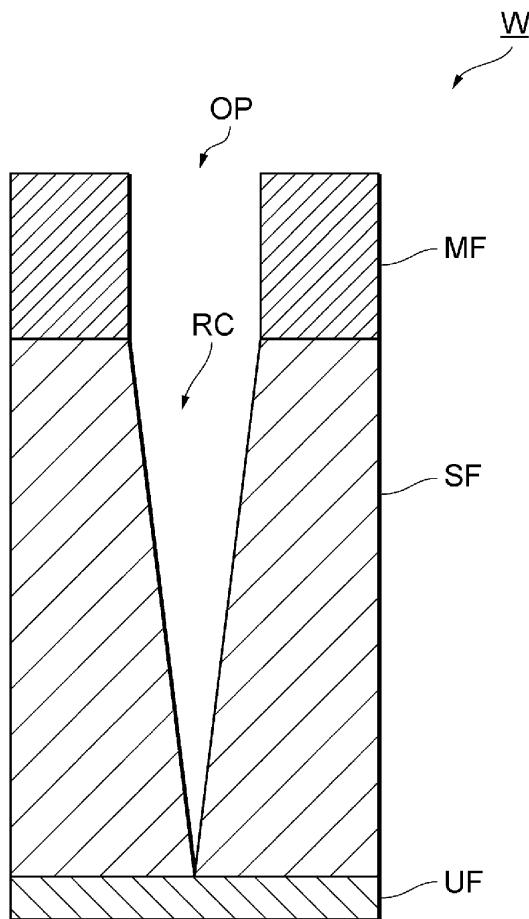
도면4



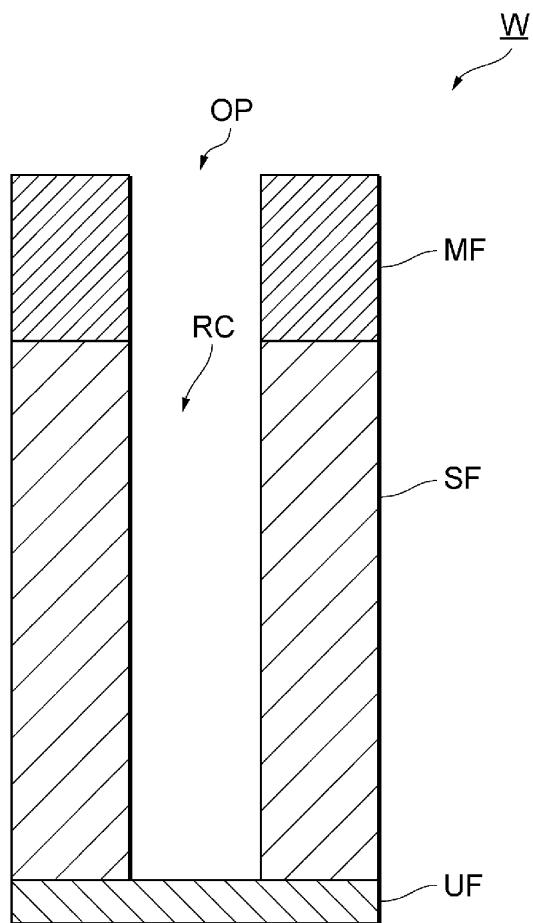
도면5



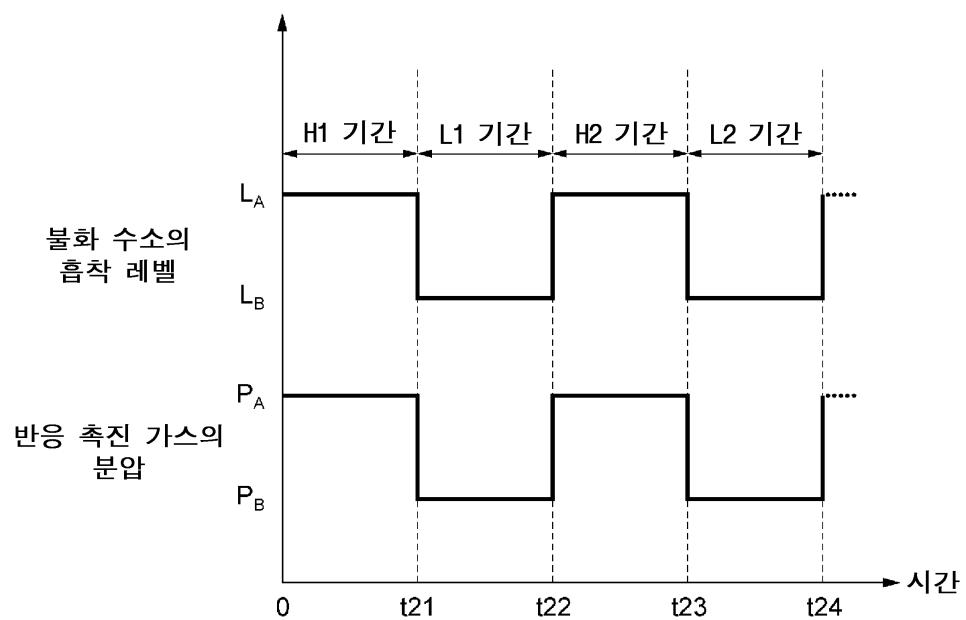
도면6a



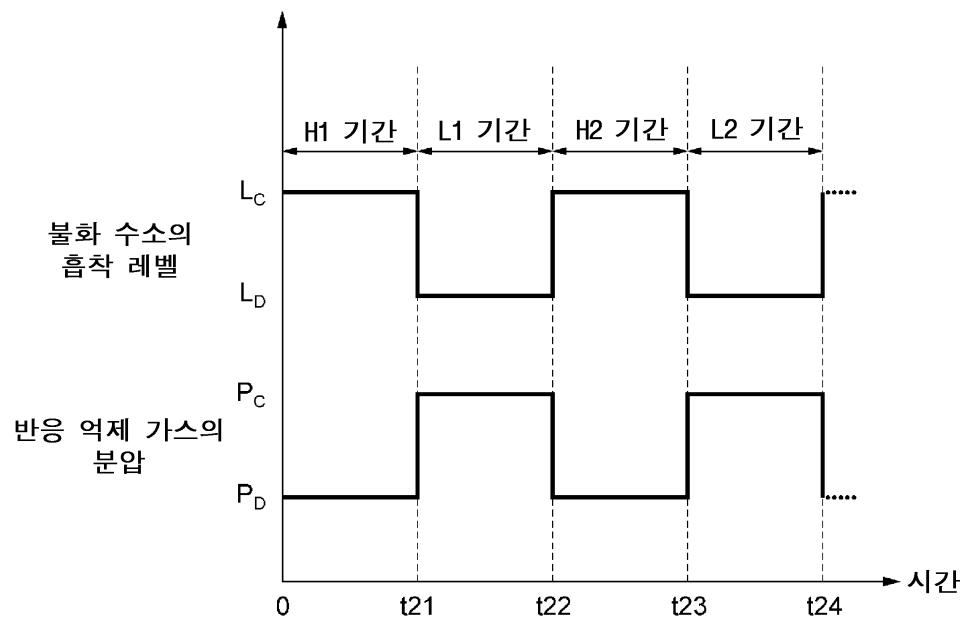
도면6b



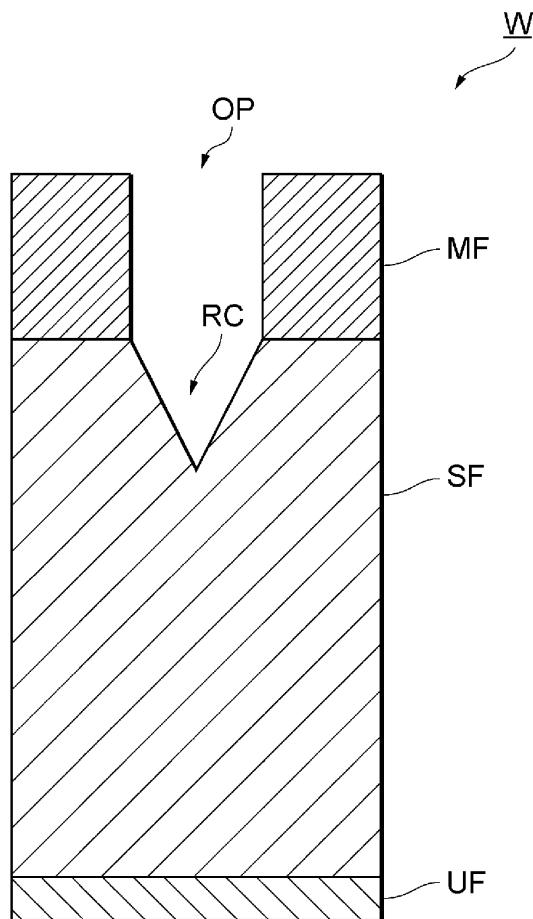
도면7



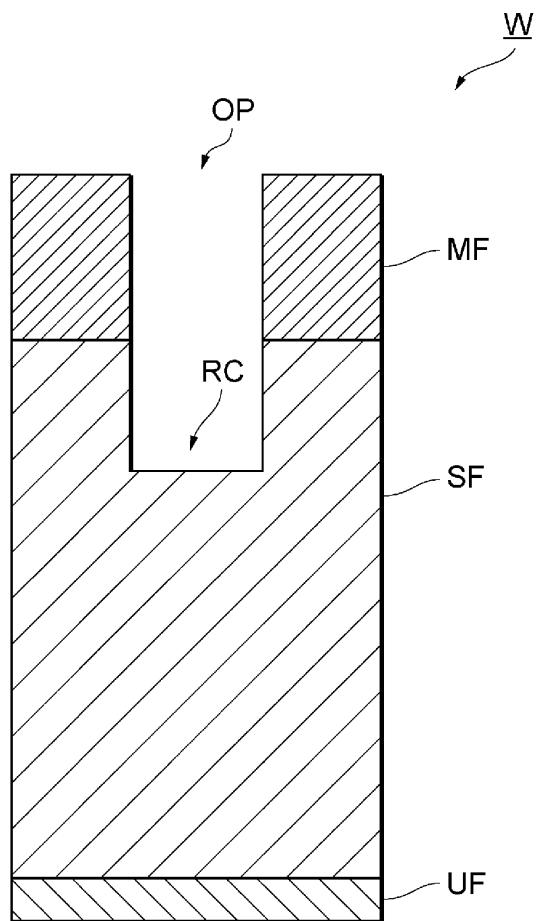
도면8



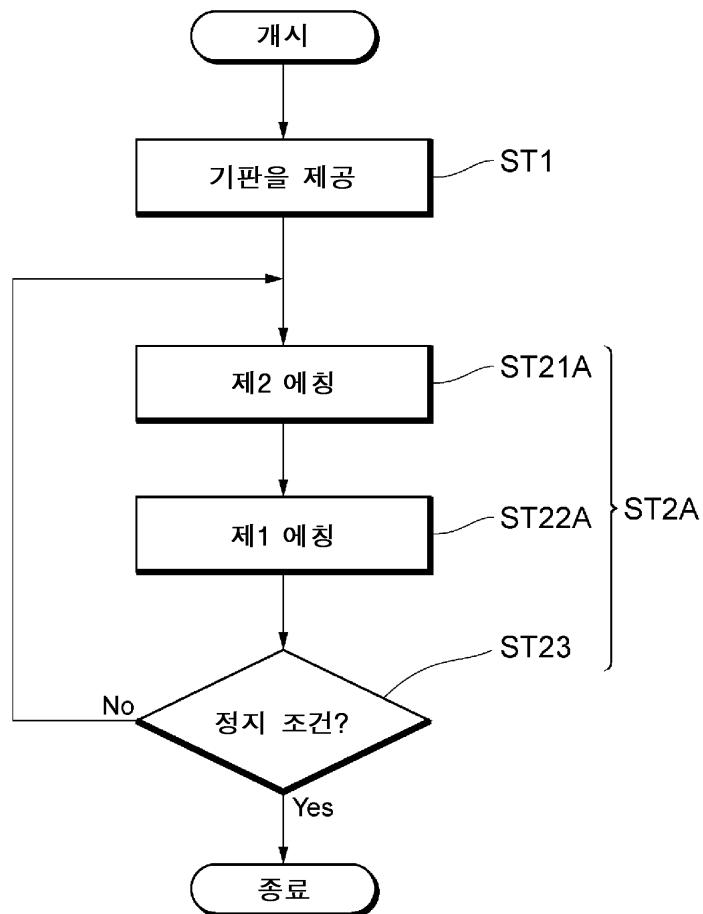
도면9a



도면9b



도면10



도면11

