



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월29일
(11) 등록번호 10-2426265
(24) 등록일자 2022년07월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/02 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/02315 (2013.01)
H01L 21/0234 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0154429
(22) 출원일자 2015년11월04일
심사청구일자 2020년08월10일
(65) 공개번호 10-2016-0053816
(43) 공개일자 2016년05월13일
(30) 우선권주장
JP-P-2014-225390 2014년11월05일 일본(JP)
(56) 선행기술조사문헌
JP09283499 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
도쿄엘렉트론가부시키키가이샤
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1고
(72) 발명자
요시카와 준
일본 981-3629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크노 힐즈 1 도쿄엘렉트론가부시키키가이샤 나이
(74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 7 항

심사관 : 방기인

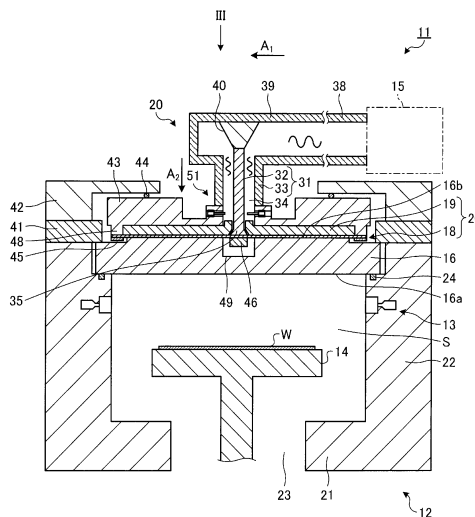
(54) 발명의 명칭 플라즈마 처리 장치

(57) 요약

본 발명은 방전을 발생시키지 않고 가스를 도입하는 것을 목적으로 한다.

플라즈마 처리 장치는, 처리 공간을 구획하는 처리 용기와, 상기 처리 용기의 측벽에 설치되고, 처리 공간에 가스를 공급하는 가스 공급부와, 처리 공간에 대향하는 대향면을 갖는 유전체 부재와, 유전체 부재의 대향면과는 반대측의 면 상에 설치되고, 가스를 플라즈마화하는 마이크로파를, 유전체 부재를 통해 처리 공간에 방사하는 안테나를 구비한다. 가스 공급부는, 처리 용기의 측벽의 내부에서 처리 공간에 도달하지 않는 위치까지 가스를 수송하는 수송 구멍과, 수송 구멍에 연통(連通)되고, 그 위치까지 수송된 가스를 처리 공간에 분사하는 분사 구멍으로서, 수송 구멍보다 직경이 큰 분사 구멍을 갖는다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01L 21/205 (2013.01)

H01L 21/3065 (2013.01)

H05H 1/46 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020120029350 A*

KR101212209 B1

KR1020030031166 A

KR1020040065254 A

KR1020040081185 A

KR1020100028106 A

KR1020110025064 A

KR1020110055706 A

KR1020120036372 A

KR1020120120911 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

처리 공간을 구획하는 처리 용기와,

상기 처리 용기의 측벽에 설치되고, 상기 처리 공간에 가스를 공급하는 가스 공급부와,

상기 처리 공간에 대향하는 대향면을 갖는 유전체 부재와,

상기 유전체 부재의 상기 대향면과는 반대측의 면 상에 설치되고, 상기 가스를 플라즈마화하는 마이크로파를, 상기 유전체 부재를 통해 상기 처리 공간에 방사하는 안테나

를 구비하고,

상기 가스 공급부는,

상기 처리 용기의 측벽의 내부에서 상기 처리 공간에 도달하지 않는 위치까지 상기 가스를 수송하는 수송 구멍과,

상기 수송 구멍에 연통(連通)되고, 상기 위치까지 수송된 상기 가스를 상기 처리 공간에 분사하는 분사 구멍으로서, 상기 수송 구멍보다 직경이 큰 분사 구멍을 갖고,

상기 분사 구멍은, 직경이 일정한 내벽면을 갖는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 분사 구멍의 직경은, 미리 정해진 상한값보다 작고,

상기 미리 정해진 상한값은, 이하의 식 (1)을 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 장치.

$$a < P_{nm} / (2 \pi f (\mu \epsilon)^{1/2}) \dots (1)$$

단,

a: 분사 구멍의 반경(미리 정해진 상한값/2)

P_{nm} : 베셀 함수

f: 마이크로파의 주파수

μ : 투자율(透磁率)

ϵ : 유전율

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서, 일단이 상기 처리 공간에 노출된 상태로, 상기 분사 구멍의 주위를 둘러싸도록 상기 처리 용기의 측벽에 매설되고, 상기 안테나에 의해 상기 처리 공간에 방사된 상기 마이크로파를 상기 일단으로부터 타단으로 유도하는 통형 유전체를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 일단이 상기 처리 공간에 노출된 상태로, 상기 처리 용기의 측벽 중 상기 분사 구멍과 상기 유전체 부재 사이에 끼워진 영역에 매설되고, 상기 안테나에 의해 상기 처리 공간에 방사된 상기 마이크로파를 상기 일단으로부터 타단으로 유도하는 환형 유전체를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 장치.

리 장치.

청구항 6

제4항에 있어서, 상기 통형 유전체의 내부에서 전파되는 상기 마이크로파의 파장을 λ 라고 하면,

상기 통형 유전체에 있어서 상기 일단으로부터 상기 타단까지의 길이는, $\lambda/5$ 이상 $3\lambda/5$ 이하인 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 판형 유전체의 내부에서 전파되는 상기 마이크로파의 파장을 λ 라고 하면,

상기 판형 유전체에 있어서 상기 일단으로부터 상기 타단까지의 길이는, $\lambda/5$ 이상 $3\lambda/5$ 이하인 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 처리 용기의 측벽 중 상기 분사 구멍과 상기 유전체 부재 사이에 끼워진 영역 으로부터 상기 처리 공간을 향해 돌출되어 설치되고, 상기 안테나에 의해 상기 처리 공간에 방사된 상기 마이크로파를 차단하는 판형 도전체를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 여러 가지 측면 및 실시형태는 플라즈마 처리 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 마이크로파에 의한 프로세스 가스의 여기를 이용한 플라즈마 처리 장치가 있다. 이 플라즈마 처리 장치는, 안테나를 이용해서 플라즈마 여기용의 마이크로파를 방사하여, 처리 용기 내부의 처리 공간에 도입된 가스를 해리시켜 플라즈마를 생성한다. 또한, 플라즈마 처리 장치는, 처리 용기의 측벽에 형성된 분사 구멍으로부터 처리 공간에 가스를 도입한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 일본 특허 제5440604호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 그러나, 종래 기술에서는, 분사 구멍에서의 압력이 증대하는 경우에, 압력의 증대에 기인하여, 분사 구멍에서 또는 분사 구멍 근방에서 방전이 발생할 우려가 있다고 하는 문제가 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 측면에 따른 플라즈마 처리 장치는, 처리 공간을 구획하는 처리 용기와, 상기 처리 용기의 측벽에 설치되고, 상기 처리 공간에 가스를 공급하는 가스 공급부와, 상기 처리 공간에 대향하는 대향면을 갖는 유전체 부재와, 상기 유전체 부재의 상기 대향면과는 반대측의 면 상에 설치되고, 상기 가스를 플라즈마화하는 마이크로파를, 상기 유전체 부재를 통해 상기 처리 공간에 방사하는 안테나를 구비하고, 상기 가스 공급부는, 상기 처리 용기의 측벽의 내부에서 상기 처리 공간에 도달하지 않는 위치까지 상기 가스를 수송하는 수송 구멍과, 상기 수송 구멍에 연통(連通)되고, 상기 위치까지 수송된 상기 가스를 상기 처리 공간에 분사하는 분사 구멍으로서, 상기 수송 구멍보다 직경이 큰 분사 구멍을 갖는다.

발명의 효과

[0006] 본 발명의 여러 가지 측면 및 실시형태에 의하면, 방전을 발생시키지 않고 가스를 도입할 수 있는 플라즈마 처리 장치가 실현된다.

도면의 간단한 설명

- [0007] 도 1은 제1 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치의 주요부를 도시한 개략 단면도이다.
- 도 2는 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 구비되는 동축 도파관 부근을 확대하여 도시한 개략 단면도이다.
- 도 3은 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 구비되는 슬롯 안테나판을, 도 1 중의 화살표 III 방향에서 본 도면이다.
- 도 4는 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 구비되는 동축 도파관을, 도 2 중의 IV-IV에서 절단한 경우의 단면도이다.
- 도 5는 제1 실시형태에서의 가스 공급부 및 처리 용기의 측면의 확대 단면도이다.
- 도 6은 가스의 압력과, 방전을 발생시키는 전계 강도와와의 관계를 도시한 도면이다.
- 도 7은 제1 실시형태에서의 분사 구멍에서의 가스의 압력과, 처리 용기(12)의 측면의 내부에서의 위치와의 관계의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다.
- 도 8은 제1 실시형태에서의 분사 구멍에서의 가스의 압력과, 처리 용기(12)의 측면의 내부에서의 위치와의 관계의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다.
- 도 9는 제1 실시형태에서의 분사 구멍의 직경과, 마이크로파의 누설률과의 관계의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다.
- 도 10은 제2 실시형태에서의 가스 공급부, 처리 용기의 측면 및 통형 유전체의 확대 단면도이다.
- 도 11은 도 10에 도시한 가스 공급부, 처리 용기의 측면 및 통형 유전체를 통형 유전체의 일단측에서 본 경우의 정면도이다.
- 도 12는 제2 실시형태에서의 통형 유전체의 유무에 따른 분사 구멍의 전계 강도의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다.
- 도 13은 제3 실시형태에서의 가스 공급부, 처리 용기의 측면 및 판형 유전체의 확대 단면도이다.
- 도 14는 제4 실시형태에서의 가스 공급부, 처리 용기의 측면 및 판형 도전체의 확대 단면도이다.
- 도 15는 제3 실시형태에서의 판형 유전체 또는 제4 실시형태에서의 판형 도전체의 유무에 따른 분사 구멍의 전계 강도의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 개시하는 플라즈마 처리 장치는, 하나의 실시형태에 있어서, 처리 공간을 구획하는 처리 용기와, 상기 처리 용기의 측면에 설치되고, 처리 공간에 가스를 공급하는 가스 공급부와, 처리 공간에 대향하는 대향면을 갖는 유전체 부재와, 유전체 부재의 대향면과는 반대측의 면 상에 설치되고, 가스를 플라즈마화하는 마이크로파를, 유전체 부재를 통해 처리 공간에 방사하는 안테나를 구비하고, 가스 공급부는, 처리 용기의 측면의 내부에서 처리 공간에 도달하지 않는 위치까지 가스를 수송하는 수송 구멍과, 수송 구멍에 연통되고, 그 위치까지 수송된 가스를 처리 공간에 분사하는 분사 구멍으로서, 수송 구멍보다 직경이 큰 분사 구멍을 갖는다.
- [0009] 개시하는 플라즈마 처리 장치는, 하나의 실시형태에 있어서, 분사 구멍의 직경은, 미리 정해진 상한값보다 작고, 미리 정해진 상한값은, 이하의 식 (1)을 이용하여 결정된다.
- [0010]
$$a < Pnm / (2 \pi f (\mu \epsilon)^{1/2}) \dots (1)$$
- [0011] 단,
- [0012] a: 분사 구멍의 반경(미리 정해진 상한값/2)

- [0013] Pnm: 베셀 함수
- [0014] f: 마이크로파의 주파수
- [0015] μ : 투자율(透磁率)
- [0016] ε : 유전율
- [0017] 개시하는 플라즈마 처리 장치는, 하나의 실시형태에 있어서, 분사 구멍의 직경은, 수송 구멍으로부터 멀어질수록 커진다.
- [0018] 개시하는 플라즈마 처리 장치는, 하나의 실시형태에 있어서, 일단이 처리 공간에 노출된 상태로, 분사 구멍의 주위를 둘러싸도록 처리 용기의 측벽에 매설되고, 안테나에 의해 처리 공간에 방사된 마이크로파를 일단으로부터 타단으로 유도하는 통형 유전체를 더 구비한다.
- [0019] 개시하는 플라즈마 처리 장치는, 하나의 실시형태에 있어서, 일단이 처리 공간에 노출된 상태로, 처리 용기의 측벽 중 분사 구멍과 유전체 부재 사이에 끼워진 영역에 매설되고, 안테나에 의해 처리 공간에 방사된 마이크로파를 일단으로부터 타단으로 유도하는 판형 유전체를 더 구비한다.
- [0020] 개시하는 플라즈마 처리 장치는, 하나의 실시형태에 있어서, 통형 유전체의 내부 또는 판형 유전체의 내부에서 전파되는 마이크로파의 파장을 λ 라고 하면, 통형 유전체 또는 판형 유전체에 있어서 일단으로부터 타단까지의 길이는, $\lambda/5$ 이상 $3\lambda/5$ 이하이다.
- [0021] 개시하는 플라즈마 처리 장치는, 하나의 실시형태에 있어서, 처리 용기의 측벽 중 분사 구멍과 유전체 부재 사이에 끼워진 영역으로부터 처리 공간을 향해 돌출되어 설치되고, 안테나에 의해 처리 공간에 방사된 마이크로파를 차단하는 판형 도체를 더 구비한다.
- [0022] 이하, 도면을 참조하여 여러 가지 실시형태에 대해 상세히 설명한다. 한편, 각 도면에 있어서 동일 또는 상당하는 부분에 대해서는 동일한 부호를 붙이기로 한다.
- [0023] (제1 실시형태)
- [0024] 도 1은 제1 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치의 주요부를 도시한 개략 단면도이다. 도 2는 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 구비되는 동축 도파관 부근을 확대하여 도시한 개략 단면도이다. 도 3은 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 구비되는 슬롯 안테나관을, 도 1 중의 화살표 III 방향에서 본 도면이다. 도 4는 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 구비되는 동축 도파관을, 도 2 중의 IV-IV에서 절단한 경우의 단면도이다. 한편, 도 1 및 도 2에서는, 지면 상하 방향을 장치의 상하 방향으로 한다. 또한, 본원 명세서 중, 직경 방향이란, 도 4에 있어서, 동축 도파관에 포함되는 내부 도체로부터 외부 도체로 향하는 방향을 가리킨다.
- [0025] 도 1 및 도 2에 도시한 플라즈마 처리 장치(11)는, 처리 용기(12), 가스 공급부(13), 유지대(14), 마이크로파 발생기(15), 유전체 부재(16), 안테나(20) 및 동축 도파관(31)을 구비한다.
- [0026] 처리 용기(12)는, 상부측이 개구되어 있고, 그 내부에서 피처리 기관(W)에 플라즈마 처리를 행하기 위한 처리 공간(S)을 구획하고 있다. 처리 용기(12)는, 유지대(14)의 하부측에 위치하는 바닥부(21)와, 바닥부(21)의 외주부로부터 상방향으로 연장되는 측벽(22)을 포함한다. 측벽(22)은 원통형이다. 처리 용기(12)의 바닥부(21)의 직경 방향 중앙측에는, 배기용의 배기 구멍(23)이 형성되어 있다. 처리 용기(12)의 상부측은 개구되어 있고, 처리 용기(12)의 상부측에 배치되는 유전체 부재(16), 및 유전체 부재(16)와 처리 용기(12) 사이에 개재하는 시일 부재로서의 O링(24)에 의해, 처리 용기(12)는 밀봉 가능하게 구성되어 있다. 유전체 부재(16)는, 처리 공간(S)에 대향하는 대향면(16a)을 갖는다. 유전체 부재(16)의 재질은 유전체이다. 유전체 부재(16)의 구체적인 재질로서는, 석영이나 알루미늄 등을 들 수 있다.
- [0027] 가스 공급부(13)는, 처리 용기(12) 내에 플라즈마 여기용의 가스 및 플라즈마 처리용의 가스를 공급한다. 가스 공급부(13)의 일부는, 측벽(22)에 매립되도록 하여 설치되어 있고, 처리 용기(12)의 외부로부터 처리 용기(12) 내의 처리 공간(S)에 가스를 공급한다. 한편, 가스 공급부(13)의 상세한 구성은 후술한다.
- [0028] 유지대(14)는, 처리 용기(12) 내에 배치되어, 피처리 기관(W)을 유지한다.
- [0029] 마이크로파 발생기(15)는, 처리 용기(12)의 외부에 배치되어, 플라즈마 여기용의 마이크로파를 발생시킨다. 또한, 제1 실시형태에서는, 플라즈마 처리 장치(11)는, 마이크로파 발생기(15)에 한쪽 단부(38)가 접속되는 도파관(39)과, 마이크로파의 모드를 변환하는 모드 변환기(40)를 포함한다. 도파관(39)은, 가로 방향,

구체적으로는, 도 1 중의 지면 좌우 방향으로 연장되도록 설치되어 있다. 한편, 도파관(39)으로서는, 단면이 원형 형상인 것이나 단면이 직사각형 형상인 것이 사용된다.

[0030] 안테나(20)는, 유전체 부재(16)의 대향면(16a)과는 반대측의 면(16b) 상에 설치되고, 마이크로파 발생기(15)에 의해 발생하는 마이크로파에 기초하여, 유전체 부재(16)를 통해 플라즈마 생성용의 마이크로파를 처리 공간(S)에 방사한다. 안테나(20)는, 슬롯 안테나판(18) 및 지파관(漣波板; 19)을 갖는다.

[0031] 슬롯 안테나판(18)은, 유전체 부재(16)의 대향면(16a)과는 반대측의 면(16b) 상에 배치되고, 마이크로파를 유전체 부재(16)에 방사하는 박판형의 부재이다. 슬롯 안테나판(18)의 판 두께 방향의 양면은 각각 평평하다. 슬롯 안테나판(18)에는, 도 3에 도시한 바와 같이, 판 두께 방향으로 관통하는 복수의 슬롯 구멍(17)이 형성되어 있다. 슬롯 구멍(17)은, 2개의 직사각형 형상의 개구부가 한 쌍이 되며, 대략 T자형이 되도록 배치되어 구성되어 있다. 형성된 슬롯 구멍(17)은, 내주측에 배치되는 내주측 슬롯 구멍군(26a)과, 외주측에 배치되는 외주측 슬롯 구멍군(26b)으로 크게 나뉜다. 내주측 슬롯 구멍군(26a)은, 도 3 중의 점선으로 둘러싸인 범위 내에 형성된 8개의 슬롯 구멍(17)이다. 외주측 슬롯 구멍군(26b)은, 도 3 중의 일점 쇄선으로 둘러싸인 범위 내에 형성된 16개의 슬롯 구멍(17)이다. 내주측 슬롯 구멍군(26a)에 있어서, 8개의 슬롯 구멍(17)은 각각, 환형으로 등간격으로 배치되어 있다. 외주측 슬롯 구멍군(26b)에 있어서, 16개의 슬롯 구멍(17)은 각각, 환형으로 등간격으로 배치되어 있다. 슬롯 안테나판(18)은, 직경 방향의 중심(28)을 중심으로 한 회전 대칭성을 가지며, 예컨대, 중심(28)을 중심으로 하여 45° 회전해도 동일한 형상이 된다.

[0032] 지파관(19)은, 슬롯 안테나판(18)의 상방측에 배치되고, 마이크로파를 직경 방향으로 전파한다. 지파관(19)의 중앙에는, 후술하는 동축 도파관(31)에 구비되는 내부 도체(32)를 배치시키기 위한 개구가 형성되어 있다. 개구 주위를 형성하는 지파관(19)의 내경측의 단부는, 판 두께 방향으로 돌출되어 있다. 즉, 지파관(19)은, 내경측의 단부로부터 판 두께 방향으로 돌출하는 링형의 지파관 돌출부(27)를 구비한다. 지파관(19)은, 지파관 돌출부(27)가 상측이 되도록 부착된다. 지파관(19)의 재질은 유전체이다. 지파관(19)의 구체적인 재질로서는, 석영이나 알루미늄 등을 들 수 있다. 지파관(19)의 내부에서 전파되는 마이크로파의 파장은, 대기 속에서 전파되는 마이크로파의 파장보다 짧아진다.

[0033] 유전체 부재(16), 슬롯 안테나판(18), 및 지파관(19)은 모두 원판형이다. 플라즈마 처리 장치(11)를 제조할 때에는, 유전체 부재(16)의 직경 방향의 중심과, 슬롯 안테나판(18)의 직경 방향의 중심(28)과, 지파관(19)의 직경 방향의 중심을, 각각 일치하도록 제조된다. 이렇게 함으로써, 중심측으로부터 외경측을 향해 전파되는 마이크로파에 있어서, 둘레 방향에서의 마이크로파의 전파 정도를 동일하게 하여, 유전체 부재(16)의 하방측에 발생시키는 플라즈마의 둘레 방향에서의 균일성을 확보하도록 하고 있다. 한편, 여기서는, 슬롯 안테나판(18)의 직경 방향의 중심(28)을 기준으로 한다.

[0034] 동축 도파관(31)은, 안테나(20)에 마이크로파를 공급하는 도파관이다. 동축 도파관(31)은, 내부 도체(32) 및 외부 도체(33)를 포함하고 있다. 내부 도체(32)는, 대략 둥근 막대형으로 형성되어 있다. 내부 도체(32)의 한쪽 단부(35)는, 슬롯 안테나판(18)의 중심(28)에 접속된다. 외부 도체(33)는, 내부 도체(32)와 직경 방향의 간극(34)을 두고 내부 도체(32)의 외경측에 설치된다. 외부 도체(33)는 대략 원통형으로 형성된다. 즉, 내부 도체(32)의 외주면(36)과 외부 도체(33)의 내주면(37)이 대향하도록 내부 도체(32)와 외부 도체(33)를 조합하여, 동축 도파관(31)이 구성되어 있다. 동축 도파관(31)은, 도 1 중의 지면 상하 방향으로 연장되도록 설치되어 있다. 내부 도체(32) 및 외부 도체(33)는 각각 별체(別體)로 제조된다. 그리고, 내부 도체(32)의 직경 방향의 중심과 외부 도체(33)의 직경 방향의 중심을 일치시키도록 하여 조합된다.

[0035] 마이크로파 발생기(15)에서 발생시킨 마이크로파는, 도파관(39) 및 동축 도파관(31)을 통해, 안테나(20)에 전파된다. 마이크로파 발생기(15)에서 발생시킨 마이크로파의 주파수로서는, 예컨대, 2.45 GHz가 선택된다.

[0036] 예컨대, 마이크로파 발생기(15)에서 발생시킨 TE 모드의 마이크로파는, 도파관(39) 내에서 도 1 중의 화살표 A1로 나타내는 지면 좌측 방향으로 전파되고, 모드 변환기(40)에 의해 TEM 모드로 변환된다. 그리고, TEM 모드로 변환된 마이크로파는, 동축 도파관(31) 내에서 도 1 중의 화살표 A2로 나타내는 지면 하측 방향으로 전파된다. 구체적으로는, 간극(34)이 형성되는 내부 도체(32)와 외부 도체(33) 사이, 및 내부 도체(32)와 냉각판 돌출부(47) 사이에서, 마이크로파가 전파된다. 동축 도파관(31)에서 전파되는 마이크로파는, 지파관(19) 내에서 직경 방향으로 전파되고, 슬롯 안테나판(18)에 형성된 복수의 슬롯 구멍(17)으로부터 유전체 부재(16)에 방사된다. 유전체 부재(16)를 투과한 마이크로파는, 유전체 부재(16) 바로 아래에 전계를 발생시켜, 처리 용기(12) 내에 플라즈마를 생성시킨다.

- [0037] 또한, 플라즈마 처리 장치(11)는, 측벽(22)의 개구측의 상방 단부의 상방측에 배치되고, 유전체 부재(16)를 상방측으로부터 누르는 유전체판 누름 링(41)과, 유전체판 누름 링(41)의 상방측에 배치되고, 슬롯 안테나판(18) 등을 상방측으로부터 누르는 안테나 누름부(42)와, 지파관(19)의 상방측에 배치되고, 지파관(19) 등을 냉각하는 냉각판(43)과, 안테나 누름부(42)와 냉각판(43) 사이에 개재하도록 배치되고, 처리 용기(12) 내외에서 전자계를 차폐하는 전자 차폐 탄력체(44)와, 슬롯 안테나판(18)의 외주부를 고정하는 외주 고정 링(45)과, 슬롯 안테나판(18)의 중심을 고정하는 중심 고정판(46)을 구비한다.
- [0038] 냉각판(43)의 중앙에는, 도 2에 도시한 바와 같이, 동축 도파관(31)을 배치시키기 위한 개구가 형성되어 있다. 개구 주위를 형성하는 냉각판(43)의 내경측의 단부는, 판 두께 방향으로 돌출되어 있다. 즉, 냉각판(43)은, 내경측의 단부로부터 판 두께 방향으로 돌출하는 링형의 냉각판 돌출부(47)를 구비한다. 냉각판(43)은, 냉각판 돌출부(47)가 상측이 되도록 부착된다.
- [0039] 냉각판 돌출부(47)의 상방측에는, 원통형의 외부 도체(33)가 배치된다. 냉각판 돌출부(47)의 상방측 단부와 외부 도체(33)의 하방측 단부가 접촉하는 구성이다. 이 경우, 외부 도체(33)의 내주면(37)과 냉각판 돌출부(47)의 내주면(50)이 이어지고, 내부 도체(32)의 외주면(36)과 외부 도체(33)의 내주면(37)과의 직경 방향의 거리, 및 내부 도체(32)의 외주면(36)과 냉각판 돌출부(47)의 내주면(50)과의 직경 방향의 거리가 동일하게 되도록 구성된다. 외부 도체(33)의 내주면(37)과 냉각판 돌출부(47)의 내주면(50)이 이어짐으로써, 냉각판 돌출부(47)는, 동축 도파관(31)의 일부로서 구성된다. 한편, 상기한 지파관 돌출부(27)의 상방측에는, 내부 도체(32)와 외부 도체(33) 사이에 형성되는 간극(34)이 위치하게 된다.
- [0040] 또한, 냉각판(43)의 외주 부분에는, 유전체 부재(16)측으로 링 형상으로 돌출하는 지파관 위치 결정부(48)가 형성되어 있다. 지파관(19)은, 지파관 위치 결정부(48)에 의해 직경 방향으로 위치 결정된다. 지파관 위치 결정부(48)가 형성된 직경 방향의 위치에 있어서, 외주 고정 링(45)은, 슬롯 안테나판(18)을 고정한다.
- [0041] 한편, 유전체 부재(16)의 상방측의 면 중, 직경 방향의 중앙에는, 중심 고정판(46)을 수용하도록, 유전체 부재(16)의 상방측의 면으로부터 판 두께를 감소시키도록 움푹 들어간 수용 오목부(49)가 형성되어 있다.
- [0042] 또한, 도 2 및 도 4에 도시한 바와 같이, 플라즈마 처리 장치(11)는, 내부 도체(32)의 외주면(36)의 일부와, 직경 방향에 있어서 내부 도체(32)의 외주면의 일부에 대항하는 대항부와의 직경 방향의 거리를 변경시키는 변경 수단으로서, 외부 도체(33)측으로부터 내부 도체(32)측을 향해 연장 가능한 복수의 스테브 부재(51)를 구비한다. 한편, 본 실시형태에서는, 직경 방향에 있어서 내부 도체(32)의 외주면의 일부에 대항하는 대항부는, 냉각판 돌출부(47)에 상당한다.
- [0043] 스테브 부재(51)는, 외부 도체(33)측에서 지지되고, 직경 방향으로 연장되도록 설치되는 막대 형상부(52)와, 막대 형상부(52)의 직경 방향의 이동량을 조정하는 이동량 조정 부재로서의 나사부(53)를 포함한다. 나사부(53)는, 막대 형상부(52)의 외경측 단부에 설치되어 있다.
- [0044] 스테브 부재(51)는, 냉각판 돌출부(47)에 삽입되어 있다. 구체적으로는, 냉각판 돌출부(47)에는, 직경 방향으로 똑바로 연장되어 관통하는 나사 구멍(54)이 형성되어 있고, 이 나사 구멍(54)과 나사부(53)를 나사 결합시키도록 하여, 스테브 부재(51)가 냉각판 돌출부(47)에 삽입되어 있다. 즉, 스테브 부재(51)는, 외부 도체(33)측에 있어서, 냉각판 돌출부(47)에 형성된 나사 구멍(54)에 나사 결합된 나사부(53)에 의해 지지되어 있다.
- [0045] 나사부(53)를 회전시킴으로써, 막대 형상부(52)를 포함하는 스테브 부재(51) 전체를 직경 방향으로 이동시킬 수 있다. 도 2에서는, 스테브 부재(51)는, 지면 좌우 방향으로 이동 가능하다. 또한, 그 이동량은, 나사부(53)의 회전량에 의해 조정된다.
- [0046] 스테브 부재(51)는, 둘레 방향으로 대략 등간격 배치가 되도록, 내부 도체(32) 주위의 냉각판 돌출부(47) 내에 복수(도 4에서는 6개) 설치되어 있다. 예컨대, 6개의 스테브 부재가 설치되는 경우에는, 6개의 스테브 부재(51)는, 둘레 방향에 있어서 인접하는 스테브 부재 사이의 각도가, 60° 간격이 되도록 배치되어 있다.
- [0047] 복수의 스테브 부재(51)는 각각 독립적으로, 직경 방향으로 이동할 수 있다. 즉, 각 스테브 부재(51)에 포함되는 막대 형상부(52)의 선단부(55)의 직경 방향의 위치가, 각각 개별적으로 조정된다.
- [0048] 다음으로, 도 1에 도시한 가스 공급부(13)의 상세한 구성에 대해 설명한다. 도 5는 제1 실시형태에서의 가스 공급부 및 처리 용기의 측벽의 확대 단면도이다.
- [0049] 도 5에 도시한 바와 같이, 가스 공급부(13)는, 수송 구멍(13-1)과, 수송 구멍(13-1)에 연통되는 분사 구멍(13-2)을 갖는다. 수송 구멍(13-1)은, 처리 용기(12)의 측벽(22)의 내부에서 처리 공간(S)에 도달하지 않는 위치(이

하 「도중 위치」라고 함)까지 가스를 수송한다. 수송 구멍(13-1)은, 선단에 가까워질수록 직경이 작아지는 끝으로 갈수록 가늘어지는 형상으로 형성되어 있다. 수송 구멍(13-1)이 끝으로 갈수록 가늘어지는 형상으로 형성됨으로써, 수송 구멍(13-1)에 의해 처리 용기(12)의 측벽(22)의 도중 위치까지 수송된 가스의 압력은 증대한다.

[0050] 분사 구멍(13-2)은, 수송 구멍(13-1)에 의해 처리 용기(12)의 측벽(22)의 도중 위치까지 수송된 가스를 처리 공간(S)에 분사한다. 분사 구멍(13-2)은, 수송 구멍(13-1)보다 직경이 크다. 도 5의 예에서는, 수송 구멍(13-1) 중 가장 직경이 작아지는 선단 부분의 직경을 D1이라고 하고, 분사 구멍(13-2)의 직경을 D2라고 하면, D1<D2의 관계가 성립한다. 분사 구멍(13-2)의 직경이 수송 구멍(13-1)의 직경보다 크기 때문에, 수송 구멍(13-1)에 의해 수송되는 가스의 압력과 비교하여, 분사 구멍(13-2)으로부터 처리 공간(S)에 분사되는 가스의 압력은 저하된다. 그 때문에, 분사 구멍(13-2) 내의 압력 또는 분사 구멍(13-2) 근방의 압력이 과도하게 증대하는 것이 방지된다.

[0051] 도 6은 가스의 압력과, 방전을 발생시키는 전계 강도와의 관계를 도시한 도면이다. 도 6의 상측의 곡선은, 진공 중의 Ar(아르곤) 가스의 압력과, 방전을 발생시키는 전계 강도와의 관계를 나타낸 곡선이다. 도 6의 상측의 곡선은, 파센 곡선이라고도 불린다. 도 6의 하측의 곡선은, 플라즈마 중의 Ar 가스의 압력과, 방전을 발생시키는 전계 강도와의 관계를 나타낸 곡선이다. 한편, 도 6의 하측의 곡선은, 도 6의 상측에 나타낸 파센 곡선으로부터 추측되는 곡선이다.

[0052] 도 6의 곡선으로부터 명백한 바와 같이, 가스의 압력이 1 Torr~10 Torr인 경우에, 방전을 발생시키는 전계 강도가 최저가 된다. 즉, 도 6의 곡선에서는, 가스의 압력이 1 Torr~10 Torr인 경우에, 방전이 발생할 가능성이 가장 높아지는 것을 나타내고 있다. 발명자는 시뮬레이션이나 실험 등에 의해 더욱 예의 검토를 거듭한 결과, 분사되는 가스의 압력이 1 Torr~2 Torr인 경우에, 방전이 실제로 발생하는 것을 알 수 있었다.

[0053] 도 7 및 도 8은 제1 실시형태에서의 분사 구멍에서의 가스의 압력과, 처리 용기(12)의 측벽의 내부에서의 위치와의 관계의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다. 도 7 및 도 8에 나타낸 그래프에 있어서, 횡축은 미리 정해진 기준 위치로부터 처리 용기(12)의 측벽의 내부에서의 위치까지의 거리를 나타내고 있다. 또한, 도 7 및 도 8에 있어서, 파선의 위치는, 처리 용기(12)의 측벽(22)의 도중 위치를 나타내고 있고, 파선보다 우측에 존재하는 위치는, 분사 구멍(13-2)에 대응하는 위치를 나타내고 있다.

[0054] 또한, 도 7의 시뮬레이션에서는, 시뮬레이션 조건으로서, 처리 가스: Ar=1100 sccm, 처리 용기 내의 압력: 400 mTorr가 이용되었다. 또한, 도 8의 시뮬레이션에서는, 시뮬레이션 조건으로서, 처리 가스: Ar=1100 sccm, 처리 용기 내의 압력: 750 mTorr가 이용되었다.

[0055] 도 7 및 도 8의 시뮬레이션 결과로부터 명백한 바와 같이, 수송 구멍(13-1)에 의해 처리 용기(12)의 측벽(22)의 도중 위치까지 수송된 가스를 분사 구멍(13-2)에 통류시킴으로써, 분사 구멍(13-2) 내의 압력은, 처리 용기 내의 압력까지 저하된다. 즉, 수송 구멍(13-1)의 직경보다 직경이 큰 분사 구멍(13-2)에 가스를 통류시킴으로써, 분사 구멍(13-2)으로부터 분사되는 가스의 압력을 1 Torr보다 낮은 압력까지 저하시킬 수 있다.

[0056] 도 6의 곡선과, 도 7 및 도 8의 시뮬레이션 결과로부터 명백한 바와 같이, 수송 구멍(13-1)보다 직경이 큰 분사 구멍(13-2)으로부터 처리 공간(S)에 가스를 분사함으로써, 방전이 발생하기 쉬운 1 Torr~2 Torr의 범위 이외의 범위까지 가스의 압력을 저하시키는 것이 가능하다. 바꿔 말하면, 수송 구멍(13-1)의 직경보다 직경이 큰 분사 구멍(13-2)으로부터 처리 공간(S)에 가스를 분사함으로써, 압력의 증대에 기인한 방전의 발생을 회피하는 것이 가능하다.

[0057] 도 5의 설명으로 되돌아간다. 분사 구멍(13-2)의 직경 D2는, 미리 정해진 상한값보다 작은 것이 바람직하다. 그리고, 미리 정해진 상한값은, 이하의 식 (1)을 이용하여 결정되는 것이 바람직하다.

[0058]
$$a < P_{nm} / (2 \pi f (\mu \epsilon)^{1/2}) \dots (1)$$

[0059] 단,

[0060] a: 분사 구멍의 반경(미리 정해진 상한값/2)

[0061] P_{nm}: 베셀 함수

[0062] f: 마이크로파의 주파수

[0063] μ: 투자율

[0064] ε: 유전율

- [0065] 이와 같이, 분사 구멍(13-2)의 직경 D2를, 식 (1)에 의해 결정되는 미리 정해진 상한값보다 작게 함으로써, 처리 공간(S)으로부터 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어가는 마이크로파를 억제하는 것이 가능해진다.
- [0066] 도 9는 제1 실시형태에서의 분사 구멍의 직경과, 마이크로파의 누설률과의 관계의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다. 도 9에 있어서, 「구멍 반경」은, 분사 구멍(13-2)의 직경 D2에 대응하는 분사 구멍(13-2)의 반경을 나타내고 있다. 또한, 「MW leak rate[%]」는, 처리 공간(S)에 투입된 마이크로파의 강도에 대한, 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어간 마이크로파의 강도의 비율인 누설률을 나타내고 있다.
- [0067] 도 9의 시뮬레이션 결과로부터 명백한 바와 같이, 분사 구멍(13-2)의 직경 D2를 미리 정해진 상한값보다 작게 함으로써, 마이크로파의 누설률이 1% 미만으로 개선된다. 여기서, 미리 정해진 상한값이란, 상기 식 (1)에 의해 결정되는 미리 정해진 상한값이다. 즉, 분사 구멍(13-2)의 직경 D2를, 식 (1)에 의해 결정되는 미리 정해진 상한값보다 작게 함으로써, 처리 공간(S)으로부터 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어가는 마이크로파의 증대를 억제하는 것이 가능해지는 것을 알 수 있었다.
- [0068] 이상, 제1 실시형태의 플라즈마 처리 장치(11)에 의하면, 수송 구멍(13-1)에 의해 처리 용기(12)의 측벽(22)의 도중 위치까지 가스를 수송하고, 수송 구멍(13-1)보다 직경이 큰 분사 구멍(13-2)에 의해 처리 공간(S)에 가스를 분사한다. 그 결과, 제1 실시형태에 의하면, 방전이 발생하기 쉬운 압력의 범위 이외의 범위까지 가스의 압력을 저하시킬 수 있기 때문에, 압력의 증대에 기인한 방전을 발생시키지 않고 가스를 도입할 수 있다.
- [0069] 또한, 제1 실시형태의 플라즈마 처리 장치(11)에 의하면, 분사 구멍(13-2)의 직경을 미리 정해진 상한값보다 작게 하고 있기 때문에, 처리 공간(S)으로부터 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어가는 마이크로파의 증대를 억제할 수 있다. 그 결과, 제1 실시형태에 의하면, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방의 전계 강도를 저감할 수 있기 때문에, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방에 있어서 방전이 발생하는 것을 방지할 수 있다.
- [0070] (제2 실시형태)
- [0071] 도 10은 제2 실시형태에서의 가스 공급부, 처리 용기의 측벽 및 통형 유전체 의 확대 단면도이고, 도 11은 도 10에 도시한 가스 공급부, 처리 용기의 측벽 및 통형 유전체를 통형 유전체의 일단측에서 본 경우의 정면도이다. 한편, 이하에 설명하는 점을 제외하고, 도 10 및 도 11에 있어서, 도 5와 동일한 부호를 붙인 구성은, 도 5에서의 구성과 동일 또는 유사한 기능을 갖기 때문에 설명을 생략한다.
- [0072] 도 10 및 도 11에 도시한 바와 같이, 제2 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치는, 일단(61a)이 처리 공간(S)에 노출된 상태로, 분사 구멍(13-2)의 주위를 둘러싸도록 처리 용기(12)의 측벽(22)에 매설된 통형 유전체(61)를 더 갖는다. 통형 유전체(61)는, 안테나(20)에 의해 처리 공간(S)에 방사된 마이크로파를 일단(61a)으로부터, 측벽(22)에 매립되어 있는 타단(61b)으로 유도한다. 통형 유전체(61)에 의해 타단(61b)으로 유도된 마이크로파는, 타단(61b)에서 반사되어, 반사 전의 마이크로파와 서로 상쇄된다. 이에 의해, 처리 공간(S)으로부터 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어가는 마이크로파의 증대가 억제되어, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방의 전계 강도가 저감된다.
- [0073] 통형 유전체(61)의 내부에서 전파되는 마이크로파의 파장을 λ 라고 하면, 통형 유전체(61)에 있어서 일단(61a)으로부터 타단(61b)까지의 길이는, $\lambda/5$ 이상 $3\lambda/5$ 이하인 것이 바람직하다. 이와 같이, 통형 유전체(61)에 있어서 일단(61a)으로부터 타단(61b)까지의 길이를 $\lambda/5$ 이상 $3\lambda/5$ 이하로 함으로써, 타단(61b)에서 반사된 마이크로파는, 위상이 반전되기 때문에, 유전체에 진입하기 전의 마이크로파를 효율적으로 상쇄하는 것이 가능해진다.
- [0074] 도 12는 제2 실시형태에서의 통형 유전체의 유무에 따른 분사 구멍의 전계 강도의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다. 도 12에 나타낸 그래프에 있어서, 횡축은 처리 공간(S)의 전자 밀도를 나타내고 있고, 종축은 통형 유전체(61)가 존재하지 않는 경우의 분사 구멍(13-2)의 전계 강도에 대한, 통형 유전체(61)가 매설된 경우의 분사 구멍(13-2)의 전계 강도의 비를 나타내고 있다.
- [0075] 도 12의 시뮬레이션 결과로부터 명백한 바와 같이, 통형 유전체(61)가 매설된 경우, 통형 유전체(61)가 존재하지 않는 경우와 비교하여, 분사 구멍(13-2)의 전계 강도를 약 70%만큼 개선시킬 수 있었다.
- [0076] 이상, 제2 실시형태의 플라즈마 처리 장치에 의하면, 처리 용기(12)의 측벽(22)에 분사 구멍(13-2)의 주위를 둘러싸도록 통형 유전체(61)를 매설하고 있기 때문에, 처리 공간(S)으로부터 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어가는 마이크로파의 증대를 억제할 수 있다. 그 결과, 제2 실시형태에 의하면, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방의 전계 강도를 저감할 수 있기 때문에, 압력의 증대에 기인한 방전을 발생시키지 않고 가스를 도입하고,

또한, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방에 있어서 방전이 발생하는 것을 보다 효과적으로 방지할 수 있다.

[0077] (제3 실시형태)

[0078] 도 13은 제3 실시형태에서의 가스 공급부, 처리 용기의 측벽 및 관형 유전체의 확대 단면도이다. 한편, 이하에 설명하는 점을 제외하고, 도 13에 있어서, 도 5와 동일한 부호를 붙인 구성은, 도 5에서의 구성과 동일 또는 유사한 기능을 갖기 때문에 설명을 생략한다.

[0079] 도 13에 도시한 바와 같이, 제3 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치는, 일단(71a)이 처리 공간(S)에 노출된 상태로, 처리 용기(12)의 측벽(22) 중 분사 구멍(13-2)과 유전체 부재(16) 사이에 끼워진 영역에 매설된 관형 유전체(71)를 더 갖는다. 보다 구체적으로는, 관형 유전체(71)는, 처리 용기(12)의 측벽(22) 중 분사 구멍(13-2)과 유전체 부재(16) 사이에 끼워진 영역에 측벽(22)의 둘레 방향을 따라 형성된 오목부에, 일단(71a)이 처리 공간(S)에 노출된 상태로, 환형으로 매립되어 있다. 관형 유전체(71)는, 안테나(20)에 의해 처리 공간(S)에 방사된 마이크로파를 일단(71a)으로부터, 측벽(22)에 매립되어 있는 타단(71b)으로 유도한다. 관형 유전체(71)에 의해 타단(71b)으로 유도된 마이크로파는, 타단(71b)에서 반사되어, 반사 전의 마이크로파와 서로 상쇄된다. 이에 의해, 처리 공간(S)으로부터 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어가는 마이크로파의 증대가 억제되어, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방의 전계 강도가 저감된다.

[0080] 관형 유전체(71)의 내부에서 전파되는 마이크로파의 파장을 λ 라고 하면, 관형 유전체(71)에 있어서 일단(71a)으로부터 타단(71b)까지의 길이는, $\lambda/5$ 이상 $3\lambda/5$ 이하인 것이 바람직하다. 이와 같이, 관형 유전체(71)에 있어서 일단(71a)으로부터 타단(71b)까지의 길이를 $\lambda/5$ 이상 $3\lambda/5$ 이하로 함으로써, 타단(71b)에서 반사된 마이크로파는, 위상이 반전되기 때문에, 반사 전의 마이크로파를 효율적으로 상쇄하는 것이 가능해진다.

[0081] 이상, 제3 실시형태의 플라즈마 처리 장치에 의하면, 처리 용기(12)의 측벽(22) 중 분사 구멍(13-2)과 유전체 부재(16) 사이에 끼워진 영역에 관형 유전체(71)를 매설하고 있기 때문에, 처리 공간(S)으로부터 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어가는 마이크로파의 증대를 억제할 수 있다. 그 결과, 제3 실시형태에 의하면, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방의 전계 강도를 저감할 수 있기 때문에, 압력의 증대에 기인한 방전을 발생시키지 않고 가스를 도입하고, 또한, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방에 있어서 방전이 발생하는 것을 보다 효과적으로 방지할 수 있다.

[0082] (제4 실시형태)

[0083] 도 14는 제4 실시형태에서의 가스 공급부, 처리 용기의 측벽 및 관형 도전체의 확대 단면도이다. 한편, 이하에 설명하는 점을 제외하고, 도 14에 있어서, 도 5와 동일한 부호를 붙인 구성은, 도 5에서의 구성과 동일 또는 유사한 기능을 갖기 때문에 설명을 생략한다.

[0084] 도 14에 도시한 바와 같이, 제4 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치는, 처리 용기(12)의 측벽(22) 중 분사 구멍(13-2)과 유전체 부재(16) 사이에 끼워진 영역으로부터 처리 공간(S)을 향해 돌출되어 설치된 관형 도전체(81)를 더 갖는다. 보다 구체적으로는, 관형 도전체(81)는, 처리 용기(12)의 측벽(22) 중 분사 구멍(13-2)과 유전체 부재(16) 사이에 끼워진 영역으로부터 처리 공간(S)을 향해 환형으로 돌출되어 설치되어 있다. 관형 도전체(81)는, 안테나(20)에 의해 처리 공간(S)에 방사된 마이크로파를 차단한다. 이에 의해, 처리 공간(S)으로부터 분사 구멍(13-2)으로 새어 들어가는 마이크로파의 증대가 억제되어, 분사 구멍(13-2) 또는 분사 구멍(13-2) 근방의 전계 강도가 저감된다.

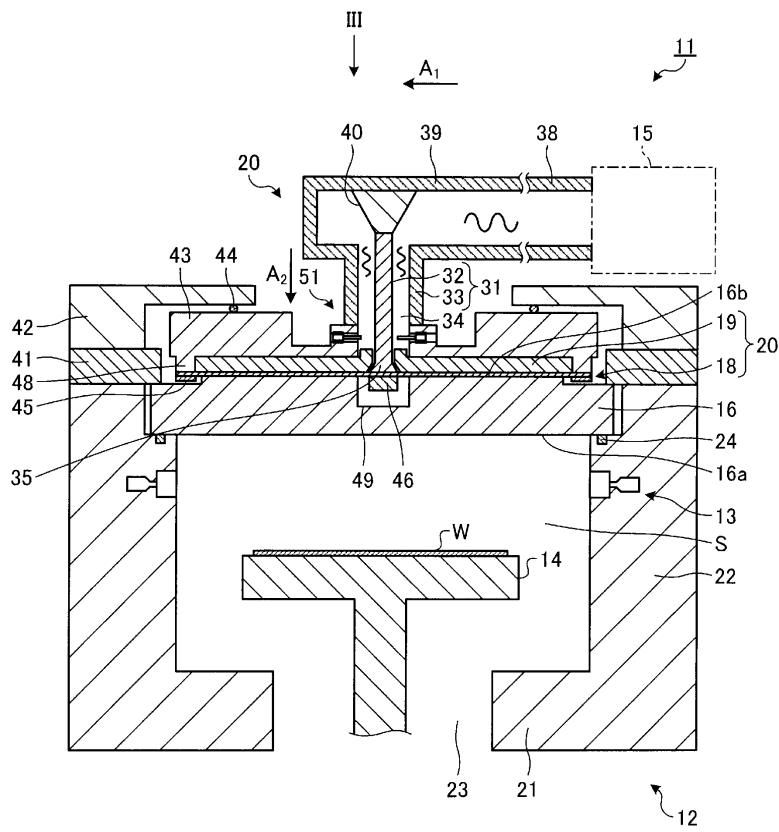
[0085] 도 15는 제3 실시형태에서의 관형 유전체 또는 제4 실시형태에서의 관형 도전체의 유무에 따른 분사 구멍의 전계 강도의 시뮬레이션 결과의 일례를 도시한 도면이다. 도 15에 있어서, 「STD」는 관형 유전체(71) 및 관형 도전체(81) 모두 존재하지 않는 경우의 분사 구멍(13-2)의 전계 강도를 나타낸 그래프이다. 또한, 「Choke 2」는 관형 유전체(71)가 매설된 경우의 분사 구멍(13-2)의 전계 강도를 나타낸 그래프이다. 또한, 「Metal Bar」는 관형 도전체(81)가 돌출되어 설치된 경우의 분사 구멍(13-2)의 전계 강도를 나타낸 그래프이다. 또한, 도 15에 나타낸 각 그래프에 있어서, 횡축은 처리 공간(S)의 전자 밀도를 나타내고 있고, 종축은 전계 강도를 나타내고 있다. 또한, 도 15의 시뮬레이션에서는, 시뮬레이션 조건으로서, 투입되는 마이크로파의 전력: 3 kW가 이용된 것으로 한다.

[0086] 도 15의 시뮬레이션 결과로부터 명백한 바와 같이, 관형 유전체(71)가 매설된 경우, 관형 유전체(71) 및 관형 도전체(81) 모두 존재하지 않는 경우와 비교하여, 분사 구멍(13-2)의 전계 강도가 저감되었다.

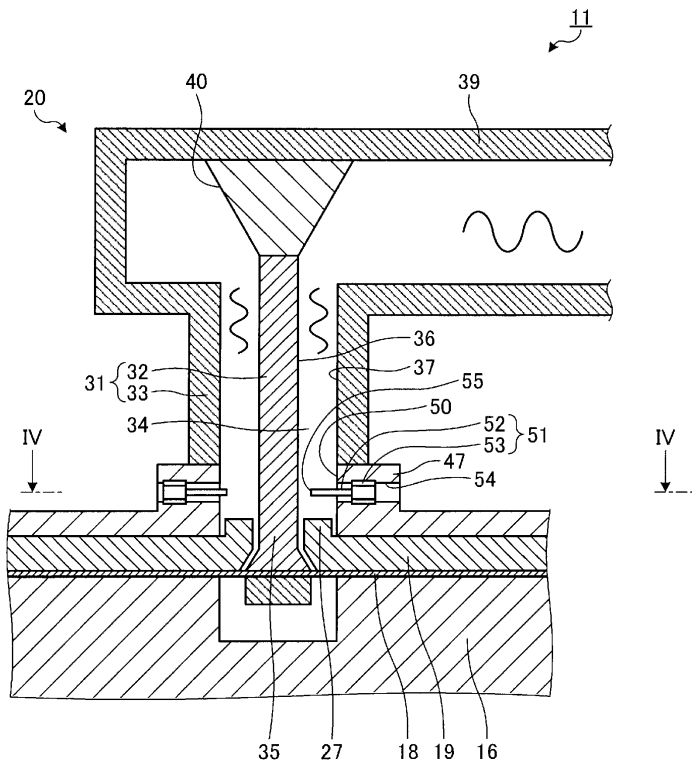
- | | |
|-----------------|-----------------|
| 19: 지파관 | 20: 안테나 |
| 21: 바닥부 | 22: 측벽 |
| 23: 배기 구멍 | 24: O링 |
| 26a: 내주측 슬롯 구멍군 | 26b: 외주측 슬롯 구멍군 |
| 27: 지파관 돌출부 | 28: 중심 |
| 31: 동축 도파관 | 32: 내부 도체 |
| 33: 외부 도체 | 34: 간극 |
| 35, 38: 단부 | 36: 외주면 |
| 37: 내주면 | 39: 도파관 |
| 40: 모드 변환기 | 41: 유전체판 누름 링 |
| 42: 안테나 누름부 | 43: 냉각판 |
| 44: 전자 차폐 탄력체 | 45: 외주 고정 링 |
| 46: 중심 고정판 | 47: 냉각판 돌출부 |
| 48: 지파관 위치 결정부 | 49: 수용 오목부 |
| 50: 내주면 | 51: 스티브 부재 |
| 52: 막대 형상부 | 53: 나사부 |
| 54: 나사 구멍 | 55: 선단부 |
| 61: 통형 유전체 | 61a: 일단 |
| 61b: 타단 | 71: 환형 유전체 |
| 71a: 일단 | 71b: 타단 |
| 81: 환형 도전체 | |

도면

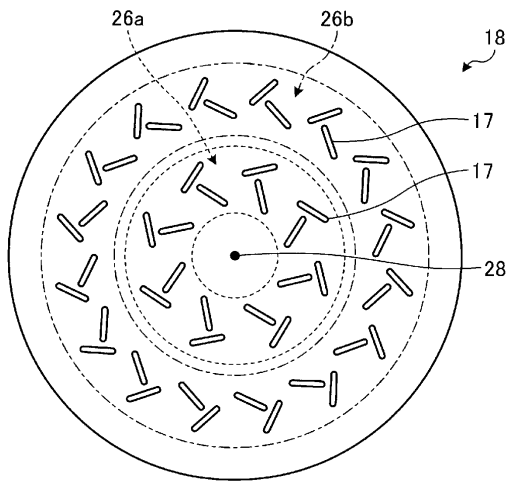
도면1



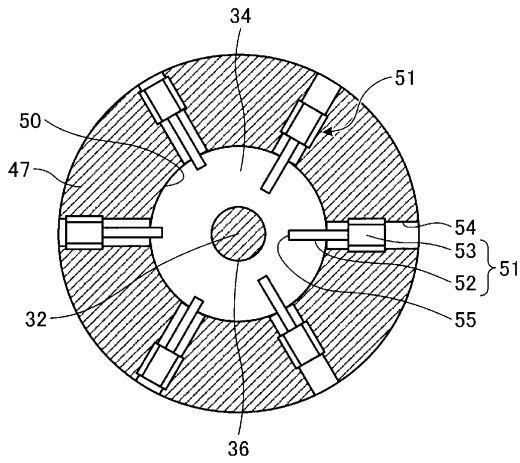
도면2



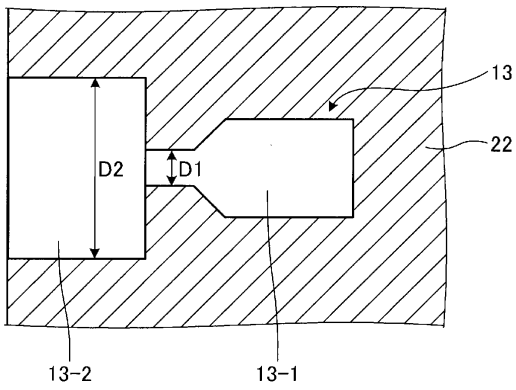
도면3



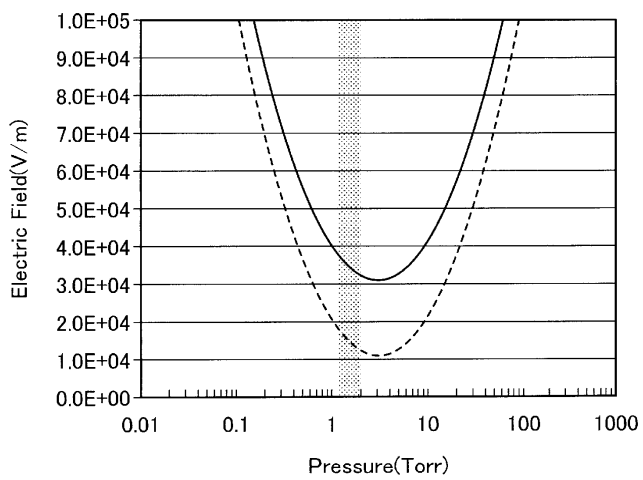
도면4



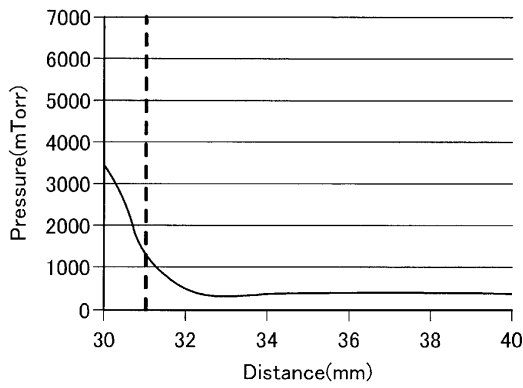
도면5



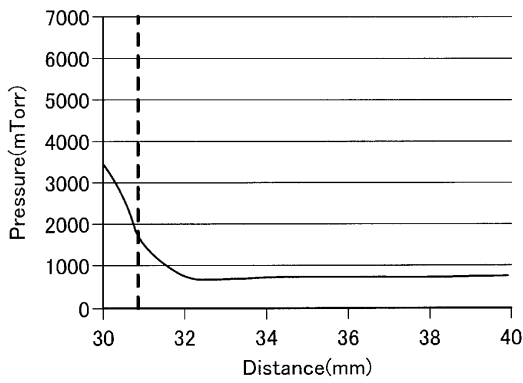
도면6



도면7



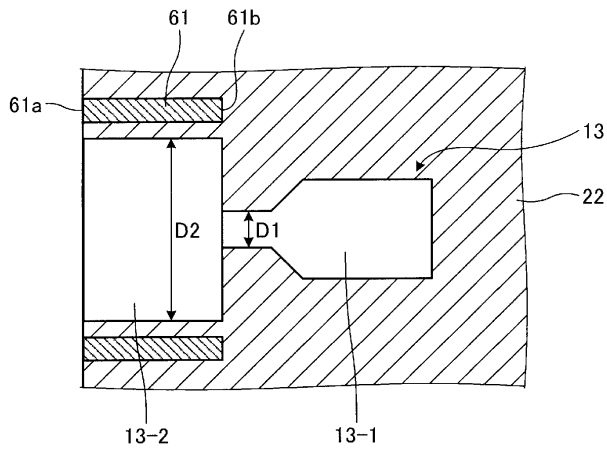
도면8



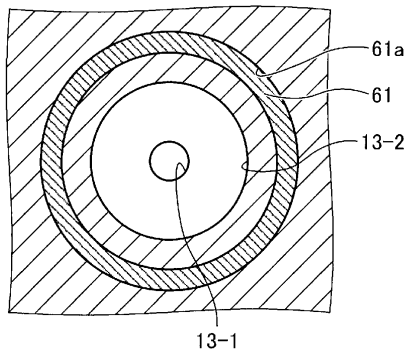
도면9

MW leak rate[%]	구멍 반경	cutoff freq [Hz]	구멍 깊이				
			0mm	5mm	10mm	20mm	30mm
	1mm	8.78E+10	4.26E-04	3.22E-12	1.24E-19	3.97E-34	5.34E-47
	3mm	2.93E+10	6.85E-02	4.07E-05	7.29E-08	2.62E-13	8.81E-19
	5mm	1.76E+10	6.14E-01	5.15E-03	1.21E-04	7.33E-08	4.63E-11
	10mm	8.78E+09	9.97E+00	7.47E-01	1.10E-01	2.99E-03	8.46E-05
	15mm	5.86E+09	2.65E+01	8.85E+00	2.43E+00	2.34E-01	2.45E-02
	20mm	4.39E+09	3.99E+01	3.09E+01	1.73E+01	3.80E+00	8.07E-01
	30mm	2.93E+09	6.11E+01	4.31E+01	2.82E+01	2.00E+01	1.31E+01
	40mm	2.20E+09	7.53E+01	5.69E+01	4.43E+01	2.37E+01	9.23E+00

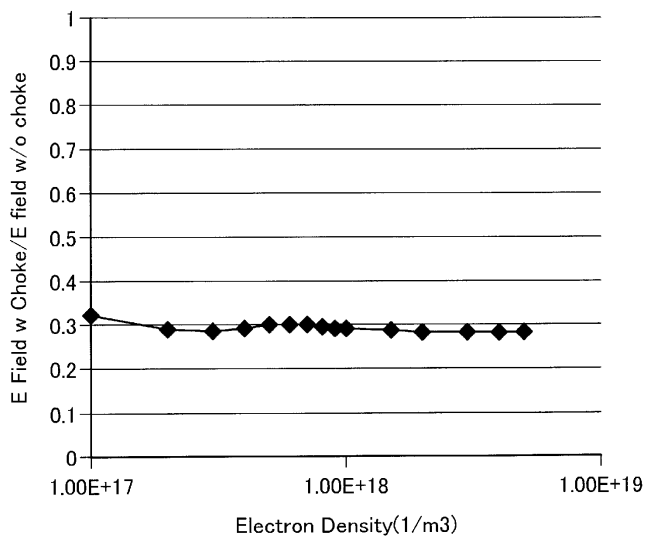
도면10



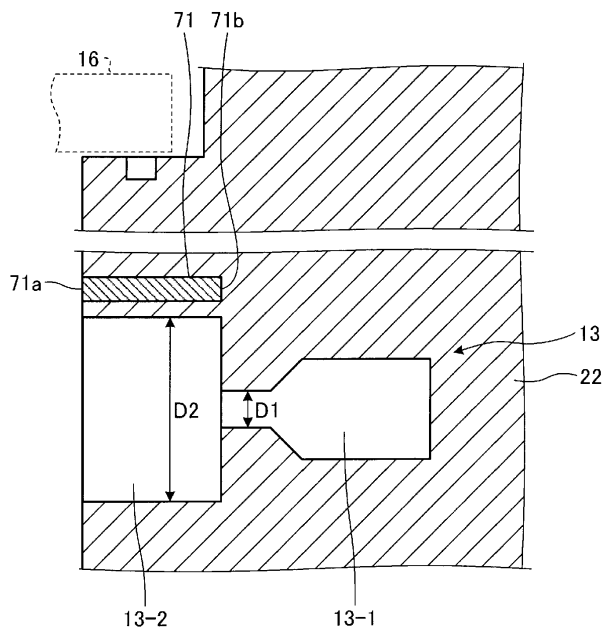
도면11



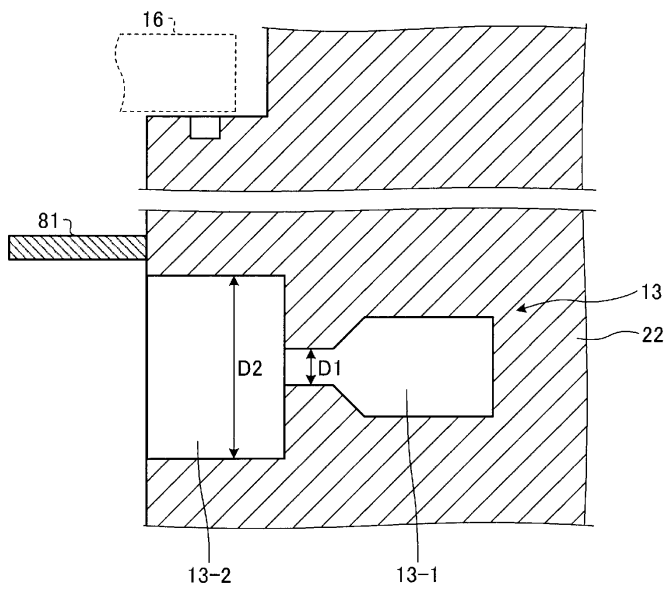
도면12



도면13



도면14



도면15

