



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월16일
(11) 등록번호 10-2718682
(24) 등록일자 2024년10월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
H01L 21/311 (2006.01) H01L 21/3213 (2006.01)
H01L 21/67 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/32174 (2013.01)
H01J 37/32541 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-0114834
(22) 출원일자 2018년09월27일
심사청구일자 2021년06월25일
(65) 공개번호 10-2019-0035589
(43) 공개일자 2019년04월03일
(30) 우선권주장
JP-P-2017-185082 2017년09월26일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2014158005 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
도쿄엘렉트론가부시키키가이샤
일본 도쿄도 미나토구 아카사카 5초메 3반 1고
- (72) 발명자
요코타 아키히로
일본 981-3629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈 1 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤 나이
반세 다카노리
일본 981-3629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈 1 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤 나이
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 12 항

심사관 : 최동기

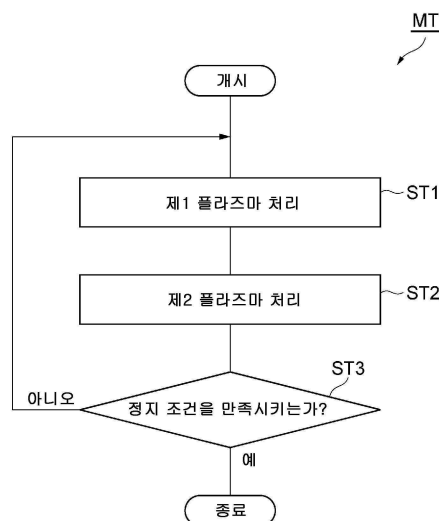
(54) 발명의 명칭 플라즈마 처리 방법 및 플라즈마 처리 장치

(57) 요약

본 발명은 플라즈마 처리의 실행 중의 플라즈마 밀도의 분포를 균일화하는 플라즈마 처리 방법을 제공하는 것을 과제로 한다.

일 실시형태의 플라즈마 처리 방법은 챔버 본체의 내부 공간 안에 피가공물이 수용된 상태로 실행된다. 플라즈마 처리 방법은 (i) 피가공물에 대하여 제1 플라즈마 처리를 실행하는 공정과, (ii) 피가공물에 대하여 제2 플라즈마 처리를 실행하는 공정을 포함한다. 제2 플라즈마 처리에서 설정되는 제2 고주파의 전력이, 제1 플라즈마 처리에서 설정되는 제2 고주파의 전력보다 크다. 제2 플라즈마 처리에서는, 전자석에 의해, 피가공물의 중심 위에서의 수평 성분보다 큰 수평 성분을 피가공물의 엣지측 위에서 갖는 자장의 분포가 형성된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01J 37/3266 (2013.01)
H01L 21/3065 (2013.01)
H01L 21/31116 (2013.01)
H01L 21/32136 (2013.01)
H01L 21/67069 (2013.01)

(72) 발명자

다카요시 조지

일본 981-3629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이

모리키타 신야

일본 981-3629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이

오쿠니시 나오히코

일본 981-3629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이

명세서

청구범위

청구항 1

제1 가스 및 제2 가스를 위한 적어도 하나의 입구를 갖는 챔버와,

상기 챔버 내에 배치된 기관 지지부로서, 상기 기관 지지부는, 기관을 지지하기 위한 표면을 가지고, 상기 표면은, 제1 영역과 상기 제1 영역을 둘러싸는 제2 영역을 갖는 것인, 상기 기관 지지부와,

상기 기관 지지부 내에 배치된 하부 전극과,

제1 주파수를 갖는 제1 RF 신호를 공급하도록 구성된 제1 RF 전력 공급부와,

상기 하부 전극에 전기적으로 접속되며, 상기 제1 주파수보다 낮은 제2 주파수를 갖는 제2 RF 신호를 공급하도록 구성된 제2 RF 전력 공급부와,

상기 챔버 내에 자장을 형성하도록 구성된 전자석으로서, 상기 자장은, 상기 제1 영역 상에 제1 수평 성분을 가지고, 상기 제2 영역 상에 상기 제1 수평 성분보다 큰 제2 수평 성분을 갖는 것인, 상기 전자석과,

제어부

를 포함하고,

상기 제어부는,

a) 기관을 상기 기관 지지부 상에 배치하는 공정과,

b) 상기 제1 RF 신호 및 상기 제2 RF 신호에 의해 상기 챔버에 있어서 상기 제1 가스로부터 제1 플라즈마를 형성하는 공정으로서, 상기 제2 RF 신호는, 제1 전력 레벨로 상기 하부 전극에 공급되고, 상기 제1 전력 레벨은, 0 이상인 것인, 상기 공정과,

c) 상기 기관을 상기 제1 플라즈마에 노출시키는 공정과,

d) 상기 제1 RF 신호, 상기 제2 RF 신호 및 상기 자장에 의해 상기 챔버에 있어서 상기 제2 가스로부터 제2 플라즈마를 형성하는 공정으로서, 상기 제2 RF 신호는, 상기 제1 전력 레벨보다 큰 제2 전력 레벨로 상기 하부 전극에 공급되는 것인, 상기 공정과,

e) 상기 기관을 상기 제2 플라즈마에 노출시키는 공정

을 초래하도록 구성되고,

f) 공정 b)~공정 e)를 반복하는 공정을 초래하도록 더 구성되는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기관은, 산화실리콘을 함유하는 제1 재료와 질화실리콘을 함유하는 제2 재료를 포함하고,

상기 제1 가스는, 플루오로카본 가스를 포함하며,

공정 c)에 있어서, 플루오로카본 함유막이 상기 기관 상에 형성되고,

상기 제2 가스는, 희가스를 포함하며,

공정 e)에 있어서, 상기 기관 상의 상기 제1 재료가 에칭되는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 3

제1 가스 및 제2 가스를 위한 적어도 하나의 입구를 갖는 챔버와,

상기 챔버 내에 배치된 기관 지지부로서, 상기 기관 지지부는, 기관을 지지하기 위한 표면을 가지고, 상기 표면

은, 제1 영역과 상기 제1 영역을 둘러싸는 제2 영역을 갖는 것인, 상기 기관 지지부와,

상기 기관 지지부 내에 배치된 하부 전극과,

제1 주파수를 갖는 제1 RF 신호를 공급하도록 구성된 제1 RF 전력 공급부와,

상기 하부 전극에 전기적으로 접속되며, 상기 제1 주파수보다 낮은 제2 주파수를 갖는 제2 RF 신호를 공급하도록 구성된 제2 RF 전력 공급부와,

상기 챔버 내에 자장을 형성하도록 구성된 전자석으로서, 상기 자장은, 상기 제1 영역 상에 제1 수평 성분을 가지고, 상기 제2 영역 상에 상기 제1 수평 성분보다 큰 제2 수평 성분을 갖는 것인, 상기 전자석과,

제어부

를 포함하고,

상기 제어부는,

a) 기관을 상기 기관 지지부 상에 배치하는 공정과,

b) 상기 제1 RF 신호 및 상기 제2 RF 신호에 의해 상기 챔버에 있어서 상기 제1 가스로부터 제1 플라즈마를 형성하는 공정으로서, 상기 제2 RF 신호는, 제1 전력 레벨로 상기 하부 전극에 공급되고, 상기 제1 전력 레벨은, 0 이상인 것인, 상기 공정과,

c) 상기 기관을 상기 제1 플라즈마에 노출시키는 공정과,

d) 상기 제1 RF 신호, 상기 제2 RF 신호 및 상기 자장에 의해 상기 챔버에 있어서 상기 제2 가스로부터 제2 플라즈마를 형성하는 공정으로서, 상기 제2 RF 신호는, 상기 제1 전력 레벨보다 큰 제2 전력 레벨로 상기 하부 전극에 공급되는 것인, 상기 공정과,

e) 상기 기관을 상기 제2 플라즈마에 노출시키는 공정

을 초래하도록 구성되고,

상기 기관은, 산화실리콘을 함유하는 제1 재료와 질화실리콘을 함유하는 제2 재료를 포함하며,

상기 제1 가스는, 플루오로카본 가스를 포함하고,

공정 c)에 있어서, 플루오로카본 함유막이 상기 기관 상에 형성되며,

상기 제2 가스는, 희가스를 포함하고,

공정 e)에 있어서, 상기 기관 상의 상기 제1 재료가 에칭되는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 4

제2항 또는 제3항에 있어서,

상기 제2 재료는 오목부를 가지고, 상기 제1 재료는 상기 오목부 내에 배치되는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 주파수는 13.56 MHz보다 큰 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제2 주파수는 40 MHz 이상인 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 제2 주파수는 60 MHz 이상인 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 8

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기관 지지부의 상방에 배치되며, 상기 제1 RF 전력 공급부에 전기적으로 접속된 상부 전극을 더 가지고,
상기 전자석은, 상기 상부 전극의 상방에 배치되는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 전자석과 상기 상부 전극 사이의 제1 거리는 60 mm보다 크고, 상기 전자석과 상기 기관 지지부 상에 배치된 기관 사이의 제2 거리는 230 mm 이하인 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 10

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전자석은, 상기 챔버의 중심 축선에 대하여 동축으로 배치된 하나 이상의 코일을 포함하는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 11

a) 챔버 내의 기관 지지부의 표면 상에 기관을 배치하는 공정으로서, 상기 표면은, 제1 영역과 상기 제1 영역을 둘러싸는 제2 영역을 갖는 것인, 상기 공정과,

b) 제1 RF 신호 및 제2 RF 신호에 의해 상기 챔버에 있어서 제1 가스로부터 제1 플라즈마를 형성하는 공정으로서, 상기 제1 RF 신호는, 제1 주파수를 가지고, 상기 제2 RF 신호는, 상기 제1 주파수보다 낮은 제2 주파수를 가지며, 제1 전력 레벨로 하부 전극에 공급되고, 상기 하부 전극은, 상기 기관 지지부 내에 배치되며, 상기 제1 전력 레벨은, 0 이상인 것인, 상기 공정과,

c) 상기 기관을 상기 제1 플라즈마에 노출시키는 공정과,

d) 상기 제1 RF 신호, 상기 제2 RF 신호 및 자장에 의해 상기 챔버에 있어서 제2 가스로부터 제2 플라즈마를 형성하는 공정으로서, 상기 제2 RF 신호는, 상기 제1 전력 레벨보다 큰 제2 전력 레벨로 상기 하부 전극에 공급되고, 상기 자장은, 상기 제1 영역 상에 제1 수평 성분을 가지며, 상기 제2 영역 상에 상기 제1 수평 성분보다 큰 제2 수평 성분을 갖는 것인, 상기 공정과,

e) 상기 기관을 상기 제2 플라즈마에 노출시키는 공정

을 포함하고,

공정 b)~공정 e)가 반복되는 것인, 플라즈마 처리 방법.

청구항 12

a) 챔버 내의 기관 지지부의 표면 상에 기관을 배치하는 공정으로서, 상기 표면은, 제1 영역과 상기 제1 영역을 둘러싸는 제2 영역을 갖는 것인, 상기 공정과,

b) 제1 RF 신호 및 제2 RF 신호에 의해 상기 챔버에 있어서 제1 가스로부터 제1 플라즈마를 형성하는 공정으로서, 상기 제1 RF 신호는, 제1 주파수를 가지고, 상기 제2 RF 신호는, 상기 제1 주파수보다 낮은 제2 주파수를 가지며, 제1 전력 레벨로 하부 전극에 공급되고, 상기 하부 전극은, 상기 기관 지지부 내에 배치되며, 상기 제1 전력 레벨은, 0 이상인 것인, 상기 공정과,

c) 상기 기관을 상기 제1 플라즈마에 노출시키는 공정과,

d) 상기 제1 RF 신호, 상기 제2 RF 신호 및 자장에 의해 상기 챔버에 있어서 제2 가스로부터 제2 플라즈마를 형성하는 공정으로서, 상기 제2 RF 신호는, 상기 제1 전력 레벨보다 큰 제2 전력 레벨로 상기 하부 전극에 공급되고, 상기 자장은, 상기 제1 영역 상에 제1 수평 성분을 가지며, 상기 제2 영역 상에 상기 제1 수평 성분보다 큰 제2 수평 성분을 갖는 것인, 상기 공정과,

e) 상기 기판을 상기 제2 플라즈마에 노출시키는 공정

을 포함하고,

상기 기판은, 산화실리콘을 함유하는 제1 재료와 질화실리콘을 함유하는 제2 재료를 포함하며,

상기 제1 가스는, 플루오로카본 가스를 포함하고,

공정 c)에 있어서, 플루오로카본 함유막이 상기 기판 상에 형성되며,

상기 제2 가스는, 희가스를 포함하고,

공정 e)에 있어서, 상기 기판 상의 상기 제1 재료가 에칭되는 것인, 플라즈마 처리 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시의 실시형태는 플라즈마 처리 방법 및 플라즈마 처리 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전자 디바이스의 제조에서는, 플라즈마 처리 장치를 이용하여 플라즈마 처리 방법이 실행되어, 피가공물이 처리된다. 플라즈마 처리 장치는 일반적으로, 챔버 본체, 가스 공급부, 스테이지, 제1 고주파 전원 및 제2 고주파 전원을 포함하고 있다. 가스 공급부는 챔버 본체의 내부 공간에 가스를 공급하도록 구성되어 있다. 스테이지는 챔버 본체의 내부 공간 안에 마련되어 있고, 그 위에 배치되는 피가공물을 지지하도록 구성되어 있다. 피가공물은 그 중심이 챔버 본체의 중심 축선 상에 위치하도록, 스테이지 상에 배치된다. 스테이지는 하부 전극을 포함하고 있다. 제1 고주파 전원은 플라즈마를 생성하기 위한 제1 고주파를 발생하도록 구성되어 있다. 제2 고주파 전원은 제2 고주파를 발생하도록 구성되어 있다. 제2 고주파의 주파수는 제1 고주파의 주파수보다 낮다. 제2 고주파는 하부 전극에 공급된다. 플라즈마 처리 장치를 이용한 플라즈마 처리 방법에서는, 제1 고주파에 의해 내부 공간 안에서 가스가 여기되어, 플라즈마가 생성된다. 또한, 제2 고주파가 하부 전극에 공급됨으로써, 플라즈마 중의 이온이 피가공물을 향하여 가속되고, 가속된 이온이 피가공물에 조사된다.

[0003] 플라즈마 처리 방법의 일종으로서, 2개의 플라즈마 처리를 피가공물에 대하여 순서대로 적용하는 플라즈마 처리 방법이 있다. 이러한 플라즈마 처리 방법은 특허문헌 1에 기재되어 있다. 특허문헌 1에 기재된 플라즈마 처리 방법은, 산화실리콘으로 형성된 제1 영역을, 질화실리콘으로 형성된 제2 영역에 대하여 선택적으로 에칭하기 위해 실행된다. 이 플라즈마 처리 방법에서는, 플루오로카본 가스의 플라즈마를 이용한 처리와 희가스의 플라즈마를 이용한 처리가 실행된다. 플루오로카본 가스의 플라즈마를 이용한 처리에서는, 피가공물 상에 플루오로카본을 포함하는 퇴적물의 막이 형성된다. 플루오로카본 가스의 플라즈마를 이용한 처리의 실행 중에는, 제2 고주파의 전력은 비교적 낮은 전력(예컨대, 0 와트)으로 설정된다. 희가스를 이용한 플라즈마 처리에서는, 희가스의 이온이 피가공물에 조사된다. 희가스를 이용한 플라즈마 처리의 실행 중에는, 제2 영역은 퇴적물의 막에 의해 보호되고, 제1 영역은 퇴적물의 막 중의 플루오로카본의 라디칼에 의해 에칭된다. 희가스를 이용한 플라즈마 처리의 실행 중에는, 제2 고주파의 전력은 비교적 높은 전력으로 설정된다. 이 플라즈마 처리 방법은, 제2 영역에 의해 제공된 오목부 내에 마련되어 있는 제1 영역을 에칭하여, 개구를 자기 정합적으로 형성하기 위해 이용되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 특허 공개 제2015-173240호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 전자 디바이스의 미세화에 따라, 전술한 오목부의 폭은 좁게 되어 있다. 좁은 오목부 안에 존재하는 제1 영역 위에 두껍게 퇴적물이 형성되면, 회가스를 이용한 플라즈마 처리에 의한 제1 영역의 에칭이 진행되지 않게 된다. 따라서, 피가공물 상에 형성되는 퇴적물의 막의 막 두께를 작게 할 필요가 있다. 퇴적물의 막의 막 두께가 작은 경우에는, 제2 영역의 에칭을 억제하기 위해, 피가공물에 조사되는 회가스의 이온의 에너지를 낮게 할 필요가 있다. 이온의 에너지를 낮게 하기 위해서는, 높은 주파수를 갖는 제2 고주파를 이용하는 것이 생각된다. 제2 고주파의 주파수가 높은 경우에는, 피가공물의 중심 위에서는 높은 전계 강도를 가지고, 피가공물의 엣지측 위에서는 낮은 전계 강도를 갖는 전계 강도의 분포가 형성된다. 즉, 내부 공간 안에서는, 방사 방향으로의 중심 축선으로부터의 거리의 증가에 따라 전계 강도가 감소하는 것 같은 불균일한 전계 강도의 분포가 형성된다. 그 결과, 중심 축선에 대하여 방사 방향으로 불균일한 플라즈마 밀도의 분포가 형성된다. 이러한 플라즈마 밀도의 분포는, 직경 방향으로의 플라즈마 처리의 불균일성을 가져온다. 따라서, 회가스를 이용한 플라즈마 처리에서의 플라즈마 밀도의 분포를 균일화하는 것이 요구된다. 또한, 제2 고주파(바이어스용의 고주파)의 전력이 낮은 전력으로 설정되는 제1 플라즈마 처리와 제2 고주파의 전력이 높은 전력으로 설정되는 제2 플라즈마 처리를 포함하는 임의의 플라즈마 처리 방법에서, 마찬가지로, 제2 플라즈마 처리의 실행 중의 플라즈마 밀도의 분포를 균일화하는 것이 요구된다.

과제의 해결 수단

[0006] 일양태에서는, 플라즈마 처리 장치에서의 피가공물을 위한 플라즈마 처리 방법이 제공된다. 플라즈마 처리 장치는 챔버 본체, 스테이지, 하부 전극, 가스 공급부, 제1 고주파 전원, 제2 고주파 전원 및 전자석을 포함한다. 스테이지는 피가공물의 배치 영역을 제공하고, 내부 공간 안에 마련되어 있다. 배치 영역의 중심은 챔버 본체의 중심 축선 상에 위치한다. 하부 전극은 스테이지 내에 제공된다. 가스 공급부는 챔버 본체의 내부 공간에 제1 가스 및 제2 가스를 공급하도록 구성되어 있다. 제1 고주파 전원은 제1 고주파를 공급하도록 구성되어 있다. 제2 고주파 전원은 제2 고주파를 공급하도록 구성되어 있고, 하부 전극에 전기적으로 접속되어 있다. 제2 고주파의 주파수는 제1 고주파의 주파수보다 낮다. 전자석은 챔버 본체의 내부 공간 안에 자장을 형성하도록 구성되어 있다.

[0007] 일양태에 따른 플라즈마 처리 방법은, 챔버 본체의 내부 공간 안에 피가공물이 수용된 상태로 실행된다. 이 플라즈마 처리 방법은 (i) 내부 공간에 공급된 제1 가스로부터 발생된 플라즈마에 의해, 피가공물에 대하여 제1 플라즈마 처리를 수행하는 공정과, (ii) 내부 공간에 공급된 제2 가스로부터 발생된 플라즈마에 의해, 피가공물에 대하여 제2 플라즈마 처리를 수행하는 공정을 포함한다. 제2 플라즈마 처리에서 설정되는 제2 고주파의 전력이, 제1 플라즈마 처리에서 설정되는 제2 고주파의 전력보다 크다. 제2 플라즈마 처리에서는, 전자석에 의해, 피가공물의 중심 위에서의 수평 성분보다 큰 수평 성분을 피가공물의 엣지측 위에서 갖는 자장의 분포가 형성된다.

[0008] 일양태에 따른 플라즈마 처리 방법에서는, 제2 플라즈마 처리의 실행 중에는, 피가공물의 중심 위에서 전계 강도가 높아지고, 피가공물의 엣지측 위에서 전계 강도가 낮아진다. 즉, 제2 플라즈마 처리의 실행 중에는, 중심 축선에 대하여 방사 방향으로 불균일한 전계 강도의 분포가 형성된다. 또한, 제2 플라즈마 처리의 실행 중에는, 전술한 자장의 분포가 내부 공간 안에서 형성된다. 큰 수평 성분의 자장이 형성되어 있는 부분에서는, 전자의 체제 시간이 길어진다. 그 결과, 큰 수평 성분의 자장이 형성되어 있는 부분에서는, 플라즈마의 밀도가 상승한다. 그러므로, 제2 플라즈마 처리의 실행 중의 플라즈마 밀도의 분포가 균일화된다. 더구나, 전자석에 의해 형성되는 자장의 분포에 의해 플라즈마 밀도의 분포가 균일화되기 때문에, 제1 플라즈마 처리로부터 제2 플라즈마 처리로 실행되는 플라즈마 처리가 전환된 시점에서, 고속으로 플라즈마 밀도의 분포가 균일화될 수 있다.

[0009] 일 실시형태에서, 제1 플라즈마 처리를 실행하는 공정과 제2 플라즈마 처리를 실행하는 공정이 교대로 반복된다. 제1 플라즈마 처리와 제2 플라즈마 처리를 교대로 반복하는 경우에도, 제1 플라즈마 처리로부터 제2 플라즈마 처리로 실행되는 플라즈마 처리가 전환된 시점에서, 고속으로 플라즈마 밀도의 분포가 균일화될 수 있다.

- [0010] 일 실시형태에서, 피가공물은 산화실리콘으로 형성된 제1 영역 및 질화실리콘으로 형성된 제2 영역을 갖는다. 제1 가스는 플루오로카본 가스를 포함한다. 제1 플라즈마 처리에서, 플루오로카본을 포함하는 퇴적물의 막이 피가공물 상에 형성된다. 제2 가스는 희가스를 포함한다. 제2 플라즈마 처리에서, 퇴적물의 막이 그 위에 형성된 피가공물에 희가스의 이온이 조사됨으로써, 제1 영역이 에칭된다. 이 실시형태에서는, 제2 영역이 퇴적물의 막에 의해 보호되고, 또한, 제1 영역이 에칭되기 때문에, 제2 영역에 대하여 선택적으로 제1 영역이 에칭된다.
- [0011] 일 실시형태에서, 제2 영역에 의해 제공된 오목부는 제1 영역을 포함한다. 이 실시형태에서는, 제2 영역의 오목부 내에 마련된 제1 영역이 에칭되어, 자기 정합적으로 개구가 형성된다.
- [0012] 일 실시형태에서, 제2 고주파의 주파수는 13.56 MHz보다 크다. 일 실시형태에서, 제2 고주파의 주파수는 40 MHz 이상이다. 일 실시형태에서, 제2 고주파의 주파수는 60 MHz 이상이다.

발명의 효과

- [0013] 이상 설명한 바와 같이, 제1 플라즈마 처리 및 제2 플라즈마 처리를 포함하는 플라즈마 처리 방법에서, 바이어스용의 고주파의 전력이 비교적 큰 전력으로 설정되는 제2 플라즈마 처리의 실행 중의 플라즈마 밀도의 분포를 균일화하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

- [0014] 도 1은 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 방법을 나타내는 흐름도이다.
- 도 2는 도 1에 나타내는 플라즈마 처리 방법의 실행에서 이용하는 것이 가능한 일 실시형태의 플라즈마 처리 장치를 개략적으로 나타내는 도면이다.
- 도 3은 챔버 본체의 내부 공간 중에서의 전계 강도의 분포의 계산 결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 4는 도 2에 나타내는 플라즈마 처리 장치의 접지 도체의 내부의 구성을 나타내는 평면도이다.
- 도 5는 도 2에 나타내는 플라즈마 처리 장치에 의해 형성 가능한 자장의 분포의 계산 결과를 나타내는 도면이다.
- 도 6은 도 2에 나타내는 플라즈마 처리 장치의 내부 공간 중에서의 이온 다발의 분포의 측정 결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 7은 도 1에 나타내는 방법의 일 실시형태를 적용 가능한 일례의 피가공물의 일부 확대 단면도이다.
- 도 8은 도 7에 나타내는 상태로부터 처리된 피가공물의 일부 확대 단면도이다.
- 도 9의 (a)는 도 1에 나타내는 방법의 일 실시형태에서의 공정(ST1)의 실행 후의 상태의 피가공물의 일부 확대 단면도이고, 도 9의 (b)는 도 1에 나타내는 방법의 일 실시형태에서의 공정(ST2)의 실행 후의 상태의 피가공물의 일부 확대 단면도이다.
- 도 10은 도 1에 나타내는 방법의 일 실시형태가 적용된 후의 피가공물의 일부 확대 단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 도면을 참조하여 여러 가지의 실시형태에 대해서 상세하게 설명한다. 또한, 각 도면에서 동일 또는 상당하는 부분에 대해서는 동일한 부호를 붙이는 것으로 한다.
- [0016] 도 1은 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 방법을 나타내는 흐름도이다. 도 1에 나타내는 플라즈마 처리 방법(이하, 「방법(MT)」이라고 함)은, 플라즈마 처리 장치의 챔버 본체의 내부 공간 안에 피가공물이 수용된 상태로 실행된다.
- [0017] 도 2는 도 1에 나타내는 플라즈마 처리 방법의 실행에서 이용하는 것이 가능한 일 실시형태의 플라즈마 처리 장치를 개략적으로 나타내는 도면이다. 도 2에서는, 일 실시형태의 플라즈마 처리 장치(10)가 연직 방향으로 연장되는 면에서 부분적으로 파단된 상태로 나타나 있다. 도 2에 나타내는 플라즈마 처리 장치(10)는 챔버 본체(12)를 포함하고 있다. 챔버 본체(12)는 통형상을 가지고 있고, 측벽(12a) 및 바닥부(12b)를 포함하고 있다. 챔버 본체(12)는 내부 공간(12s)을 제공하고 있다. 도 2에 나타내는 중심 축선(AX)은 챔버 본체(12) 및 내부 공간(12s)의 중심 축선이다. 챔버 본체(12)는 예컨대 알루미늄이라고 하는 금속으로 형성되어 있다. 챔버 본체(12)의 내벽면에는 내플라즈마성을 갖는 막이 형성되어 있다. 이 막은 알루미늄이트막, 산화이트륨제의 막이라고 하는

세라믹제의 막일 수 있다. 챔버 본체(12)는 접지되어 있다.

- [0018] 측벽(12a)에는 통로(12p)가 형성되어 있다. 피가공물(W)은 내부 공간(12s)과 챔버 본체(12)의 외부 사이에서 반송될 때에, 통로(12p)를 통과한다. 피가공물(W)은, 웨이퍼와 같이 원반 형상을 가질 수 있다. 통로(12p)는 게이트 밸브(12g)에 의해 개폐 가능하게 되어 있다. 게이트 밸브(12g)는 측벽(12a)을 따라 마련되어 있다.
- [0019] 내부 공간(12s) 안에는 스테이지(14)가 마련되어 있다. 스테이지(14)는 지지체(15)에 의해 지지되어 있다. 지지체(15)는 원통 형상을 가지고 있고, 챔버 본체(12)의 바닥부(12b)로부터 상방으로 연장되어 있다. 지지체(15)는 절연성을 가지고 있고, 예컨대 세라믹으로 형성되어 있다.
- [0020] 스테이지(14)는 피가공물(W)을 지지하도록 구성되어 있다. 스테이지(14)는 챔버 본체(12)와 중심 축선(AX)을 공유하고 있다. 스테이지(14)는 배치 영역(14r)을 제공하고 있다. 이 배치 영역(14r)의 중심은 중심 축선(AX) 상에 위치한다. 피가공물(W)은 그 중심이 중심 축선(AX) 상에 위치하도록, 배치 영역(14r) 상에 배치된다.
- [0021] 스테이지(14)는 전극 플레이트(16), 하부 전극(18) 및 정전 척(20)을 포함하고 있다. 전극 플레이트(16)는 대략 원반 형상을 가지고 있다. 전극 플레이트(16)는 도전성을 가지고 있다. 전극 플레이트(16)는 알루미늄이라고 하는 금속으로 형성되어 있다. 하부 전극(18)은 원반 형상을 가지고 있다. 하부 전극(18)은 도전성을 가지고 있다. 하부 전극(18)은 알루미늄이라고 하는 금속으로 형성되어 있다. 하부 전극(18)은 전극 플레이트(16) 상에 탑재되어 있다. 하부 전극(18)은 전극 플레이트(16)에 전기적으로 접속되어 있다.
- [0022] 하부 전극(18) 안에는, 유로(18p)가 형성되어 있다. 유로(18p)는 하부 전극(18) 안에서, 예컨대 나권형(螺卷形)으로 연장되어 있다. 유로(18p)에는 열 교환 매체의 순환 장치(22)(예컨대 칠러 유닛)로부터 열 교환 매체(예컨대 냉매)가 공급된다. 순환 장치(22)는 챔버 본체(12)의 외부에 마련되어 있다. 유로(18p)에 공급된 열 교환 매체는 순환 장치(22)에 복귀된다. 열 교환 매체와 하부 전극(18)의 열 교환에 의해, 스테이지(14) 상에 배치된 피가공물(W)의 온도가 제어된다.
- [0023] 정전 척(20)은 하부 전극(18) 상에 마련되어 있다. 정전 척(20)은 대략 원반 형상을 가지고 있다. 정전 척(20)은 세라믹제의 본체 안에, 막형의 전극을 가지고 있다. 정전 척(20)의 전극에는 스위치를 통해 직류 전원(24)이 접속되어 있다. 정전 척(20)은 전술한 배치 영역(14r)을 제공하고 있다. 피가공물(W)이 정전 척(20) 상[배치 영역(14r) 상]에 배치되어 있는 상태로, 직류 전원(24)으로부터의 직류 전압이 정전 척(20)의 전극에 인가되면, 피가공물(W)과 정전 척(20) 사이에서 정전 인력이 발생한다. 발생한 정전 인력에 의해, 피가공물(W)은 정전 척(20)으로 끌려가, 정전 척(20)에 의해 유지된다. 플라스마 처리 장치(10)에는 정전 척(20)과 피가공물(W)의 하면 사이에 전열 가스(예컨대 He 가스)를 공급하는 전열 가스 공급 라인이 마련되어 있어도 좋다.
- [0024] 정전 척(20)의 내부에는 1 이상의 히터(예컨대 1 이상의 저항 가열 소자)가 마련되어 있어도 좋다. 1 이상의 히터에 히터 컨트롤러로부터의 전력이 공급됨으로써, 그 1 이상의 히터가 발열하여, 정전 척(20)의 온도, 나아가서는 피가공물(W)의 온도가 조정된다.
- [0025] 챔버 본체(12)의 내부 공간(12s) 내에서는, 포커스 링(FR)이, 정전 척(20) 및 피가공물(W)의 엷지를 둘러싸도록 배치된다. 포커스 링(FR)은 환형의 판이며, 실리콘, 석영이라고 하는 실리콘 함유 재료로 형성되어 있다. 포커스 링(FR)은 플라스마 처리의 균일성을 얻기 위해 이용된다.
- [0026] 지지체(15)의 둘레에는 통형의 도체(26)가 마련되어 있다. 도체(26)는 접지되어 있다. 도체(26)의 상방에는 스테이지(14)를 둘러싸도록 통형의 절연체(28)가 마련되어 있다. 절연체(28)는 석영이라고 하는 세라믹으로 형성되어 있다. 스테이지(14)와 챔버 본체(12)의 측벽(12a) 사이에는, 배기로가 형성되어 있다. 배기로에는 배플 플레이트(30)가 마련되어 있다. 배플 플레이트(30)는 환형의 판이다. 배플 플레이트(30)에는 그 배플 플레이트(30)를 그 판 두께 방향으로 관통하는 다수의 구멍이 형성되어 있다. 배플 플레이트(30)는 알루미늄이라고 하는 금속으로 형성된 모재의 표면에, 산화이트륨이라고 하는 내플라스마성의 피막을 형성함으로써 구성되어 있다.
- [0027] 배플 플레이트(30)의 하방에서는, 배기관(32)이 챔버 본체(12)의 바닥부(12b)에 접속되어 있다. 배기관(32)은 배기로에 연통 가능하다. 배기관(32)에는 배기 장치(34)가 접속되어 있다. 배기 장치(34)는 자동 압력 제어 밸브 및 터보 분자 펌프라고 하는 감압 펌프를 포함하고 있다. 배기 장치(34)가 작동됨으로써, 내부 공간(12s)의 압력이 지정된 압력으로 설정된다.
- [0028] 스테이지(14)의 상방에는 상부 전극(36)이 마련되어 있다. 상부 전극(36)과 스테이지(14) 사이에는, 내부 공간(12s)의 일부가 개재되어 있다. 상부 전극(36)은 챔버 본체(12)의 상부 개구를 폐쇄하도록 마련되어 있다. 상부 전극(36)과 챔버 본체(12)의 상단부 사이에는 부재(37)가 개재되어 있다. 부재(37)는 절연성 재료로 형성되어

있다. 부재(37)는 세라믹, 예컨대 석영으로 형성될 수 있다. 또한, 일 실시형태에서는, 상부 전극(36)과 챔버 본체(12)의 상단부 사이에는, 부재(37) 및 후술하는 접지 도체의 일부를 개재할 수 있다.

[0029] 일 실시형태에서, 상부 전극(36)은 샤워 헤드를 구성하고 있다. 상부 전극(36)은 일 실시형태에서는, 상부판(38) 및 지지체(40)를 포함하고 있다. 상부판(38)은 예컨대 실리콘으로 형성되어 있다. 또는, 상부판(38)은 알루미늄으로 형성된 모재의 표면에, 산화이트륨이라고 하는 세라믹으로 형성된 피복을 마련함으로써 구성된다. 상부판(38)에는 그 상부판(38)을 그 판 두께 방향으로 관통하는 복수의 가스 토출구(38h)가 형성되어 있다.

[0030] 지지체(40)는 상부판(38) 상에 마련되어 있다. 지지체(40)는 상부판(38)을 착탈 가능하게 지지하도록 구성되어 있다. 지지체(40)는 알루미늄이라고 하는 도전성 재료로 형성되어 있다. 지지체(40)의 내부에는 가스 확산실(40d)이 형성되어 있다. 지지체(40)에는 가스 확산실(40d)로부터 하방으로 연장되는 복수의 구멍(40h)이 형성되어 있다. 복수의 구멍(40h)은 각각, 복수의 가스 토출구(38h)에 연통하고 있다.

[0031] 가스 확산실(40d)에는 가스 공급부(41)가 접속되어 있다. 가스 공급부(41)는 내부 공간(12s)에 가스를 공급하도록 구성되어 있다. 일 실시형태에서는, 가스 공급부(41)는 제1 가스 및 제2 가스를 출력 가능하게 구성되어 있다. 제1 가스 및 제2 가스에 대해서는 후술한다. 또한, 가스 공급부(41)는 1 이상의 유량 제어기 및 1 이상의 밸브를 가지고, 출력하여야 하는 1 이상의 가스의 유량을 개별로 조정하도록 구성되어 있다. 가스 공급부(41)로부터 출력된 가스는, 가스 확산실(40d) 및 복수의 구멍(40h)을 통해, 복수의 가스 토출구(38h)로부터 내부 공간(12s)에 토출된다.

[0032] 지지체(40)에는 유로(40p)가 형성되어 있다. 유로(40p)에는 필터 유닛(42)이 접속되어 있다. 유로(40p)와 필터 유닛(42) 사이에서는, 냉각수라고 하는 냉매가 순환된다. 필터 유닛(42)으로부터 유로(40p)에 공급되는 냉매와 상부 전극(36) 사이의 열 교환에 의해, 상부 전극(36)의 온도가 조정된다.

[0033] 플라즈마 처리 장치(10)는 제1 고주파 전원(43) 및 제2 고주파 전원(44)을 더 포함하고 있다. 제1 고주파 전원(43) 및 제2 고주파 전원(44)은 챔버 본체(12)의 외부에 마련되어 있다. 제1 고주파 전원(43)은 주로 플라즈마의 생성을 위한 제1 고주파를 발생하도록 구성되어 있다. 제1 고주파는 한정되는 것이 아니지만, 예컨대 100 MHz라고 하는 주파수를 가질 수 있다. 제1 고주파 전원(43)은 정합기(45) 및 급전 도체(48)를 통해, 상부 전극(36)에 전기적으로 접속되어 있다. 정합기(45)는 제1 고주파 전원(43)의 출력 임피던스와 부하측[상부 전극(36)측]의 임피던스를 정합시키기 위한 정합 회로를 가지고 있다. 급전 도체(48)는 그 하단에서 상부 전극(36)에 접속되어 있다. 급전 도체(48)는 상부 전극(36)으로부터 상방으로 연장되어 있다. 급전 도체(48)는 통형 또는 봉형의 도체이고, 그 중심 축선은 중심 축선(AX)에 대략 일치하고 있다.

[0034] 제2 고주파 전원(44)은 주로 피가공물(W)에 이온을 인입하기 위한 제2 고주파, 즉, 바이어스용의 고주파를 발생하도록 구성되어 있다. 제2 고주파의 주파수는 제1 고주파의 주파수보다 낮다. 일 실시형태에서는, 제2 고주파의 주파수는 13.56 MHz보다 높다. 일 실시형태에서는, 제2 고주파의 주파수는 40 MHz 이상이어도 좋다. 일 실시형태에서는, 제2 고주파의 주파수는 60 MHz 이상이어도 좋다. 제2 고주파 전원(44)은 정합기(46)를 통해, 하부 전극(18)에 전기적으로 접속되어 있다. 정합기(46)는 제2 고주파 전원(44)의 출력 임피던스와 부하측[하부 전극(18)측]의 임피던스를 정합시키기 위한 정합 회로를 가지고 있다.

[0035] 플라즈마 처리 장치(10)는 접지 도체(50)를 더 포함하고 있다. 접지 도체(50)는 도전성을 갖는다. 접지 도체(50)는 알루미늄이라고 하는 금속으로 형성되어 있다. 접지 도체(50)는 접지되어 있다. 접지 도체(50)는 챔버 본체(12)의 상방에서 상부 전극(36)을 덮도록 연장되어 있다. 급전 도체(48)는 접지 도체(50)에 의해 둘러싸인 공간을 통하여 접지 도체(50)의 외부까지 상방으로 연장되어, 접지 도체(50)의 외부에서 정합기(45)를 통해 제1 고주파 전원(43)에 접속되어 있다.

[0036] 플라즈마 처리 장치(10)의 챔버 본체(12)의 내부 공간(12s) 안에서는, 피가공물(W)의 중심 위에서는 높은 전계 강도를 가지고, 피가공물(W)의 엣지측 위에서는 낮은 전계 강도를 갖는 전계 강도의 분포가 형성될 수 있다. 즉, 내부 공간(12s) 안에서는, 방사 방향(즉, 직경 방향)으로의 중심 축선(AX)으로부터의 거리의 증가에 따라 전계 강도가 감소하는 불균일한 전계 강도의 분포가 형성될 수 있다. 도 3은 챔버 본체의 내부 공간 안에서의 전계 강도의 분포의 계산 결과를 나타내는 그래프이다. 도 3에서, 횡축은 중심 축선(AX)으로부터 방사 방향으로의 거리를 나타내고 있고, 종축은 규격화된 전계 강도를 나타내고 있다. 도 3에서는, 복수의 제2 고주파의 주파수(f2) 각각을 이용한 경우의 규격화된 전계 강도의 분포가 나타나 있다. 도 3에 나타내는 바와 같이, 방사 방향으로의 전계 강도의 불균일성은, 제2 고주파의 주파수(f2)가 높아질수록 현저하다. 또한, 제2 고주파의 주파수(f2)를 높은 주파수로 설정하면, 피가공물(W)에 조사되는 이온의 에너지는 작아진다.

- [0037] 전술한 불균일한 전계 강도의 분포 하에서는, 플라스마 밀도는 중심 축선의 근방에서 높고, 중심 축선으로부터 떨어진 부분에서 낮아진다. 즉, 중심 축선에 대하여 방사 방향으로 불균일한 플라스마 밀도의 분포가 형성된다. 플라스마 처리 장치(10)는, 전술한 불균일한 전계 강도의 분포가 형성되는 처리, 예컨대 높은 주파수를 갖는 제 2 고주파가 이용되는 처리에서도, 균일한 플라스마 밀도의 분포를 얻기 위해, 전자석(60)을 더 포함하고 있다.
- [0038] 도 2에 나타내는 바와 같이, 전자석(60)은 상부 전극(36)의 상방에 배치되어 있다. 전자석(60)은 챔버 본체(12)의 내부 공간(12s) 안에서, 중심 축선(AX) 상에서의 수평 성분보다 큰 수평 성분을 중심 축선(AX)으로부터 떨어진 위치에서 갖는 자장의 분포를 형성한다. 즉, 전자석(60)은 중심 축선(AX)으로부터 방사 방향으로의 거리의 증가에 따라 그 크기가 증가하는 수평 성분을 갖는 자장의 분포를, 내부 공간(12s) 안에 형성한다. 큰 수평 성분의 자장이 형성되어 있는 부분에서는, 전자의 체재 시간이 길어진다. 그 결과, 큰 수평 성분의 자장이 형성되어 있는 부분에서는, 플라스마의 밀도가 상승한다. 따라서, 플라스마 처리 장치(10)에 의하면, 중심 축선(AX)에 대하여 방사 방향으로 균일한 플라스마 밀도의 분포를 얻을 수 있다. 그러므로, 플라스마 처리 장치(10)에 의하면, 피가공물(W)에 대한 처리의 면내 균일성이 향상된다.
- [0039] 일 실시형태에서는, 전자석(60)은 요크(62) 및 코일(64)을 가지고 있다. 요크(62)는 자성 재료로 형성되어 있다. 요크(62)는 베이스부(62a) 및 복수의 통형부(62b)를 가지고 있다. 베이스부(62a)는 대략 원반 형상을 가지고 있고, 중심 축선(AX)에 대하여 직교하는 방향으로 연장되어 있다. 복수의 통형부(62b)의 각각은 통형상을 가지고 있고, 베이스부(62a)로부터 하방으로 연장되어 있다. 복수의 통형부(62b)는 중심 축선(AX)에 대하여 동축형으로 마련되어 있다. 코일(64)은 중심 축선(AX)의 둘레에서 감겨 있다. 코일(64)은 직경 방향으로 인접하는 두개의 통형부(62b) 사이에 마련되어 있다. 또한, 전자석(60)은 1 이상의 코일(64)을 가질 수 있다. 전자석(60)에서의 코일(64)의 개수가 복수개인 경우에는, 복수개의 코일(64)은 중심 축선(AX)에 대하여 동축형으로 마련된다.
- [0040] 전자석(60)의 코일(64)은 배선(68)을 통해 전류원(66)에 접속되어 있다. 전류원(66)으로부터의 전류가 코일(64)에 부여되면, 전자석(60)에 의해 자장이 형성된다. 전자석(60)에 의해 형성되는 자장의 벡터의 각도가 45° 인 부분에서는, 방사 방향(직경 방향)에서의 전자의 가둠 효과(전자의 확산의 억제 효과)와, 전자의 소멸의 억제 효과(전극에의 전자의 도달을 억제하는 효과)가 양호하게 양립되기 때문에, 해당 부분에서는 플라스마의 밀도가 높아진다. 따라서, 피가공물(W)의 반경이 150 mm인 경우에, 전자석(60)은 자장의 벡터의 각도가 45° 인 부분과 중심 축선(AX) 사이의 거리가, 135 mm 이상, 185 mm 이하가 되도록, 구성될 수 있다. 이 때문에, 일 실시형태에서는, 전자석(60)의 하나의 코일(64)의 내직경과 외직경의 평균값은, 중심 축선(AX)과 피가공물(W)의 엣지 사이의 거리 이상이다. 피가공물(W)의 반경이 150 mm인 경우에는, 전자석(60)의 하나의 코일(64)의 내직경과 외직경의 평균값은, 150 mm 이상, 250 mm 이하이다. 또한, 자장의 벡터의 각도는 그 자장이 하방향의 성분만을 갖는 경우에는 0° 이고, 방사 방향의 성분(수평 성분)만을 갖는 경우에는 90° 이다. 따라서, 자장의 벡터의 각도가 45° 인 경우에는, 그 자장은 수평 성분과 수직 성분의 쌍방을 갖는다.
- [0041] 전자석(60)이 상부 전극을 덮는 접지 도체에 의해 둘러싸인 공간 내에 배치되면, 제1 고주파가 전자석(60) 및/또는 전자석(60)과 전원(전류원)을 접속하는 배선에 유입된다. 그 결과, 챔버 본체(12)의 내부 공간(12s) 안에서의 전계 강도가 국소적으로 변동한다. 따라서, 전자석(60)은 접지 도체의 외측에 배치된다. 단, 접지 도체의 상단에 대하여 상방의 공간에 전자석(60)이 배치되면, 전자석(60)으로부터 내부 공간(12s)까지의 연직 방향의 거리가 길어져, 큰 전류를 코일(64)에 부여하지 않으면 내부 공간(12s) 안에 충분한 크기를 갖는 자장을 효율적으로 형성할 수 없다. 또한, 전자석(60)이 접지 도체의 측방에(중심 축선으로부터 방사 방향으로 접지 도체의 외측에) 배치되면, 큰 수평 성분을 갖는 자장이 형성되는 부분, 또는, 그 벡터가 45° 의 각도를 갖는 자장이 형성되는 부분이 내부 공간(12s) 안에 형성되지 않는다. 균일한 플라스마 밀도의 분포를 얻는 데 알맞은 자장의 분포를 효율적으로 내부 공간(12s) 안에서 형성하기 위해, 접지 도체(50)는 그 안에 전자석(60)이 배치되는 외부 공간(ES)을 제공하고 있다. 외부 공간(ES)은 접지 도체(50)의 상단보다 내부 공간(12s)측에 있고, 상부 전극(36)에 대하여 상방으로 떨어져 있고, 또한, 상부 전극(36)에 대하여 접지 도체(50)에 의해 차폐되어 있다.
- [0042] 접지 도체(50)는 제1 부분(51), 제2 부분(52) 및 제3 부분(53)을 포함하고 있다. 제1 부분(51)은 통형상을 가지고 있다. 제1 부분(51)의 중심 축선은 중심 축선(AX)과 대략 일치하고 있다. 제1 부분(51)은 챔버 본체(12)로부터 상방으로 연장되어 있다. 도 2에 나타내는 예에서는, 제1 부분(51)은 챔버 본체(12)의 측벽(12a)의 상단으로부터 상방으로 연장되어 있다. 제1 부분(51)의 하단 부분은 부재(37)와 측벽(12a) 상단 사이에 개재되어 있다.
- [0043] 제2 부분(52)은 상부 전극(36)으로부터 상방으로 이격되고, 또한, 제1 부분(51)으로부터 중심 축선(AX)을 향하여 연장되어 있다. 제2 부분(52)은 중심 축선(AX)에 대하여 교차 또는 직교하는 방향으로 연장되는 판형을 이루고 있다. 제1 부분(51)과 제2 부분(52)은 상부 전극(36) 위에 제1 공간(IS1)을 제공하고 있다. 제1 공간(IS1)은

접지 도체(50)의 내측[즉, 상부 전극(36)측]의 공간의 일부이다. 이 제1 공간(IS1)에 의해, 연직 방향으로 상부 전극(36)과 접지 도체(50) 사이에 거리가 확보된다. 따라서, 접지 도체(50)와 상부 전극(36) 사이의 용량적 결합이 억제된다. 상부 전극(36)의 상면과 접지 도체(50)의 제2 부분(52)의 하면 사이의 연직 방향의 거리는, 예컨대 60 mm 이상의 거리로 설정된다.

[0044] 제3 부분(53)은 통형상을 가지고 있다. 제3 부분(53)의 중심 축선은 중심 축선(AX)과 대략 일치하고 있다. 제3 부분(53)은 제1 부분(51)보다 중심 축선의 근처에서 연장되어 있다. 제3 부분(53)은 제2 부분(52)으로부터 상방으로 연장되어 있다. 제3 부분(53)은 제2 공간(IS2)을 제공하고 있다. 제2 공간(IS2)은 제2 부분(52)의 내측의 공간이며, 접지 도체(50)의 내측[즉, 상부 전극(36)측]의 공간의 일부이다. 제2 공간(IS2)은 제1 공간(IS1)에 연속하고 있다. 또한, 급전 도체(48)는 제1 공간(IS1) 및 제2 공간(IS2)을 통하여 상방으로 연장되어 있다.

[0045] 외부 공간(ES)은 제3 부분(53)의 외측, 제2 부분(52) 상, 또한, 내부 공간(12s)의 상방에 접지 도체(50)에 의해 제공되고 있다. 외부 공간(ES)은 제3 부분(53)의 외측, 또한, 제2 부분(52) 상에서, 중심 축선(AX)을 중심으로 둘레 방향으로 연장되어 있다. 이 외부 공간(ES)에 전자석(60)이 배치되어 있다. 또한, 외부 공간(ES) 안에 배치된 전자석(60)의 하단과 상부 전극(36)의 상면 사이의 연직 방향의 거리는 60 mm보다 크고, 전자석(60)의 하단과 스테이지(14) 상에 배치된 피가공물(W) 사이의 연직 방향의 거리는 230 mm 이하일 수 있다.

[0046] 외부 공간(ES) 안에 배치된 전자석(60)과 내부 공간(12s) 사이의 거리는 비교적 짧다. 또한, 전술한 바와 같이, 전자석(60)은 중심 축선(AX)의 근방에서는 낮은 수평 성분을 가지고, 중심 축선으로부터 떨어진 위치에서 큰 수평 성분을 갖는 자장의 분포를 내부 공간(12s) 안에 형성한다. 따라서, 접지 도체(50)에 대하여 외측에 배치된 전자석(60)에 의해, 균일한 플라스마 밀도의 분포를 얻는 데 알맞은 자장의 분포가 효율적으로 내부 공간(12s) 안에 형성될 수 있다.

[0047] 전자석(60)의 코일(64)에는 전술한 바와 같이 전류원(66)이 접속되어 있다. 전자석(60) 및 전류원(66)은 접지 도체(50)에 대하여 외측에 배치되어 있다. 따라서, 전류원(66)에의 고주파의 유입을 방지하기 위한 필터가, 코일(64)과 전류원(66) 사이에 마련되어 있지 않아도 좋다.

[0048] 일 실시형태에서는, 접지 도체(50)는 제4 부분(54), 제5 부분(55) 및 제6 부분(56)을 더 갖는다. 제4 부분(54)은 제2 부분(52)의 상방에서, 중심 축선(AX)에 대하여 방사 방향으로 제3 부분(53)으로부터 연장되어 있다. 제4 부분(54)은 중심 축선(AX)에 대하여 교차 또는 직교하는 방향으로 연장되는 판형을 이루고 있다. 제5 부분(55)은 통형상을 가지고 있다. 제5 부분(55)의 중심 축선은 중심 축선(AX)에 대략 일치하고 있다. 제5 부분(55)은 제3 부분(53)보다 중심 축선으로부터 떨어져 있고, 제4 부분(54)으로부터 상방으로 연장되어 있다. 제6 부분(56)은 제4 부분(54)의 상방에서, 제5 부분(55)으로부터 중심 축선(AX)을 향하여 연장되어 있다. 제6 부분(56)은 중심 축선(AX)에 대하여 교차 또는 직교하는 방향으로 연장되는 판형을 이루고 있다. 일 실시형태에서는, 접지 도체(50)는 제6 부분으로부터 급전도체(48)의 근방까지 연장되는 덮개부(57)를 더 가지고 있다.

[0049] 제4 부분(54), 제5 부분(55) 및 제6 부분(56)은, 제3 공간(IS3)을 제공하고 있다. 제3 공간(IS3)은 제4 부분(54), 제5 부분(55) 및 제6 부분(56)에 의해 둘러싸인 공간이며, 접지 도체(50)의 내측의 공간의 일부이다. 제3 공간(IS3)은 제2 공간(IS2)에 연속하고 있다. 급전 도체(48)는 제3 공간(IS3)을 더욱 통하여, 상방으로 연장되어 있다. 또한, 도 2에 나타내는 예에서는, 제1~제6 부분은 3개의 부재로 구성되어 있지만, 접지 도체(50)를 구성하는 부재의 개수는, 임의의 개수일 수 있다.

[0050] 이하, 도 2와 함께, 도 4를 참조한다. 도 4는 도 2에 나타내는 플라스마 처리 장치의 접지 도체의 내부의 구성을 나타내는 평면도이다. 도 4에서는, 접지 도체(50)의 제5 부분(55)이 수평인 면에서 파단된 상태가 나타나 있다. 일 실시형태에서, 플라스마 처리 장치(10)는 도 2 및 도 4에 나타내는 바와 같이, 관(71)(제1 관)을 더 포함하고 있다. 관(71)은 상부 전극(36)으로부터, 제1 공간(IS1) 및 제2 공간(IS2)을 통하여 상방으로 연장되고, 제3 공간(IS3)을 통하여, 접지 도체(50)에 대하여 측방 또한 외측까지 연장되어 있다. 관(71)은 접지 도체(50)에 대하여 외측에서, 칠러 유닛(42)에 접속된다. 칠러 유닛(42)으로부터의 냉매는, 관(71)을 통해, 유로(40p)에 공급된다. 제3 공간(IS3) 내에서는, 관(71)이 접지 도체(50)의 제4 부분(54)에 의해 상부 전극(36)으로부터 실질적으로 차폐되어 있다.

[0051] 플라스마 처리 장치(10)는 관(72)을 더 포함하고 있다. 관(72)은 제1 공간(IS1) 및 제2 공간(IS2)을 통하여 상방으로 연장되고, 제3 공간(IS3)을 통하여, 접지 도체(50)에 대하여 측방 또한 외측까지 연장되어 있다. 관(72)은 접지 도체(50)에 대하여 외측에서, 칠러 유닛(42)에 접속된다. 냉매는 유로(40p)로부터 관(72)을 통해 칠러 유닛(42)에 복귀된다. 제3 공간(IS3) 내에서는, 관(72)이 접지 도체(50)의 제4 부분(54)에 의해 상부 전극

(36)으로부터 실질적으로 차폐되어 있다.

- [0052] 일 실시형태에서, 플라즈마 처리 장치(10)는 관(73)(제2 관)을 더 포함하고 있다. 관(73)은 상부 전극(36)으로부터, 제1 공간(IS1) 및 제2 공간(IS2)을 통하여 상방으로 연장되고, 제3 공간(IS3)을 통하여, 접지 도체(50)에 대하여 측방 또한 외측까지 연장되어 있다. 관(73)은 접지 도체(50)에 대하여 외측에서, 가스 공급부(41)에 접속되어 있다. 가스 공급부(41)로부터 출력되는 가스는 관(73)을 통해, 상부 전극(36), 즉 샤워 헤드에 공급된다. 제3 공간(IS3) 내에서는, 관(73)이 접지 도체(50)의 제4 부분(54)에 의해 상부 전극(36)으로부터 실질적으로 차폐되어 있다. 또한, 가스 공급부(41)와 상부 전극(36)(즉, 샤워 헤드)은 복수의 관을 통해 서로 접속되어 있어도 좋다.
- [0053] 일 실시형태에서, 플라즈마 처리 장치(10)는 직류 전원(74) 및 배선(75)을 더 포함하고 있다. 직류 전원(74)은 상부 전극(36)에 인가되는 부극성의 직류 전압을 발생하도록 구성되어 있다. 배선(75)은 직류 전원(74)과 상부 전극(36)을 서로 접속하고 있다. 배선(75)은 코일(75c)을 포함할 수 있다. 코일(75c)은 제3 공간(IS3) 안에 마련되어 있다. 배선(75)은 상부 전극(36)으로부터 제1 공간(IS1) 및 제2 공간(IS2)을 통하여 상방으로 연장되고, 제3 공간(IS3)을 통하여, 접지 도체(50)에 대하여 측방 또한 외측까지 연장되어 있다. 배선(75)은 제5 부분(55) 및 접지 도체(50)로부터 전기적으로 절연되어 있다. 배선(75)은 접지 도체(50)에 대하여 외측에서, 직류 전원(74)에 접속되어 있다. 제3 공간(IS3) 내에서는, 배선(75)이 접지 도체(50)의 제4 부분(54)에 의해 상부 전극(36)으로부터 실질적으로 차폐된다.
- [0054] 일 실시형태에서, 플라즈마 처리 장치(10)는 제어부(80)를 더 포함하고 있다. 제어부(80)는 플라즈마 처리 장치(10)의 각 부를 제어하도록 구성되어 있다. 제어부(80)는 컴퓨터 장치일 수 있다. 제어부(80)는 프로세서, 메모리라고 하는 기억 장치, 키보드, 마우스, 터치 패널이라고 하는 입력 장치, 표시 장치, 제어 신호의 입출력 인터페이스 등을 가질 수 있다. 기억 장치에는 제어 프로그램 및 레시피 데이터가 기억되어 있다. 제어부(80)의 프로세서는 제어 프로그램을 실행하여, 레시피 데이터에 따라, 플라즈마 처리 장치(10)의 각 부를 제어하기 위해 제어 신호를 송출한다. 제어부(80)는 방법(MT)의 실행을 위해, 플라즈마 처리 장치(10)의 각 부를 제어하는 것이 가능하다.
- [0055] 이하, 도 5를 참조한다. 도 5는 도 2에 나타내는 플라즈마 처리 장치에 의해 형성 가능한 자장의 분포의 계산 결과를 나타내는 그래프이다. 도 5에서, 황축은 중심 축선(AX)으로부터의 거리를 나타내고 있고, 종축은 자속 밀도를 나타내고 있다. 도 5에서는, 자장(BA)의 분포를 나타내는 자속 밀도의 분포, 자장(BA)의 수평 성분(BH)의 분포를 나타내는 자속 밀도의 분포, 자장(BA)의 수직 성분(BV)의 분포를 나타내는 자속 밀도의 분포가 나타나 있다. 도 5에 나타내는 자장 및 그 2개의 성분의 분포는, 전자석(60)의 하단부로부터 하방으로 174 mm 떨어진 면 내에서의 분포, 즉 스테이지(14)의 상면 내에서의 분포이다. 도 5에 나타내는 자장 및 그 2개의 성분의 분포를 계산하였을 때의 조건은 이하와 같다.
- [0056] <계산의 조건>
- [0057] 코일(64)의 내직경(반경): 132 mm
- [0058] 코일(64)의 외직경(반경): 173 mm
- [0059] 코일(64)의 권취수: 215 턴
- [0060] 코일(64)에 공급한 전류: 4[A]
- [0061] 전자석(60)의 하단과 스테이지(14) 상에 배치된 피가공물(W) 사이의 거리: 174 mm
- [0062] 도 5에 나타내는 자장의 분포의 계산 결과로부터 알 수 있듯이, 전자석(60)에 따르면, 중심 축선(AX) 상에서의 수평 성분보다 큰 수평 성분을 중심 축선(AX)으로부터 떨어진 부분에서 갖는 자장의 분포를 형성하는 것이 가능하다.
- [0063] 이하, 도 6을 참조한다. 도 6은 도 2에 나타내는 플라즈마 처리 장치의 내부 공간 안에서의 이온 플럭스의 분포의 측정 결과를 나타내는 그래프이다. 도 6에 나타내는 측정 결과를 얻기 위한 실험에서는, 원반형의 샘플이 스테이지(14) 상에 배치된 상태로, 내부 공간(12s) 안에서 플라즈마를 생성하여, 전자석(60)에 의해 내부 공간(12s) 안에 자장을 형성하였다. 그리고, 샘플의 직경 상의 복수의 측정점에서 샘플의 온도의 단위 시간당의 증가율(dT/dt)을 구하였다. 또한, 증가율(dT/dt)은 이온 플럭스의 양을 반영하는 파라미터이다. 실험에서는, 전자석(60)의 코일(64)에 공급하는 전류를, 0[A], 1[A], 4[A], 6.5[A]로 설정하여, 이온 플럭스의 분포를 측정하였

다. 실험의 다른 조건을 이하에 나타낸다.

[0064] <실험의 조건>

[0065] 내부 공간(12s)의 압력: 20 mTorr(2.67 Pa)

[0066] 내부 공간(12s)에 공급한 가스: 1000 sccm의 Ar 가스

[0067] 제1 고주파: 60 MHz, 100 W

[0068] 제2 고주파: 40 MHz, 100 W

[0069] 도 6에서, 횡축은 복수의 측정점 각각의 위치를 나타내는 축이며, 중심 축선(AX)으로부터의 거리를 나타내고 있다. 정의 거리로 특정되는 측정점은, 전술한 직경 상에서 중심 축선(AX)에 대하여 일방측에 있고, 부의 거리로 특정되는 측정점은, 전술한 직경 상에서 중심 축선(AX)에 대하여 타방측에 있다. 도 6에서, 종축은 증가율(dT/dt)을 나타내고 있다. 도 6에 나타내는 바와 같이, 전자석(60)의 코일(64)에 공급하는 전류가 0[A]인 경우에는, 증가율(dT/dt), 즉, 이온 플럭스는 중심 축선(AX)으로부터의 거리의 증가에 따라 감소하고 있었다. 즉, 코일(64)에 공급하는 전류가 0[A]인 경우에는, 불균일한 플라즈마 밀도의 분포가 형성되어 있었다. 코일(64)에 공급하는 전류를 증가시키면, 복수의 측정점에서의 이온 플럭스의 차는 감소하였다. 즉, 전자석(60)에 의해 내부 공간(12s) 안에서 자장을 형성함으로써, 균일한 플라즈마 밀도의 분포를 형성하는 것이 가능한 것이 확인되었다.

[0070] 재차 도 1을 참조하여, 플라즈마 처리 장치(10)가 이용되는 경우를 예로서, 방법(MT)에 대해서 설명한다. 방법(MT)은 챔버 본체(12)의 내부 공간(12s) 안에 피가공물(W)이 수용된 상태로 실행된다. 도 1에 나타내는 바와 같이, 방법(MT)은 공정(ST1) 및 공정(ST2)을 포함하고 있다.

[0071] 공정(ST1)에서는, 피가공물(W)에 대하여 제1 플라즈마 처리가 실행된다. 공정(ST1)에서는, 내부 공간(12s)에 공급된 제1 가스의 플라즈마에 의해, 피가공물(W)이 처리된다. 공정(ST1)에서는, 제2 고주파는 하부 전극(18)에 공급되어도, 공급되지 않아도 좋다. 공정(ST1)에서 제2 고주파가 하부 전극(18)에 공급되는 경우에는, 공정(ST1)에서 설정되는 제2 고주파의 전력은, 공정(ST2)에서 하부 전극(18)에 공급되는 제2 고주파의 전력보다 작다.

[0072] 공정(ST2)에서는, 피가공물(W)에 대하여 제2 플라즈마 처리가 실행된다. 공정(ST2)에서는, 내부 공간(12s)에 공급된 제2 가스의 플라즈마에 의해, 피가공물(W)이 처리된다. 공정(ST2)에서는, 제2 고주파는 하부 전극(18)에 공급된다. 공정(ST2)에서는, 제2 고주파의 전력이, 공정(ST1)에서의 제2 고주파의 전력보다 큰 전력으로 설정된다. 일 실시형태에서는, 제2 고주파의 주파수는 13.56 MHz보다 크다. 제2 고주파의 주파수는 40 MHz 이상이어도 좋고, 60 MHz 이상이어도 좋다.

[0073] 공정(ST2)에서는, 피가공물(W)의 중심 위에서의 수평 성분보다 큰 수평 성분을 피가공물(W)의 엣지측 위에서 갖는 자장의 분포가, 전자석(60)에 의해 내부 공간(12s) 안에 형성된다.

[0074] 공정(ST1) 및 공정(ST2)은 교대로 반복되어도 좋다. 공정(ST1) 및 공정(ST2)이 교대로 반복되는 경우에는, 공정(ST3)에서 정지 조건이 만족되는지의 여부가 판정된다. 정지 조건은 예컨대, 공정(ST1) 및 공정(ST2)을 포함하는 시퀀스의 실행 횟수가 미리 정해진 횟수에 달하고 있는 경우에, 만족된 것으로 판정된다. 공정(ST3)에서 정지 조건이 만족되지 않았다고 판정되면, 재차 공정(ST1)이 실행되고, 계속해서 공정(ST2)이 실행된다. 한편, 공정(ST3)에서 정지 조건이 만족되었다고 판정되면, 방법(MT)의 실행이 종료한다.

[0075] 방법(MT)의 공정(ST2)에서는, 제2 고주파의 파워가 공정(ST1)에서 설정되는 제2 고주파의 파워보다 높은 파워로 설정된다. 따라서, 공정(ST2)의 제2 플라즈마 처리의 실행 중에는, 피가공물(W)의 중심 위에서 전계 강도가 높아지고, 피가공물(W)의 엣지측 위에서 전계 강도가 낮아진다. 즉, 제2 플라즈마 처리의 실행 중에는, 중심 축선(AX)에 대하여 방사 방향으로 불균일한 전계 강도의 분포가 형성된다. 제2 플라즈마 처리의 실행 중에는, 전술한 자장의 분포가 내부 공간(12s) 안에서 형성된다. 큰 수평 성분의 자장이 형성되어 있는 부분에서는, 전자의 체재 시간이 길어진다. 그 결과, 큰 수평 성분의 자장이 형성되어 있는 부분에서는, 플라즈마의 밀도가 상승한다. 그러므로, 제2 플라즈마 처리의 실행 중의 플라즈마 밀도의 분포가 균일화된다. 더구나, 전자석(60)에 의해 형성되는 자장의 분포에 의해 플라즈마 밀도의 분포가 균일화되기 때문에, 제1 플라즈마 처리로부터 제2 플라즈마 처리에 실행되는 플라즈마 처리가 전환된 시점에서, 고속으로 플라즈마 밀도의 분포가 균일화될 수 있다. 공정(ST1) 및 공정(ST2)이 교대로 반복되는 경우에는, 플라즈마 밀도의 분포를 고속으로 균일화할 수 있는 전자석

(60)의 이용은 특히 유리하다.

- [0076] 일 실시형태에서, 제1 가스는 플루오로카본 가스, 예컨대 C_4F_8 가스를 포함한다. 제2 가스는 He 가스, Ne 가스, Ar 가스, Kr 가스, Xe 가스라고 하는 희가스를 포함한다. 이 실시형태의 방법(MT)은, 산화실리콘으로 형성된 제1 영역을, 질화실리콘으로 형성된 제2 영역에 대하여 선택적으로 에칭할 수 있다.
- [0077] 도 7은 도 1에 나타내는 방법의 일 실시형태를 적용 가능한 일례의 피가공물의 일부 확대 단면도이다. 도 7에 나타내는 피가공물(W)은 하지 영역(UR), 복수의 용기 영역(PR), 제1 영역(R1), 제2 영역(R2) 및 마스크(MK)를 가지고 있다. 이 피가공물(W)은 예컨대, 핀형 전계 효과 트랜지스터의 제조 중에 얻어지는 생산물일 수 있다.
- [0078] 하지 영역(UR)은 예컨대, 다결정 실리콘으로 구성될 수 있다. 하지 영역(UR)은 일례에서는 핀 영역이며, 대략 직방체 형상을 가지고 있다. 복수의 용기 영역(PR)은 하지 영역(UR) 상에 마련되어 있으며, 서로 대략 평행하게 배열되어 있다. 이들 용기 영역(PR)은 예컨대, 게이트 영역일 수 있다. 제2 영역(R2)은 질화실리콘으로 형성되어 있다. 제2 영역(R2)은 용기 영역(PR) 및 하지 영역(UR)을 덮도록 마련되어 있다. 제2 영역(R2)은 2개의 인접하는 용기 영역(PR) 사이에, 오목부를 제공하고 있다. 제1 영역(R1)은 산화실리콘으로 형성되어 있다. 제1 영역(R1)은 제2 영역(R2)에 의해 제공될 수 있는 전술한 오목부 안에 마련되어 있다. 또한, 제1 영역(R1)은 제2 영역(R2)을 덮도록 마련되어 있다. 제1 영역(R1) 상에는 마스크(MK)가 마련되어 있다. 마스크(MK)는 제2 영역(R2)에 의해 제공된 오목부의 상방에서 개구를 제공하도록, 패터닝되어 있다. 마스크(MK)의 개구의 폭은, 제2 영역(R2)에 의해 제공된 오목부의 폭보다 크다. 마스크(MK)는 유기막으로 형성된 마스크이다. 마스크(MK)는 포토 리소그래피 기술에 의해 작성하는 것이 가능하다.
- [0079] 이하, 도 7에 나타내는 피가공물(W)에 적용되는 경우를 예로 들어, 일 실시형태의 방법(MT)에 대해서 설명한다. 그러나, 일 실시형태의 방법(MT)은, 산화실리콘으로 형성된 제1 영역 및 질화실리콘으로 형성된 제2 영역을 갖는 임의의 피가공물에 대하여 적용 가능하다. 이하, 도 1 및 도 7에 더하여, 도 8, 도 9의 (a), 도 9의 (b) 및 도 10을 참조한다. 도 8은 도 7에 나타내는 상태로부터 처리된 피가공물의 일부 확대 단면도이다. 도 9의 (a)는 도 1에 나타내는 방법의 일 실시형태에서의 공정(ST1)의 실행 후의 상태의 피가공물의 일부 확대 단면도이고, 도 9의 (b)는 도 1에 나타내는 방법의 일 실시형태에서의 공정(ST2)의 실행 후의 상태의 피가공물의 일부 확대 단면도이다. 도 10은 도 1에 나타내는 방법의 일 실시형태가 적용된 후의 피가공물의 일부 확대 단면도이다.
- [0080] 일 실시형태의 방법(MT)에서는, 공정(ST1) 및 공정(ST2)에 따라서만, 제1 영역(R1)을 에칭하여도 좋다. 또는, 최초에 공정(ST1)을 실행하기 전에, 제2 영역(R2)이 노출될 때까지(도 8 참조), 또는, 제2 영역(R2)이 노출되기 직전까지, 별도의 플라즈마 에칭 처리에 의해, 제1 영역(R1)이 에칭되어도 좋다. 예컨대, 제2 영역(R2)이 노출될 때까지(도 8 참조), 또는, 제2 영역(R2)이 노출되기 직전까지, 플루오로카본 가스의 플라즈마로부터의 이온 및/또는 라디칼이라고 하는 활성종에 의해, 제1 영역(R1)이 에칭되어도 좋다.
- [0081] 일 실시형태의 방법(MT)의 공정(ST1)에서는, 플루오로카본 가스를 포함하는 전술한 제1 가스의 플라즈마에 의해, 피가공물(W)이 처리된다. 제1 가스는 플루오로카본 가스에 더하여, 산소 가스 및, Ar 가스라고 하는 희가스를 포함하고 있어도 좋다. 이 공정(ST1)에서는, 플루오로카본을 포함하는 퇴적물의 막(DP)이 피가공물(W) 상에 형성된다. 공정(ST1)에서는, 제1 영역(R1) 상의 막(DP)의 막 두께보다, 제2 영역(R2) 상의 막(DP)의 막 두께가 커지도록, 막(DP)이 형성된다.
- [0082] 구체적으로, 공정(ST1)에서는, 내부 공간(12s)에 제1 가스가 공급되고, 배기 장치(34)에 의해 내부 공간(12s)의 압력이, 지정된 압력으로 감압된다. 제1 고주파가 공급됨으로써, 제1 가스는 내부 공간(12s) 안에서 여기된다. 그 결과, 내부 공간(12s) 안에서 제1 가스의 플라즈마가 생성된다. 공정(ST1)에서는, 제2 고주파의 전력은 공정(ST2)에서의 제2 고주파의 전력보다 낮은 전력으로 설정된다. 공정(ST1)에서는, 제2 고주파는 하부 전극(18)에 공급되지 않아도 좋다.
- [0083] 공정(ST1)에서는, 피가공물(W)의 온도가 20°C 이상, 250°C 이하의 온도로 설정된다. 피가공물(W)의 온도는 유로(18p)에 공급되는 열 교환 매체 및 정전 척(20) 내에 마련된 전술한 1 이상의 히터에 의해, 조정된다. 이러한 온도로 피가공물(W)의 온도가 설정되면, 도 9의 (a)에 나타내는 바와 같이, 플루오로카본을 포함하는 퇴적물의 막(DP)이, 피가공물(W) 상에 형성된다. 도 9의 (a)에 나타내는 바와 같이, 막(DP)의 막 두께는 제2 영역(R2) 상에서는 크고, 제1 영역(R1) 상에서는 작다. 또한, 250°C 를 넘는 온도는, 마스크(MK)의 유리 전이 온도이며, 그 온도에서는, 제1 영역(R1) 상에 형성되는 막(DP)의 막 두께와 제2 영역(R2) 상에 형성되는 막(DP)의 막 두께의 차가 적어진다. 또한, 20°C 보다 낮은 온도라도, 제1 영역(R1) 상에 형성되는 막(DP)의 막 두께와 제2 영역(R2) 상에 형성되는 막(DP)의 막 두께의 차가 적어진다.

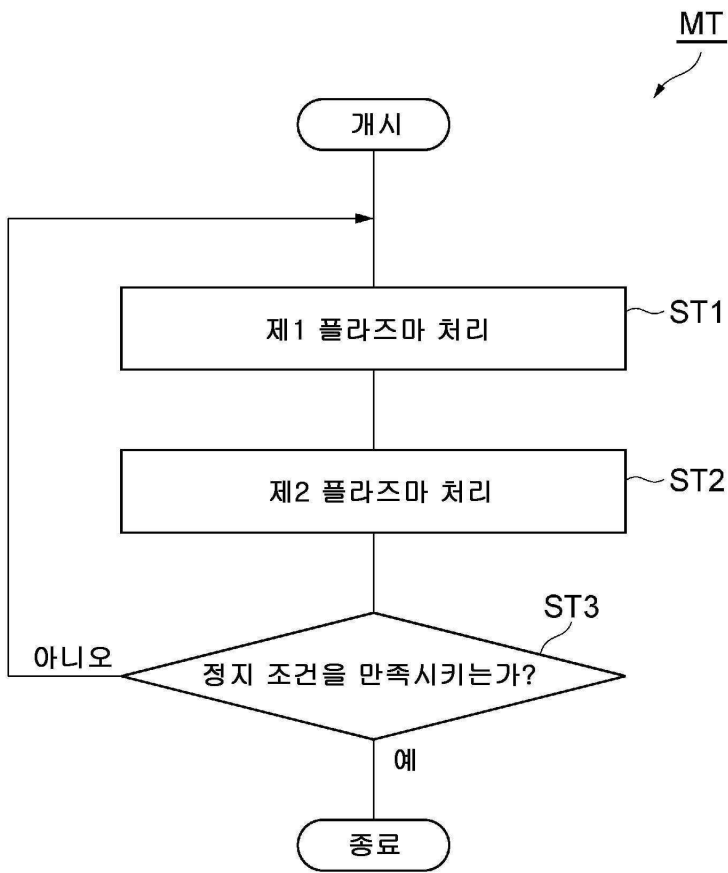
- [0084] 공정(ST2)에서는, 공정(ST1)에서 처리된 피가공물(W)이, 회가스를 포함하는 전술한 제2 가스의 플라즈마에 의해, 처리된다. 제2 가스는 회가스만을 포함하는 가스일 수 있다. 또는, 제2 가스는 회가스에 더하여 산소 가스를 포함하고 있어도 좋다. 공정(ST2)에서는, 내부 공간(12s)에 제2 가스가 공급되고, 배기 장치(34)에 의해 내부 공간(12s)의 압력이, 지정된 압력으로 감압된다. 제2 고주파가 공급됨으로써, 제2 가스는 내부 공간(12s) 안에서 여기된다. 그 결과, 내부 공간(12s) 안에서 제2 가스의 플라즈마가 생성된다. 공정(ST2)에서는, 제2 고주파가 하부 전극(18)에 공급된다. 공정(ST2)에서는, 제2 고주파의 전력은 공정(ST1)에서의 제2 고주파의 전력보다 높은 전력으로 설정된다.
- [0085] 공정(ST2)에서는, 회가스의 이온이 피가공물(W)에 조사된다. 회가스의 이온이 막(DP)에 조사되면, 막(DP)에 포함되는 플루오로카본의 라디칼에 의해, 제1 영역(R1)이 에칭된다. 한편, 제2 영역(R2) 상의 막(DP)은 감소하지만, 제2 영역(R2)의 에칭을 억제하도록 제2 영역(R2)을 보호한다. 공정(ST2)이 실행되면, 도 9의 (a)에 나타난 피가공물(W)은, 도 9의 (b)에 나타난 상태가 된다. 그리고, 공정(ST1) 및 공정(ST2)의 교대의 반복에 의해, 도 10에 나타내는 바와 같이, 제2 영역(R2)에 의해 제공된 오목부 중 제1 영역(R1)이 제거되어, 개구(HL)가 형성된다. 즉, 자기 정합적으로 개구(HL)가 형성된다.
- [0086] 그런데, 제2 영역(R2)에 의해 제공되는 오목부의 폭이 좁은 경우에는, 공정(ST1)의 실행에 의해, 좁은 오목부 안에 존재하는 제1 영역(R1) 상에 두껍게 퇴적물이 형성된다. 제1 영역(R1) 상에 두꺼운 퇴적물의 막이 형성되면, 공정(ST2)에서 제1 영역(R1)의 에칭이 진행되지 않게 된다. 따라서, 제2 영역(R2)에 의해 제공되는 오목부의 폭이 좁은 경우에는, 피가공물(W) 상에 형성되는 퇴적물의 막(DP)의 막 두께를 작게 할 필요가 있다. 퇴적물의 막(DP)의 막 두께가 작은 경우에는, 제2 영역(R2)의 에칭을 억제하기 위해, 피가공물(W)에 조사되는 회가스의 이온의 에너지를 낮게 할 필요가 있다. 이온의 에너지는 높은 주파수를 갖는 제2 고주파를 이용함으로써, 저하한다. 예컨대, 13.56 MHz보다 큰 주파수, 40 MHz 이상의 주파수, 또는, 60 MHz 이상의 주파수를 갖는 제2 고주파가 이용된다. 높은 주파수를 갖는 제2 고주파를 이용하면, 공정(ST2)에서 형성되는 전술한 전계 강도의 분포의 불균일성은 보다 현저한 것이 된다. 이러한 불균일성은 공정(ST2)에서 전자석(60)에 의해 전술한 자장을 형성함으로써, 해소 또는 억제된다.
- [0087] 이상, 여러 가지의 실시형태에 대해서 설명하여 왔지만, 전술한 실시형태에 한정되는 일없이 여러 가지의 변형 양태를 구성 가능하다. 방법(MT)은 플라즈마 처리 장치(10) 이외의 다른 플라즈마 처리 장치, 즉, 하부 전극에 제2 고주파(바이어스용의 고주파)를 공급 가능하고, 전자석(60)이 형성하는 자장의 분포와 동일한 자장의 분포를 챔버 본체의 내부 공간 안에 형성 가능한 임의의 플라즈마 처리 장치를 이용하여 실행하는 것이 가능하다. 이러한 플라즈마 처리 장치로서는, 하부 전극에 제1 고주파를 공급하도록 구성된 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치, 유도 결합형의 플라즈마 처리 장치, 또는, 마이크로파라고 하는 표면파에 의해 가스를 여기시키도록 구성된 플라즈마 처리 장치가 예시된다.
- [0088] 또한, 방법(MT)에서 이용되는 플라즈마 처리 장치의 전자석은, 하나 이상의 코일을 가지고 있어도 좋다.

부호의 설명

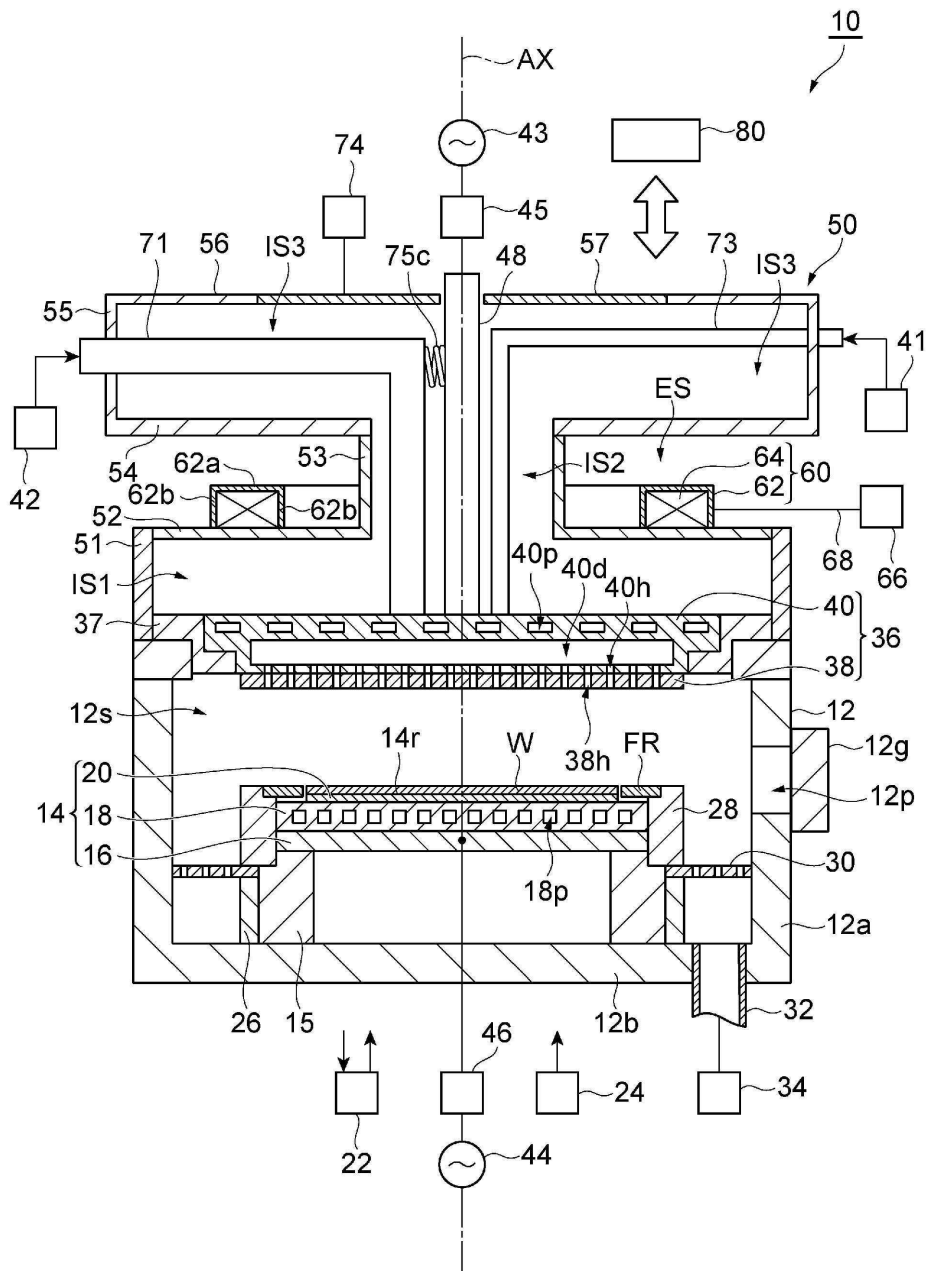
- [0089] 10…플라즈마 처리 장치, 12…챔버 본체, 12s…내부 공간, 14…스테이지, 14r…배치 영역, 18…하부 전극, 20…정전 척, 36…상부 전극, 41…가스 공급부, 42…필터 유닛, 43…제1 고주파 전원, 44…제2 고주파 전원, 48…급전 도체, 50…접지 도체, 51…제1 부분, 52…제2 부분, 53…제3 부분, 60…전자석, 64…코일, AX…중심 축선, ES…외부 공간, IS1…제1 공간, IS2…제2 공간, IS3…제3 공간, W…피가공물, R1…제1 영역, R2…제2 영역, DP…막.

도면

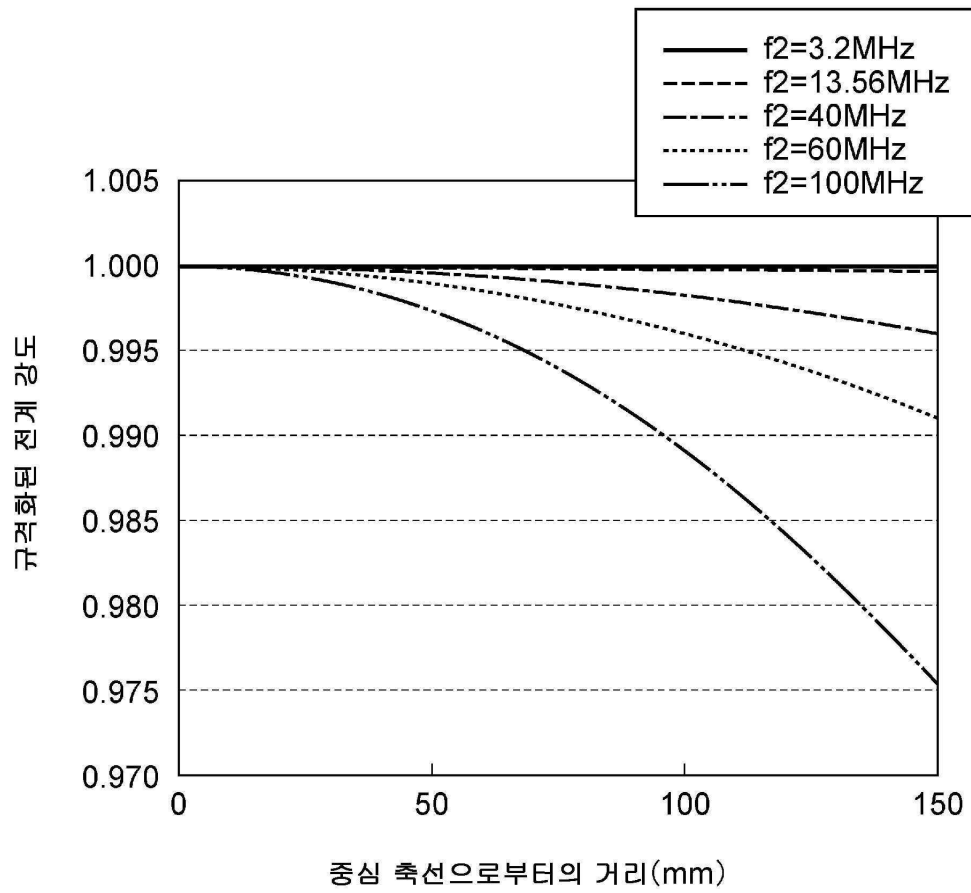
도면1



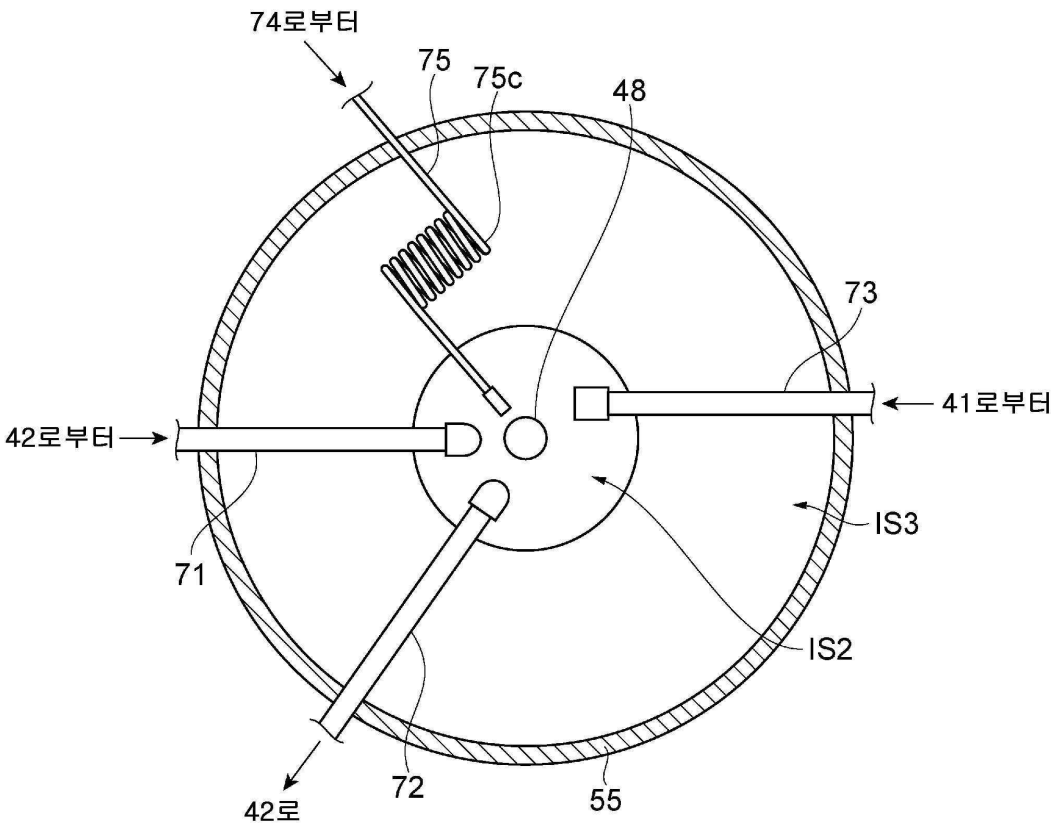
도면2



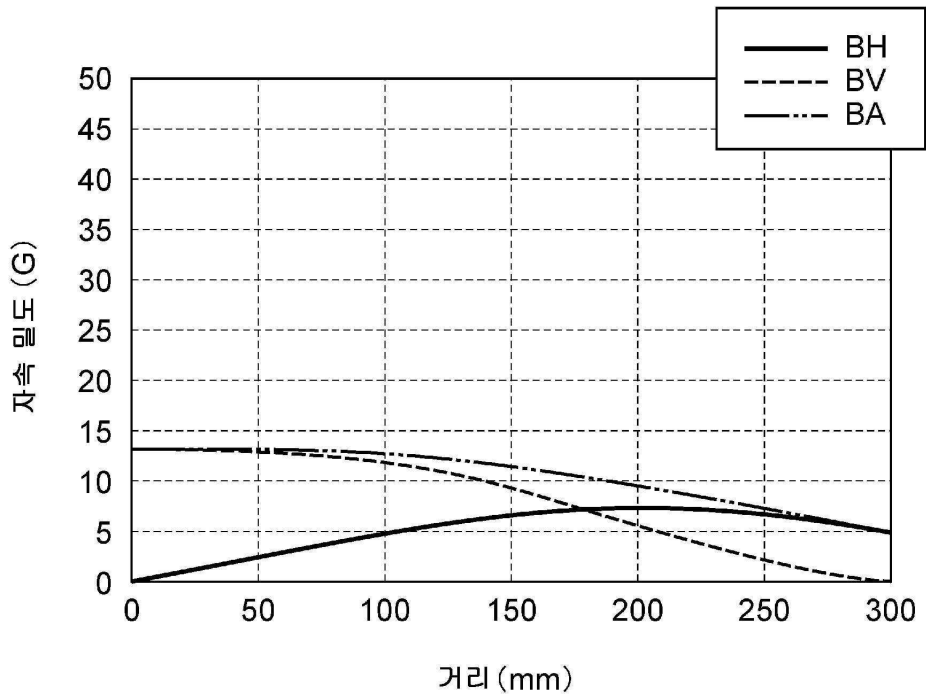
도면3



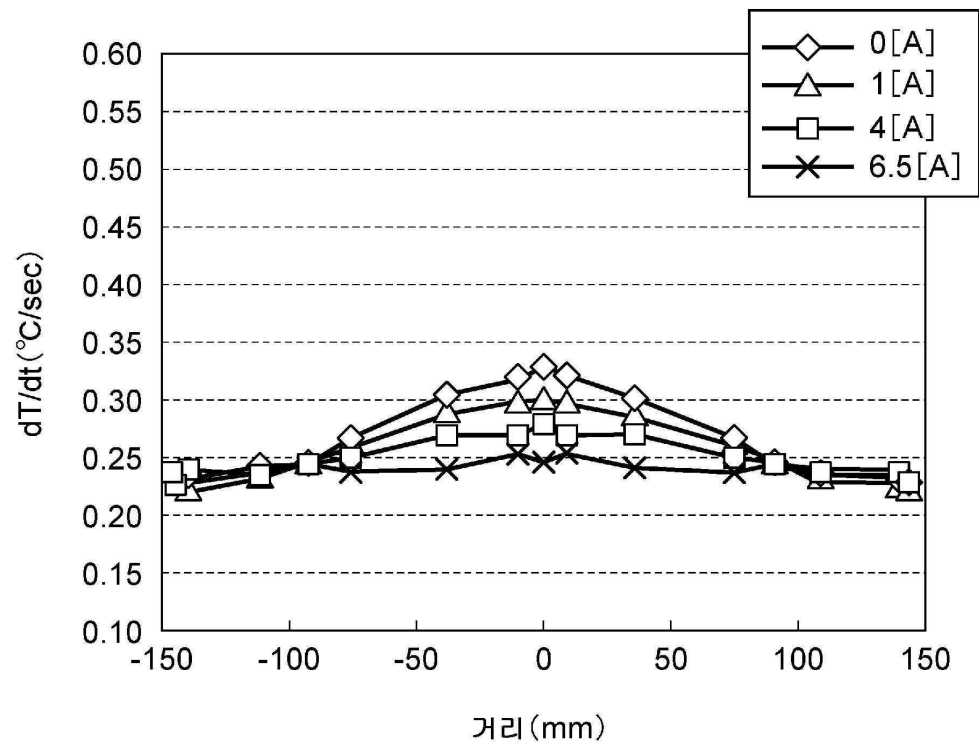
도면4



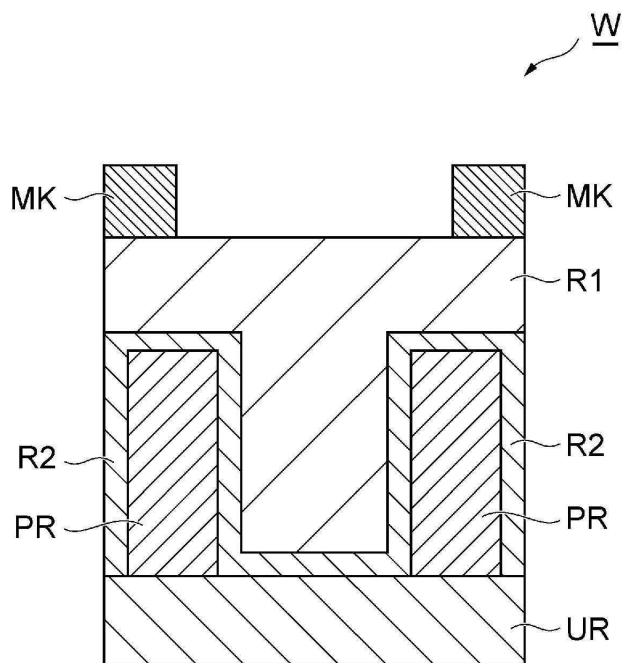
도면5



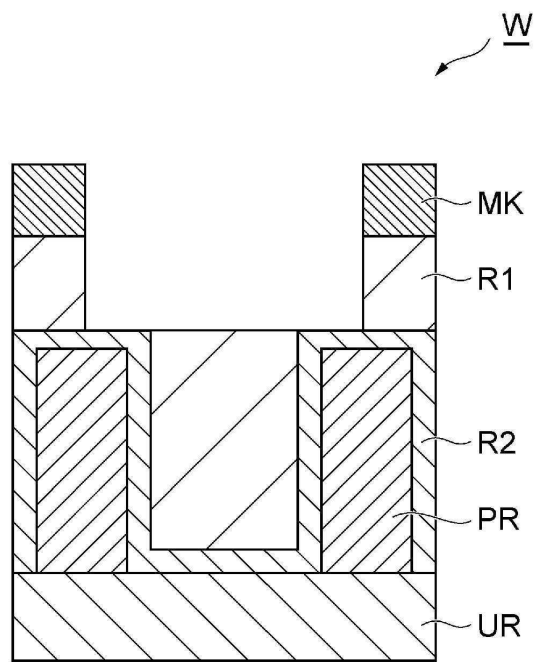
도면6



도면7



도면8



도면9

(a) 

(b) 

도면10

