



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0003883
(43) 공개일자 2025년01월07일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/32146 (2013.01)
H01J 37/32174 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7038364
- (22) 출원일자(국제) 2023년04월13일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2024년11월18일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2023/015084
- (87) 국제공개번호 WO 2023/210399
국제공개일자 2023년11월02일
- (30) 우선권주장
JP-P-2022-071371 2022년04월25일 일본(JP)

- (71) 출원인
도쿄엘렉트론가부시키가이샤
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1고
- (72) 발명자
홍, 팽카이
대만 30078 신주시 신주 사이언스 파크 두싱 로드
넘버7 도쿄 엘렉트론 타이완 리미티드 내
- (74) 대리인
특허법인에이아이피

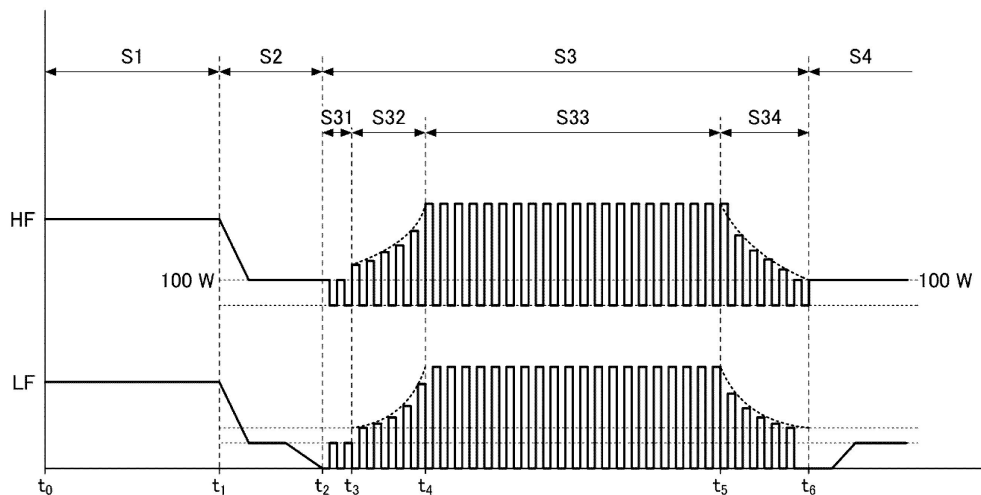
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 플라즈마 처리 장치, 전원 시스템 및 플라즈마 처리 방법

(57) 요약

플라즈마 처리 챔버와, 상기 플라즈마 처리 챔버에 설치되고 기판이 탑재되는 기판 지지부와, 상기 플라즈마 처리 챔버에 처리 가스를 공급하는 가스 공급부와, 상기 플라즈마 처리 챔버 및/또는 상기 기판 지지부에 펄스화된 RF 전력을 공급하여, 상기 처리 가스의 플라즈마를 생성하는 RF 전원과, 펄스화된 상기 RF 전력의 공급을 제어하는 제어 장치를 가지되, 상기 제어 장치는, 펄스화된 상기 RF 전력의 공급 개시 시점으로부터 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 아래로 볼록 함수가 되고, 및/또는, 펄스화된 상기 RF 전력의 피크 종료 시점으로부터 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 상기 RF 전원을 제어하는, 플라즈마 처리 장치가 제공된다.

대표도



(52) CPC특허분류
H01J 37/32715 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

플라즈마 처리 챔버와,

상기 플라즈마 처리 챔버에 설치되고 기관이 탑재되는 기관 지지부와,

상기 플라즈마 처리 챔버에 처리 가스를 공급하는 가스 공급부와,

상기 플라즈마 처리 챔버 및/또는 상기 기관 지지부에 펄스화된 RF 전력을 공급하여, 상기 처리 가스의 플라즈마를 생성하는 RF 전원과,

펄스화된 상기 RF 전력의 공급을 제어하는 제어 장치를 가지되,

상기 제어 장치는,

펄스화된 상기 RF 전력의 공급 개시 시점으로부터 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 아래로 볼록 함수가 되고, 및/또는, 펄스화된 상기 RF 전력의 피크 종료 시점으로부터 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 상기 RF 전원을 제어하는,

플라즈마 처리 장치,

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 RF 전력은, 상기 플라즈마 처리 챔버 또는 상기 기관 지지부에 공급되는 소스 RF 전력 및/또는 상기 기관 지지부에 공급되는 바이어스 RF 전력인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제어 장치는,

상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점에서의 상기 RF 전력 레벨을 A로 하여, 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로부터 상기 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 하기의 식(1) 및 (2)로 나타나는 함수를 만족하도록 상기 RF 전원을 제어하는,

A ≠ 0인 경우,

$$P_w(t) = A \exp^{(at)} \cdot \dots (1)$$

$$a = \ln(P_{\max}/A)/t_{\max} \cdot \dots (2)$$

A = 0인 경우,

$$P_w(t) = \exp^{(at)} - 1 \cdot \dots (1)$$

$$a = \ln(P_{\max}+1)/t_{\max} \cdot \dots (2)$$

t는 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로부터의 시간을, P_w(t)는 상기 공급 개시 시점으로부터 시간 t에서의 RF 전력의 레벨을, P_{max}는 RF 전력 레벨의 피크값(최대값)을, t_{max}는 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로부터 상기 피크 출현 시점까지의 시간을 나타내는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 제어 장치는,

상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점에서의 상기 RF 전력의 레벨을 B로 하여, 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터 상기 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 하기의 식(3) 및 (4)로 나타나는 함수를 만족하도록 상기 RF 전원을 제어하는,

$$Pw(t) = B \exp^{(bt)} \cdot \cdot \cdot (3)$$

$$b = \ln(P_{\min}/B)/t_{\max} \cdot \cdot \cdot (4)$$

t는 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터의 시간을, Pw(t)는 상기 피크 종료 시점으로부터의 시간 t에서의 RF 전력 레벨을, P_{min}은 RF 전력 레벨의 최소값을, t_{max}는 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터 상기 공급 종료 시점까지의 시간을 나타내는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 5

플라즈마 처리 챔버 및 기관 지지부를 갖는 플라즈마 처리 장치에서 사용되는 전원 시스템으로,

상기 플라즈마 처리 챔버 및/또는 상기 기관 지지부에 펄스화된 RF 전력을 공급하고, 처리 가스의 플라즈마를 생성하는 RF 전원과,

펄스화된 상기 RF 전력의 공급을 제어하는 제어 장치를 가지되,

상기 제어 장치는,

펄스화된 상기 RF 전력의 공급 개시 시점으로부터 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 아래로 볼록 함수가 되고, 및/또는, 펄스화된 상기 RF 전력의 피크 종료 시점으로부터 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 상기 RF 전원을 제어하는,

전원 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 RF 전력은, 상기 플라즈마 처리 챔버 또는 상기 기관 지지부에 공급되는 소스 RF 전력 및/또는 상기 기관 지지부에 공급되는 바이어스 RF 전력인, 전원 시스템.

청구항 7

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 제어 장치는,

상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점에서의 상기 RF 전력 레벨을 A로 하여, 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로부터 상기 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 하기의 식(1) 및 (2)로 나타나는 함수를 만족하도록 상기 RF 전원을 제어하는,

A ≠ 0인 경우,

$$Pw(t) = A \exp^{(at)} \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$a = \ln(P_{\max}/A)/t_{\max} \cdot \cdot \cdot (2)$$

A = 0인 경우,

$$Pw(t) = \exp^{(at)} - 1 \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$a = \ln(P_{\max}+1)/t_{\max} \cdot \cdot \cdot (2)$$

t는 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로부터의 시간을, Pw(t)는 상기 공급 개시 시점으로부터 시간 t에서의 RF 전력의 레벨을, P_{max}는 RF 전력 레벨의 피크값(최대값)을, t_{max}는 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로

부터 상기 피크 출현 시점까지의 시간을 나타내는, 전원 시스템.

청구항 8

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 제어 장치는,

상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점에서의 상기 RF 전력의 레벨을 B로 하여, 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터 상기 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 하기의 식(3) 및 (4)로 나타나는 함수를 만족하도록 상기 RF 전원을 제어하는,

$$Pw(t) = B \exp^{(bt)} \cdot \cdot \cdot (3)$$

$$b = \ln(P_{\min}/B)/t_{\max} \cdot \cdot \cdot (4)$$

t는 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터의 시간을, Pw(t)는 상기 피크 종료 시점으로부터의 시간 t에서의 RF 전력 레벨을, P_{min}은 RF 전력 레벨의 최소값을, t_{max}는 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터 상기 공급 종료 시점까지의 시간을 나타내는, 전원 시스템.

청구항 9

플라즈마 처리 챔버와,

상기 플라즈마 처리 챔버에 설치되고 기관이 탑재되는 기관 지지부와,

상기 플라즈마 처리 챔버에 처리 가스를 공급하는 가스 공급부와,

상기 플라즈마 처리 챔버 및/또는 상기 기관 지지부에 펄스화된 RF 전력을 공급하여, 상기 처리 가스의 플라즈마를 생성하는 RF 전원을 갖는 플라즈마 처리 장치가 실행하는 플라즈마 처리 방법으로,

상기 기관을 상기 기관 지지부에 준비하고, 상기 처리 가스의 플라즈마에 의해 상기 기관을 처리하는 것과,

펄스화된 상기 RF 전력의 공급 개시 시점으로부터 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 아래로 블록 함수가 되고, 및/또는, 펄스화된 상기 RF 전력의 피크 종료 시점으로부터 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 아래로 블록 함수가 되도록 상기 RF 전원을 제어하는 것을 포함하는,

플라즈마 처리 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 RF 전력은, 상기 플라즈마 처리 챔버 또는 상기 기관 지지부에 공급되는 소스 RF 전력 및/또는 상기 기관 지지부에 공급되는 바이어스 RF 전력인, 플라즈마 처리 방법.

청구항 11

제9항 또는 제10항에 있어서,

상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점에서의 상기 RF 전력 레벨을 A로 하여, 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로부터 상기 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 하기의 식(1) 및 (2)로 나타나는 함수를 만족하도록 상기 RF 전원을 제어하는,

A ≠ 0인 경우,

$$Pw(t) = A \exp^{(at)} \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$a = \ln(P_{\max}/A)/t_{\max} \cdot \cdot \cdot (2)$$

A = 0인 경우,

$$Pw(t) = \exp^{(at)} - 1 \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$a = \ln(P_{\max}+1)/t_{\max} \cdot \cdot \cdot (2)$$

t는 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로부터의 시간을, Pw(t)는 상기 공급 개시 시점으로부터 시간 t에서의 RF 전력의 레벨을, P_{max}는 RF 전력 레벨의 피크값(최대값)을, t_{max}는 상기 RF 전력의 상기 공급 개시 시점으로부터 상기 피크 출현 시점까지의 시간을 나타내는, 플라즈마 처리 방법.

청구항 12

제9항 또는 제10항에 있어서,

상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점에서의 상기 RF 전력의 레벨을 B로 하여, 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터 상기 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 하기의 식(3) 및 (4)로 나타나는 함수를 만족하도록 상기 RF 전원을 제어하는,

$$Pw(t) = B \exp^{(bt)} \cdot \cdot \cdot (3)$$

$$b = \ln(P_{\min}/B)/t_{\max} \cdot \cdot \cdot (4)$$

t는 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터의 시간을, Pw(t)는 상기 피크 종료 시점으로부터의 시간 t에서의 RF 전력 레벨을, P_{min}은 RF 전력 레벨의 최소값을, t_{max}는 상기 RF 전력의 상기 피크 종료 시점으로부터 상기 공급 종료 시점까지의 시간을 나타내는, 플라즈마 처리 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 플라즈마 처리 장치, 전원 시스템 및 플라즈마 처리 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 예를 들면 특허문헌 1은, SiC 막을 베이스막으로 하여 SiOC 계 Low-k 막 등을 에칭하는 방법을 제공한다. 이 에칭 방법에서는, RF 전원의 전력을 제2 전력의 값까지 슬로우 업한 후 전력 변조 모드로 전환한다. 또한 가변 직류 전원의 직류 전압을 슬로우 업한다. 이들 중 어느 하나를 이와 같이 슬로우 업함으로써, 웨이퍼나 전원에 대한 손상을 경감시킬 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 일본특허공개 제2009-33080호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 개시는 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있는 기술을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 개시의 일 양태에 따르면, 플라즈마 처리 챔버와, 상기 플라즈마 처리 챔버에 설치되고 기판이 탑재되는 기판 지지부와, 상기 플라즈마 처리 챔버에 처리 가스를 공급하는 가스 공급부와, 상기 플라즈마 처리 챔버 및/또는 상기 기판 지지부에 펄스화된 RF 전력을 공급하여, 상기 처리 가스의 플라즈마를 생성하는 RF 전원과, 펄스화된 상기 RF 전력의 공급을 제어하는 제어 장치를 가지되, 상기 제어 장치는, 펄스화된 상기 RF 전력의 공급 개시 시점으로부터 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 아래로 볼록 함수가 되는, 및/또는, 펄스화된 상기 RF 전력의 피크 종료 시점으로부터 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 상기 RF 전원을 제어하는, 플라즈마 처리 장치가 제공된다.

발명의 효과

[0006] 일 측면에 따르면 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 실시형태와 관련된 플라즈마 처리 장치의 일례를 나타낸 도면이다.

도 2는 참고예의 RF 전력의 연속파와 펄스파의 이행 시퀀스 예를 나타낸 도면이다.

도 3은 실시형태와 관련된 RF 전력의 연속파와 펄스파의 이행 시퀀스 예를 나타낸 도면이다.

도 4는 램프 업 기간의 참고예의 RF 펄스의 전력 레벨의 증가 함수를 나타낸 도면이다.

도 5는 램프 업 기간의 실시형태의 RF 펄스의 전력 레벨 증가 함수를 나타낸 도면이다.

도 6은 램프 다운 기간의 실시형태의 RF 펄스의 전력 레벨 감소 함수를 나타낸 도면이다.

도 7은 실시형태와 관련된 플라즈마 처리 방법의 일례를 나타낸 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 이하에서는 도면을 참조하여 본 개시를 실시하기 위한 형태에 대해 설명한다. 각 도면에서 동일한 구성 부분에는 동일한 부호를 붙였으며, 중복되는 설명은 생략하기도 하였다.

[0009] 본 명세서에서 평행, 직각, 직교, 수평, 수직, 상하, 좌우 등의 방향에는, 실시형태의 효과를 손상시키지 않는 정도의 어긋남이 허용된다. 모서리부의 형상은 직각으로 한정되지 않으며, 아치형으로 둥글 수도 있다. 평행, 직각, 직교, 수평, 수직, 원, 일치에는, 대략 평행, 대략 직각, 대략 직교, 대략 수평, 대략 수직, 대략 원, 대략 일치가 포함될 수도 있다.

[0010] [플라즈마 처리 장치]

[0011] 이하에서는 플라즈마 처리 장치의 구성예에 대해 설명한다. 도 1은 용량 결합형 플라즈마 처리 장치의 구성예를 설명하기 위한 도면이다.

[0012] 플라즈마 처리 장치(1)는 용량 결합형 플라즈마 처리 장치로, 플라즈마 처리 챔버(10), 가스 공급부(20), 전원(30), 배기 시스템(40) 및 제어부(2)를 포함한다. 또한 플라즈마 처리 장치(1)는, 기관 지지부(11) 및 가스 도입부를 포함한다. 가스 도입부는, 적어도 하나의 처리 가스를 플라즈마 처리 챔버(10) 내로 도입하도록 구성된다. 가스 도입부는 샤워 헤드(13)를 포함한다. 기관 지지부(11)는 플라즈마 처리 챔버(10) 내에 배치된다. 샤워 헤드(13)는 기관 지지부(11)의 상방에 배치된다. 일 실시형태에서 샤워 헤드(13)는, 플라즈마 처리 챔버(10)의 천장부(ceiling)의 적어도 일부를 구성한다. 플라즈마 처리 챔버(10)는, 샤워 헤드(13), 플라즈마 처리 챔버(10)의 측벽(10a) 및 기관 지지부(11)로 규정된 플라즈마 처리 공간(10s)을 갖는다. 플라즈마 처리 챔버(10)는, 적어도 하나의 처리 가스를 플라즈마 처리 공간(10s)으로 공급하기 위한 적어도 하나의 가스 공급구와, 플라즈마 처리 공간으로부터 가스를 배출하기 위한 적어도 하나의 가스 배출구를 갖는다. 플라즈마 처리 챔버(10)는 접지된다. 샤워 헤드(13) 및 기관 지지부(11)와 플라즈마 처리 챔버(10)의 하우징은 전기적으로 절연된다.

[0013] 기관 지지부(11)는 본체부(111) 및 링 어셈블리(112)를 포함한다. 본체부(111)는 기관(W)을 지지하기 위한 중앙 영역(111a)과, 링 어셈블리(112)를 지지하기 위한 고리형 영역(111b)을 갖는다. 웨이퍼는 기관(W)의 일레이다. 본체부(111)의 고리형 영역(111b)은, 평면에서 봤을 때 본체부(111)의 중앙 영역(111a)을 둘러싸고 있다. 기관(W)은 본체부(111)의 중앙 영역(111a) 상에 배치되고, 링 어셈블리(112)는 본체부(111)의 중앙 영역(111a) 상의 기관(W)을 둘러싸도록 본체부(111)의 고리형 영역(111b) 상에 배치된다. 따라서, 중앙 영역(111a)은 기관(W)을 지지하기 위한 기관 지지면이라고 불리기도 하며, 고리형 영역(111b)은 링 어셈블리(112)를 지지하기 위한 링 지지면이라고 불리기도 한다.

[0014] 일 실시형태에서 본체부(111)는, 베이스(1110) 및 정전 척(1111)을 포함한다. 베이스(1110)는 도전성 부재를 포함한다. 베이스(1110)의 도전성 부재는 하부 전극으로서 기능할 수 있다. 정전 척(1111)은 베이스(1110) 상에 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 갖는다. 일 실시형태에서 세라믹 부재(1111a)는 고리형 영역(111b)도 갖는다. 아울러 고리형 정전 척이나 고리형 절연 부재와 같은, 정전 척(1111)을 둘러싸는 다른 부재가

고리형 영역(111b)을 가질 수도 있다. 이 경우, 링 어셈블리(112)는 고리형 정전 척 또는 고리형 절연 부재 상에 배치될 수도 있고, 정전 척(111)과 고리형 절연 부재 상에 모두 배치될 수도 있다. 또한 후술하는 RF(Radio Frequency) 전원(31) 및/또는 DC(Direct Current) 전원(32)에 결합되는 적어도 하나의 RF/DC 전극이 세라믹 부재(111a) 내에 배치될 수도 있다. 이 경우, 적어도 하나의 RF/DC 전극이 하부 전극으로서 기능한다. 후술하는 바이어스 RF 신호 및/또는 DC 신호가 적어도 하나의 RF/DC 전극에 공급되는 경우, RF/DC 전극은 바이어스 전극이라고도 불린다. 아울러 베이스(1110)의 도전성 부재와 적어도 하나의 RF/DC 전극이 복수의 하부 전극으로서 기능할 수도 있다. 또한 정전 전극(111b)이 하부 전극으로서 기능할 수도 있다. 따라서 기판 지지부(11)는 적어도 하나의 하부 전극을 포함한다.

[0015] 링 어셈블리(112)는 하나 또는 복수의 고리형 부재를 포함한다. 일 실시형태에서 하나 또는 복수의 고리형 부재는, 하나 또는 복수의 엣지 링과 적어도 하나의 커버 링을 포함한다. 엣지 링은 도전성 재료 또는 절연 재료로 형성되며, 커버 링은 절연 재료로 형성된다.

[0016] 또한 기판 지지부(11)는, 정전 척(111), 링 어셈블리(112) 및 기판 중 적어도 하나를 타겟 온도로 조절하도록 구성되는 온도 조절 모듈을 포함할 수도 있다. 온도 조절 모듈은, 히터, 열 전달 매체, 유로(1110a), 또는 이들의 조합을 포함할 수도 있다. 유로(1110a)에는, 염수나 가스와 같은 열 전달 유체가 흐른다. 일 실시형태에서는 유로(1110a)가 베이스(1110) 내에 형성되며, 하나 또는 복수의 히터가 정전 척(111)의 세라믹 부재(111a) 내에 배치된다. 또한 기판 지지부(11)는, 기판(W)의 이면과 중앙 영역(111a) 사이의 간극에 열 전달 가스를 공급하도록 구성된 열 전달 가스 공급부를 포함할 수도 있다.

[0017] 샤워 헤드(13)는, 가스 공급부(20)로부터 적어도 하나의 처리 가스를 플라즈마 처리 공간(10s) 내로 도입하도록 구성된다. 샤워 헤드(13)는, 적어도 하나의 가스 공급구(13a), 적어도 하나의 가스 확산실(13b) 및 복수의 가스 도입구(13c)를 갖는다. 가스 공급구(13a)에 공급된 처리 가스는, 가스 확산실(13b)을 통과하여 복수의 가스 도입구(13c)로부터 플라즈마 처리 공간(10s) 내로 도입된다. 또한 샤워 헤드(13)는, 적어도 하나의 상부 전극을 포함한다. 아울러 가스 도입부는, 샤워 헤드(13)에 추가로, 측벽(10a)에 형성된 하나 또는 복수의 개구부에 장착되는 하나 또는 복수의 사이드 가스 주입부(SGI: Side Gas Injector)를 포함할 수도 있다.

[0018] 가스 공급부(20)는, 적어도 하나의 가스 소스(21) 및 적어도 하나의 유량 제어기(22)를 포함할 수도 있다. 일 실시형태에서 가스 공급부(20)는, 적어도 하나의 처리 가스를, 각각에 대응되는 가스 소스(21)로부터 각각에 대응되는 유량 제어기(22)를 통해 샤워 헤드(13)로 공급하도록 구성된다. 각 유량 제어기(22)는 예를 들면 질량 유량 제어기 또는 압력 제어식 유량 제어기를 포함할 수도 있다. 또한 가스 공급부(20)는, 적어도 하나의 처리 가스의 유량을 변조 또는 펄스화하는 하나 또는 그 이상의 유량 변조 디바이스를 포함할 수도 있다.

[0019] 전원(30)은, 적어도 하나의 임피던스 정합 회로를 통해 플라즈마 처리 챔버(10)에 결합되는 RF 전원(31)을 포함한다. RF 전원(31)은, 적어도 하나의 RF 신호(RF 전력)를, 적어도 하나의 하부 전극 및/또는 적어도 하나의 상부 전극에 공급하도록 구성된다. 이에 따라, 플라즈마 처리 공간(10s)에 공급된 적어도 하나의 처리 가스로부터 플라즈마가 형성된다. 따라서 RF 전원(31)은, 플라즈마 처리 챔버(10)에서 하나 또는 그 이상의 처리 가스로부터 플라즈마를 생성하도록 구성되는 플라즈마 생성부의 적어도 일부로서 기능할 수 있다. 또한 바이어스 RF 신호를 적어도 하나의 하부 전극에 공급함으로써, 기판(W)에 바이어스 전위가 발생하여, 형성된 플라즈마 중의 이온 성분을 기판(W)으로 인입할 수 있다.

[0020] 일 실시형태에서 RF 전원(31)은, 제1 RF 생성부(31a) 및 제2 RF 생성부(31b)를 포함한다. 제1 RF 생성부(31a)는, 적어도 하나의 임피던스 정합 회로를 통해 적어도 하나의 하부 전극 및/또는 적어도 하나의 상부 전극과 결합하여, 플라즈마 생성용 소스 RF 신호(소스 RF 전력)를 생성하도록 구성된다. 일 실시형태에서 소스 RF 신호는, 10 MHz 내지 150 MHz 범위의 주파수를 갖는다. 일 실시형태에서 제1 RF 생성부(31a)는, 상이한 주파수를 갖는 복수의 소스 RF 신호를 생성하도록 구성될 수도 있다. 생성된 하나 또는 복수의 소스 RF 신호는, 적어도 하나의 하부 전극 및/또는 적어도 하나의 상부 전극에 공급된다.

[0021] 제2 RF 생성부(31b)는, 적어도 하나의 임피던스 정합 회로를 통해 적어도 하나의 하부 전극과 결합하여, 바이어스 RF 신호(바이어스 RF 전력)를 생성하도록 구성된다. 바이어스 RF 신호의 주파수는, 소스 RF 신호의 주파수와 동일할 수도 있고 상이할 수도 있다. 일 실시형태에서 바이어스 RF 신호는, 소스 RF 신호의 주파수보다 낮은 주파수를 갖는다. 일 실시형태에서 바이어스 RF 신호는, 100 kHz 내지 60 MHz 범위의 주파수를 갖는다. 일 실시형태에서 제2 RF 생성부(31b)는, 상이한 주파수를 갖는 복수의 바이어스 RF 신호를 생성하도록 구성될 수도 있다. 생성된 하나 또는 복수의 바이어스 RF 신호는, 적어도 하나의 하부 전극에 공급된다. 또한 다양한 실시형태에서, 소스 RF 신호 및 바이어스 RF 신호 중 적어도 하나가 펄스화될 수도 있다.

- [0022] 또한 전원(30)은, 플라즈마 처리 챔버(10)에 결합되는 DC 전원(32)을 포함할 수도 있다. DC 전원(32)은 제1 DC 생성부(32a) 및 제2 DC 생성부(32b)를 포함한다. 일 실시형태에서 제1 DC 생성부(32a)는, 적어도 하나의 하부 전극에 접속되어, 제1 DC 신호를 생성하도록 구성된다. 생성된 제1 바이어스 DC 신호는, 적어도 하나의 하부 전극에 인가된다. 일 실시형태에서 제2 DC 생성부(32b)는, 적어도 하나의 상부 전극에 접속되어 제2 DC 신호를 생성하도록 구성된다. 생성된 제2 DC 신호는, 적어도 하나의 상부 전극에 인가된다.
- [0023] 다양한 실시형태에서 제1 및 제2 DC 신호 중 적어도 하나가 펄스화될 수도 있다. 이 경우, 전압 펄스의 시퀀스가 적어도 하나의 하부 전극 및/또는 적어도 하나의 상부 전극에 인가된다. 전압 펄스는 직사각형, 사다리꼴, 삼각형 또는 이들 조합의 펄스 파형을 가질 수도 있다. 일 실시형태에서는, DC 신호로부터 전압 펄스들의 시퀀스를 생성하기 위한 파형 생성부가 제1 DC 생성부(32a)와 적어도 하나의 하부 전극 사이에 접속된다. 따라서, 제1 DC 생성부(32a) 및 파형 생성부는, 전압 펄스 생성부를 구성한다. 제2 DC 생성부(32b) 및 파형 생성부가 전압 펄스 생성부를 구성하는 경우, 전압 펄스 생성부는 적어도 하나의 상부 전극에 접속된다. 전압 펄스는 양의 극성을 가질 수도 있고 음의 극성을 가질 수도 있다. 또한 전압 펄스의 시퀀스는, 1주기 내에 하나 또는 복수의 양극성 전압 펄스와 하나 또는 복수의 음극성 전압 펄스를 포함할 수도 있다. 덧붙여, 제1 DC 생성부(32a) 및 제2 DC 생성부(32b)는 RF 전원(31)에 추가로 설치될 수도 있고, 제1 DC 생성부(32a)가 제2 RF 생성부(31b) 대신 설치될 수도 있다.
- [0024] 배기 시스템(40)은, 예를 들면 플라즈마 처리 챔버(10)의 바닥부에 설치된 가스 배출구(10e)에 접속될 수 있다. 배기 시스템(40)은, 압력 조정 밸브 및 진공 펌프를 포함할 수도 있다. 압력 조정 밸브에 의해 플라즈마 처리 공간(10s) 내의 압력이 조정된다. 진공 펌프는 터보 분자 펌프, 드라이 펌프 또는 이들의 조합을 포함할 수도 있다.
- [0025] 제어 장치(2)는, 본 개시에서 설명한 각종 공정을 플라즈마 처리 장치(1)에 실행시키는 컴퓨터로 실행 가능한 명령을 처리한다. 제어 장치(2)는, 여기에서 설명하는 각종 공정을 실행하도록 플라즈마 처리 장치(1)의 각 요소를 제어하도록 구성될 수 있다. 예를 들어 제어 장치(2)는, 연속파로부터 펄스파 및 펄스파로부터 연속파로 이행할 때의 RF 전력의 공급을 제어할 수도 있다. 일 실시형태에서 제어 장치(2)의 일부 또는 전부는, 플라즈마 처리 장치(1)에 포함될 수도 있다. 제어 장치(2)는, 처리부(2a1), 기억부(2a2) 및 통신 인터페이스(2a3)를 포함할 수도 있다. 제어 장치(2)는 예를 들면 컴퓨터(2a)에 의해 실현된다. 처리부(2a1)는, 기억부(2a2)로부터 프로그램을 판독하고, 판독된 프로그램을 실행함으로써 각종 제어 동작을 수행하도록 구성될 수 있다. 이 프로그램은, 미리 기억부(2a2)에 저장되어 있을 수도 있고, 필요한 때에 매체를 통하여 취득될 수도 있다. 취득된 프로그램은 기억부(2a2)에 저장되며, 처리부(2a1)에 의해 기억부(2a2)로부터 판독되어 실행된다. 매체는, 컴퓨터(2a)로 판독 가능한 각종 기억 매체일 수도 있고, 통신 인터페이스(2a3)에 접속된 통신 회선일 수도 있다. 처리부(2a1)는, CPU(Central Processing Unit)일 수도 있다. 기억부(2a2)는, RAM(Random Access Memory), ROM(Read Only Memory), HDD(Hard Disk Drive), SSD(Solid State Drive), 또는 이들의 조합을 포함할 수도 있다. 통신 인터페이스(2a3)는, LAN(Local Area Network) 등의 통신 회선을 통해 플라즈마 처리 장치(1)와 통신할 수도 있다.
- [0026] [RF 전력의 이행 시퀀스]
- [0027] RF 전력이 연속파로부터 펄스파로 이행하는 경우 및 펄스파로부터 연속파로 이행하는 경우의 시퀀스에 대해, 도 2 및 도 3을 참조하면서 설명한다. 도 2는 참고예의 RF 전력의 연속파와 펄스파의 이행 시퀀스 예를 나타낸 도면이다. 도 3은 실시형태와 관련된 RF 전력의 연속파와 펄스파의 이행 시퀀스 예를 나타낸 도면이다. 아울러 도 2 및 도 3에는 RF 전력의 제어 조건만이 나타나 있고, 처리 가스나 챔버 내의 압력 등의 제어 조건에 대해서는 나타나 있지 않으나, 도 2 및 도 3의 시각 t_0 ~ 시각 t_6 의 기간 및 시각 t_6 이후의 기간, 본 실시형태의 기관 처리에 사용하는 레시피에 설정된 제어 조건에 따라, 기관(W)이 플라즈마 처리된다.
- [0028] 이하에서는, RF 전력의 펄스파를 'RF 펄스'라고 하는 경우도 있다. 또한 RF 전력 중, RF 소스 전력을 'HF' 또는 'HF 전력'이라고 하는 경우도 있으며, HF의 펄스파를 'HF 펄스'라고 하는 경우도 있다. 또한 RF 바이어스 전력을 'LF' 또는 'LF 전력'이라고 하는 경우도 있으며, LF의 펄스파를 'LF 펄스'라고 하는 경우도 있다. 도 2 및 도 3은 기관에 플라즈마 처리를 할 때의 HF 및 LF의 공급 시퀀스의 일례를 나타내는데, 각 도면의 가로축은 시간을 나타내고, 세로축은 전력(와트)을 나타낸다. 아울러 도 2 및 도 3에 기재된 전력값은 일례이므로, 이것으로 한정되지 않는다. 도 2 및 도 3 중 어느 것도, 시각 t_0 ~ 시각 t_1 의 기간 S1은, HF 및 LF 모두 연속파이며, 연속적으로 각 전력을 공급하여 처리 가스의 플라즈마가 생성된다. 시각 t_1 ~ 시각 t_2 의 기간 S2는, HF 및 LF 모

두 기간 S1보다 전력 레벨이 낮은 연속파의 전력을 공급하여, 플라즈마의 생성을 계속한다. 시각 t_2 에서 HF 및 LF는 모두 연속파로부터 펄스파로 이행한다. 시각 $t_2 \sim$ 시각 t_6 의 기간 S3는, HF 및 LF 모두 펄스파의 전력을 공급한다. 기간 S3 동안, HF 펄스는 하이(High) 및 로우(Low)의 2 레벨의 전력을 공급하고, LF 펄스는 온(On) 및 오프(Off)의 2 레벨의 전력을 공급한다. 단, HF 펄스 및 LF 펄스는 하이 및 로우의 2 레벨의 전력, 온 및 오프의 2 레벨의 전력 중 임의의 펄스파일 수도 있다.

[0029] 기간 S3 중, 시각 $t_2 \sim$ 시각 t_3 의 기간 S31 동안, HF 펄스 및 LF 펄스 모두는 하이 또는 온일 때의 전력 레벨이 플랫(일정)하다. 시각 $t_3 \sim$ 시각 t_4 의 기간 S32 에서는, HF 펄스 및 LF 펄스의 전력 레벨이 증가한다. 시각 t_4 에서 HF 펄스 및 LF 펄스의 전력 레벨은 피크(최대)에 도달한다. 그리고 시각 $t_4 \sim$ 시각 t_5 의 기간 S33에서는, HF 펄스 및 LF 펄스의 전력 레벨이 피크값(최대값)을 유지한다. 시각 $t_5 \sim$ 시각 t_6 의 기간 S34에서는, HF 펄스 및 LF 펄스의 전력 레벨이 감소한다. 시각 t_6 에서 HF 및 LF는 모두 펄스파로부터 연속파로 이행하며, 시각 t_6 이후의 기간 S4에서는 HF 및 LF가 모두 연속파가 된다.

[0030] 도 2 및 도 3 모두에서 기간 S32는 HF 펄스 및 LF 펄스가 동기화되어 증가하는 기간이며, 본 명세서에서는 '램프 업(Ramp up) 기간'이라고 한다. 기간 S34는 HF 펄스와 LF 펄스가 동기화되어 감소하는 기간이며, 본 명세서에서는 '램프 다운(Ramp down) 기간'이라고 한다. 단, HF 펄스 및 LF 펄스의 기간 S32 및 기간 S34의 개시 시점은, 완전히 동기화되지 않고 어긋남(오프셋)이 있을 수도 있다.

[0031] 도 2 및 도 3 모두에서, 기간 S2로부터 기간 S3로 이행할 때, 즉 HF 및 LF가 연속파로부터 펄스파로 이행할 때, 플라즈마는 계속 생성(점화)된 상태이며, 플라즈마는 소실되지 않는다. 마찬가지로, 기간 S3에서 기간 S4로 이행할 때, 즉, HF 및 LF가 펄스파로부터 연속파로 이행할 때, 플라즈마는 생성된 상태이며, 플라즈마는 소실되지 않는다.

[0032] 도 2 및 도 3 모두에서 램프업 기간 S32에서는, HF 펄스 및 LF 펄스의 공급 개시 시점(램프 업 개시 시점, 시각 t_3)으로부터 피크 출현 시점(램프 업 종료 시점, 시각 t_4)까지의 전력 레벨은 증가 함수이다. 그러나 램프 업 기간이, 시각 t_2 에서 시작하여 기간 S31과 기간 S32로 이루어지는 경우, 램프 업 기간의 전력 레벨은, 처음에는 플랫하고 그 후 증가 함수가 된다. 아울러 램프 업 기간이 시각 t_2 에서 시작하면, HF 펄스 및 LF 펄스의 공급 개시 시점(램프 업 개시 시점)은 시각 t_2 이다. 본 실시형태에서는, HF 펄스 및 LF 펄스의 공급 개시 시점(램프 업 개시 시점)을 시각 t_3 로 하여 설명을 계속한다.

[0033] 도 2에 나타난 참고예의 램프 업 기간 S32는, 도 2의 S32의 점선으로 나타난 것처럼 HF 펄스 및 LF 펄스의 전력 레벨이 선형적(직선적)으로 증가한다. 이에 비해, 도 3에 나타난 실시형태의 램프 업 기간 S32는, 도 3의 S32의 점선으로 나타난 것처럼 HF 펄스 및 LF 펄스의 전력 레벨이 지수 함수적으로 증가한다. 즉, 참고예의 HF 펄스 및 LF 펄스에서는, 램프 업 기간 S32의 전력 레벨이 단조 증가하는데 비해, 실시형태의 HF 펄스 및 LF 펄스에서는 램프 업 기간 S32의 전력 레벨이 처음에는 천천히 증가하며, 그 후 가파르게 증가한다.

[0034] 램프 다운에 대해서도 마찬가지로, 도 2에 나타난 참고예의 램프 다운 기간 S34는, 도 2의 S34의 점선으로 나타난 것처럼 HF 펄스 및 LF 펄스의 전력 레벨이 선형적(직선적)으로 감소한다. 이에 비해 도 3에 나타난 실시형태의 램프 다운 기간 S34는, 도 3의 S34의 점선으로 나타난 것처럼 HF 및 LF 펄스의 전력 레벨이 지수 함수적으로 감소한다. 즉, 참고예의 HF 펄스 및 LF 펄스에서는, 램프 다운 기간 S34의 전력 레벨이 단조 감소하는데 비해, 실시형태의 HF 펄스 및 LF 펄스에서는, 램프 다운 기간 S34의 전력 레벨이 처음에는 급격히 감소하며, 그 후 완만하게 감소한다. 아울러 램프 업 및 램프 다운에서, HF 펄스 및 LF 펄스의 전력 레벨을 단계적으로 증가 및 감소시키는 횟수는 예를 들면 10회일 수도 있고, 그 밖의 횟수일 수도 있다.

[0035] [램프 업 기간 및 램프 다운 기간의 RF 제어]

[0036] (램프업 기간의 RF 제어)

[0037] 다음으로, 도 2에 나타난 참고예 및 도 3에 나타난 실시형태의 램프 업 기간 S32 및 램프 다운 기간 S34에서의 RF 펄스의 제어와 반사파의 실험 결과에 대해, 도 4 내지 도 6을 참조하여 설명한다. 먼저, 램프 업 기간 S32에서의 RF 펄스의 제어와 반사파의 실험 결과에 대해 설명한다. 도 4는 램프 업 기간 S32에서의 참고예의 RF 펄스의 전력 레벨의 증가 함수와 반사파의 일례를 나타낸 도면이다. 도 5는 램프업 기간 S32에서의 실시형태의 RF 펄스의 전력 레벨의 증가 함수와 반사파의 일례를 나타낸 도면이다. 여기에서는 주파수가 40MHz인 HF를 사용한

경우의 실험 결과를 나타낸다.

- [0038] 도 4(a), 도 5(a) 및 (b)의 가로축은 RF 펄스(HF 펄스)의 전력 레벨을 단계적으로 증가시키는 횟수를 나타내고, 세로축은 전력(W)을 나타낸다. 참고예의 RF의 전력 제어에서는, 램프 업 기간 S32에 도 4(a)의 Pw(ref)에 나타난 것처럼, HF 전력이 단조 증가하도록 RF 전원(31)을 제어했다. 이 때의 증가 함수는, $Pw(ref) = cx+d$ 로 나타낼 수 있다. 'c'는 도 4(a)에 나타난 HF 전력 Pw(ref)의 직선 기울기($c > 0$), 즉, 램프 업 기간 중의 전력 Pw(ref)의 변동 속도를 제어하는 파라미터이다. 'd'는 램프 업 기간의 개시 시점의 HF의 전력 레벨, 즉, 가로축이 0일 때의 HF의 전력 레벨이다.
- [0039] 도 4(a)의 가로축의 횟수는, 도 2의 시각 t_3 에 나타난 펄스화된 HF 전력의 공급 개시 시점(램프 업 기간의 개시 시점)부터 시각 t_4 에 나타난 피크 출현 시점(램프 업 기간의 종료 시점)까지의 시간에 HF의 전력 레벨을 단계적으로 올릴 때의 횟수이다. 도 4(a)의 예에서는, 참고예의 HF 전력 Pw(ref)은, 공급 개시 시점(시각 t_3)에서 설정된 100W부터 피크 출현 시점(시각 t_4)에서의 1000W까지 제어된다. 도 4(a)에 나타난 참고예의 HF 전력 Pw(ref)의 제어 결과, 발생한 반사파 R(ref)를 도 4(b)에 나타낸다. 도 4(b)의 가로축은 시간을 나타내며, 도 4(a)의 가로축의 횟수에 대응된다. 예를 들어 도 4(a)의 가로축의 '0회'와 도 4(b)의 가로축의 '26초'가 대응하고, 도 4(a)의 가로축의 '10회'와 도 4(b)의 가로축의 '28초'가 대응한다. 도 4(b)의 세로축(오른쪽)은 HF의 반사파(%)를 나타내고, 세로축(왼쪽)은 HF의 전력(진행파의 전력)(W)을 나타낸다. HF의 반사파(%)는, 공급한 HF의 진행파에 대한 HF의 반사파의 비율을 백분율(%)로 나타낸 것이다.
- [0040] 도 4(b)에 나타난 것처럼, 램프 업 기간 S32의 초기(26초 ~ 27초)에 HF의 반사파 R(ref)의 백분율이 15% 정도로 높았으나, 그 후, 27초 이후에서는 거의 0%가 되었다. 즉, 참고예에서는 램프 업 기간 S32의 초기에 HF의 반사파가 생기기 쉽다는 것을 알았다.
- [0041] 이에 대해 본 실시형태의 RF의 전력 제어에서는, 램프 업 기간 S32에서, 도 5(a)의 Pw(recipe)에 나타난 것처럼, HF 전력이 본 실시형태의 기관 처리에 사용하는 레시피에 설정된 곡선이 되도록, 즉 HF 전력이 지수 함수적으로 증가하도록 RF 전원(31)을 제어했다.
- [0042] 도 5(a)의 Pw(recipe)를 목표값으로 하여 HF 전력을 제어하고, 실제로 세 장의 기관(W)을 처리했을 때의 램프 업 기간 S32에서의 HF 전력의 실측값(도시 생략)을 예측했다. 도 5(b)에 나타난 HF 전력 Pw는, 후술하는 식(1) 및 식(2)로 나타나는 함수의 Pw(t)에 실측값을 대입하고, 이에 따라 산출한 계수 a에 의한 $Pw(t) = Aexp^{(at)}$ 의 함수의 그래프이다. 계수 'a'는 HF 전력 Pw의 램프 업 기간에서의 변동 속도를 제어하는 파라미터이다. 'A'는 램프 업 기간의 개시 시점에서의 RF 전력의 레벨이며, t는 램프 업 기간의 개시 시점으로부터의 시간을 나타낸다.
- [0043] 도 5(a) 및 (b)의 가로축의 횟수는, 도 3의 시각 t_3 에 나타난 램프업 개시 시점으로부터 시각 t_4 에 나타난 램프 업 종료 시점(피크 출현 시점)까지의 시간에 HF의 전력 레벨을 단계적으로 올릴 때의 횟수이다. 도 5(b)의 예에서는, 실시형태의 HF 전력 Pw는 공급 개시 시점(시각 t_3)에서 설정된 100W로부터 피크 출현 시점(시각 t_4)로 설정된 1000W까지 제어된다. 도 5(b)에 나타난 실시형태의 HF 전력 Pw의 제어 결과, 발생된 반사파 R을 도 5(c)에 나타낸다. 도 5(c)의 가로축은 시간을 나타내고, 도 5(b)의 가로축의 횟수에 대응한다. 예를 들면, 도 5(b)의 가로축의 '0회'와 도 5(c)의 가로축의 '26.8초'가 대응하고, 도 5(b)의 가로축의 '10회'와 도 5(c)의 가로축의 '28.8초'가 대응한다. 도 5(c)의 세로축(오른쪽)은 HF의 반사파(%)를 나타내고, 세로축(왼쪽)은 HF의 전력(진행파의 전력)(W)을 나타낸다. HF의 반사파(%)는 공급한 HF의 진행파에 대한 HF의 반사파의 비율을 백분율(%)로 나타낸 것이다.
- [0044] 도 5(c)에 나타난 것처럼, HF 전력의 반사파 R의 백분율은 5% 이하로, 도 4(b)의 참고예와 비교하여 램프 업 기간 S32(26.8초 ~ 28.8초) 전체에 걸쳐 반사파가 감소했다. 즉, 실시형태에서는 램프 업 기간 S32 중에 HF의 반사파가 생기기 어렵다는 것을 알았다. 바꿔 말하면, 참고예에서는 램프 업 기간 S32 중 HF 전력이 작은 전반에 큰 반사파가 생기고, 실시형태에서는 램프 업 기간 S32 전체에 걸쳐 작은 반사파가 생긴다. 이로써 실시형태에서는 반사파의 최대값이, HF의 진행파의 5% 이하로 작아지고, 플라즈마의 부하 변동이 작아진다.
- [0045] 이상으로부터, 램프 업 기간 S32에서 HF 펄스를 지수 함수적으로 증가시킴으로써 반사파를 5% 이하로 저감시킬 수 있으며, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다. 이로써 기관 처리의 정밀도를 높일 수 있다.
- [0046] 램프 업 기간 S32에서 HF 전력을 단순히 증가시키면, 전력이 낮을 때 반사파가 나타나기 쉽다(도 4(b) 참조).

예를 들면, HF 전력이 낮을 때에(예를 들어 400W 이하), 플라즈마가 불안정해지기 쉽기 때문이다.

[0047] 이에 비해 본 실시형태와 같이 램프 업 기간 S32에서 HF 전력을 지수 함수적으로 증가시킴으로써, 플라즈마가 불안정해지기 쉬운 HF 전력이 낮을 때에(예를 들어 400W 이하), HF 전력의 변동 속도가 느려질 수 있다. 이로써 RF 전원(31)으로부터 부하측(임피던스 정합 회로측)에 HF 전력을 공급할 때, RF 전원(31)과 부하 사이의 임피던스의 정합 정밀도를 높여, 이에 따라 HF 전력의 반사파를 억제하고, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다.

[0048] 이상에서는, 본 실시형태에서는, 램프 업 기간 S32에서 RF 전력의 일례로서 HF 펄스를 지수 함수적으로 증가시켰으나, LF 전력도 마찬가지로 제어함으로써 동일한 효과를 얻을 수 있다. 즉, 램프 업 기간 S32에서 LF 펄스를 지수 함수적으로 증가시킴으로써 반사파를 저감시킬 수 있어, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다.

[0049] RF 전력은 램프 업 기간 S32에서 지수 함수적으로 증가되는 것으로 한정되지 않는다. 예를 들면, RF 펄스의 공급 개시 시점으로부터 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어할 수 있다. 이에 따라, 플라즈마가 불안정해지기 쉬운 RF 전력이 낮을 때에, RF 전력의 변동 속도를 느리게 할 수 있으며, RF 전력의 반사파를 억제하고, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다. 본 명세서에서 증가 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전력을 제어한다는 것은, 가로축을 시간, 세로축을 RF 전력으로 했을 때에, RF 펄스가 온일 때 또는 하이일 때의 전력이 아래를 향하도록 볼록해지고, 또한 시간이 지남에 따라 RF 전력을 증가시키는 것을 말한다.

[0050] 구체적으로는, RF 전력의 공급 개시 시점(예를 들면 도 3의 시각 t_3)으로부터 피크 출현 시점(예를 들면 도 3의 시각 t_4)까지의 전력 레벨의 증가 함수가 하기의 식(1) 및 (2)로 나타나는 함수를 만족하도록 RF 전원(31)을 제어한다. (i)와 (ii)로 구분하여 설명한다.

[0051] (i) A(RF 전력의 공급 개시 시점에서의 RF 전력의 레벨) \neq 0인 경우,

[0052]
$$P_w(t) = A \exp^{(at)} \cdot \dots (1)$$

[0053]
$$a = \ln(P_{\max}/A)/t_{\max} \cdot \dots (2)$$

[0054] (ii) A = 0인 경우,

[0055]
$$P_w(t) = \exp^{(at)} - 1 \cdot \dots (1)$$

[0056]
$$a = \ln(P_{\max}+1)/t_{\max} \cdot \dots (2)$$

[0057] 아울러 t는 RF 전력의 공급 개시 시점으로부터의 시간을 나타낸다. $P_w(t)$ 는 공급 개시 시점으로부터 시간 t에서의 RF 전력의 레벨을 나타낸다. P_{\max} 는 RF 전력 레벨의 피크값(최대값)을 나타낸다. t_{\max} 는 RF 전력의 공급 개시 시점으로부터 피크 출현 시점까지의 시간을 나타낸다.

[0058] 이상에서 설명한 전력 제어는, 램프 업 기간 S32에서의 HF 전력만이 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어할 수 있다. 이 경우, 램프 업 기간 S32에서의 LF 전력은 단조 증가일 수도 있다. 또한 램프 업 기간 S32에서의 LF 전력만이 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어할 수 있다. 이 경우, 램프 업 기간 S32에서의 HF 전력은 단조 증가일 수도 있다. 또한 램프 업 기간 S32에서의 HF 전력 및 LF 전력 모두가 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어할 수 있다.

[0059] (램프 다운 기간의 RF 제어)

[0060] 다음으로, 램프 다운 기간 S34에서의 RF 펄스의 제어와 반사파의 실험 결과에 대해, 도 6을 참조하여 설명한다. 도 6은 램프 다운 기간 S34에서의 실시형태의 RF 펄스의 전력 레벨의 감소 함수와 반사파의 일례를 나타낸 도면이다. 여기에서는 주파수가 40MHz인 HF를 사용한 경우의 실험 결과를 나타낸다.

[0061] 본 실시형태의 RF의 전력 제어에서 제어 장치(2)는, 램프 다운 기간 S34에서, 도 6(a)의 $P_w(\text{recipe})$ 에 나타낸 것처럼 HF 전력이 레시피로 설정된 곡선이 되도록, 즉, HF 전력이 지수 함수적으로 감소하도록 RF 전원(31)을 제어했다.

[0062] 도 6(a)의 $P_w(\text{recipe})$ 를 목표값으로 하여 HF 전력을 제어하고, 실제로 세 장의 기관(W)을 처리했을 때의 램프 다운 기간 S34에서의 HF 전력의 실측값(도시 생략)을 계측했다. 도 6(b)에 나타낸 HF 전력 P_w 는, 후술하는 식(3) 및 식(4)로 나타나는 함수의 $P_w(t)$ 에 실측값을 대입하고, 이에 따라 산출한 계수 b에 의한 $P_w(t) = B \exp^{(b)}$

¹⁾의 함수 그래프이다. 계수 'b'는 HF 전력 Pw의 램프 다운 기간에서의 변동 속도를 제어하는 파라미터이다. 'B'는 램프 다운 기간의 개시 시점에서의 RF 전력의 레벨이며, t는 램프 다운 기간의 개시 시점으로부터의 시간을 나타낸다.

[0063] 도 6(a) 및 (b)의 가로축의 횡수는, 도 3의 시각 t₅에 나타내는 피크 종료 시점(램프 다운 개시 시점)으로부터 시각 t₆에 나타내는 공급 종료 시점(램프 다운 종료 시점)까지의 시간에 HF의 전력 레벨을 단계적으로 낮출 때의 횡수이다. 도 6(b)의 예에서 실시형태의 HF 전력 Pw는, 피크 종료 시점(시각 t₅)에서 설정된 1000W부터 공급 종료 시점(시각 t₆)에서의 100W까지 제어된다. 도 6(b)에 나타낸 실시형태의 HF 전력 Pw의 제어 결과, 발생한 반사파 R을 도 6(c)에 나타낸다. 도 6(c)의 가로축은 시간을 나타내며, 도 6(b)의 가로축의 횡수에 대응한다. 도 6(c)의 세로축(오른쪽)은 HF의 반사파(%)를 나타내며, 세로축(왼쪽)은 HF의 전력(진행파의 전력)(W)을 나타낸다. HF의 반사파(%)는, 공급한 HF의 진행파에 대한 HF의 반사파의 비율을 백분율(%)로 나타낸 것이다.

[0064] 도 6(c)에 나타낸 것처럼 HF 전력의 반사파의 백분율 R은 17.5% 이하로, 램프 다운 기간 S34 전체에 걸쳐 반사파가 적다. 즉, 실시형태에서는 램프 다운 기간 S34 중에 HF의 반사파가 생기기 어렵다는 것을 알았다. 바꿔 말하면, 실시형태에서는 램프 다운 기간 S34에서 반사파의 최대값이 HF의 진행파의 17.5% 이하로 작아지며, 플라즈마의 부하 변동이 작아진다.

[0065] 이상으로부터, 램프 다운 기간 S34에서 HF 펄스를 지수 함수적으로 감소시킴으로써 반사파를 17.5% 이하로 저감시킬 수 있으며, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다.

[0066] 램프 다운 기간 S34에서 HF 전력을 단순히 감소시키면, 전력이 낮을 때 반사파가 나오기 쉽다. 예를 들면 HF 전력이 낮을 때에(예를 들어 400W 이하) 플라즈마가 불안정해지기 쉽기 때문이다.

[0067] 이에 비해 본 실시형태와 같이, 램프 다운 기간 S34에서 HF 전력을 지수 함수적으로 감소시킴으로써, 플라즈마가 불안정해지기 쉬운 HF 전력이 낮을 때에(예를 들어 400W 이하), HF 전력 변동 속도가 느려질 수 있다. 이로써 RF 전원(31)으로부터 부하측(임피던스 정합 회로측)에 HF 전력을 공급할 때, RF 전원(31)과 부하 사이의 임피던스의 정합 정도를 높여, 이에 따라 HF 전력의 반사파를 억제하고, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다.

[0068] 이상에서는, 본 실시형태에서는 램프 다운 기간 S34에서 RF 전력의 일례로서 HF 전력을 지수 함수적으로 감소시켰으나, LF 전력도 마찬가지로 제어함으로써 동일한 효과를 얻을 수 있다. 즉, 램프 다운 기간 S34에서 LF 펄스를 지수 함수적으로 감소시킴으로써 반사파를 저감시킬 수 있어, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다.

[0069] RF 전력은 램프 다운 기간 S34에서 지수 함수적으로 감소시키는 것으로 한정되지 않는다. 예를 들면 RF 펄스의 피크 종료 시점으로부터 공급 종료 시점까지의 전력 레벨의 감소 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어할 수 있다. 이로써 RF 전력의 반사파를 억제하고, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다. 본 명세서에서 감소 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전력을 제어한다는 것은, 가로축을 시간, 세로축을 RF 전력으로 했을 때에, RF 펄스가 온일 때 또는 하이일 때의 전력이 아래를 향하도록 볼록해지고, 또한 시간이 지남에 따라 RF 전력을 감소시키는 것을 말한다.

[0070] 구체적으로는, RF 전력의 피크 종료 시점(예를 들면 도 3의 시각 t₅)부터 공급 종료 시점(예를 들면 도 3의 시각 t₆)까지의 전력 레벨의 감소 함수가 하기의 식(3) 및 (4)로 나타나는 함수를 만족하도록 RF 전원(31)을 제어한다.

[0071]
$$Pw(t) = B \exp^{(bt)} \cdot \cdot \cdot (3)$$

[0072]
$$b = \ln(P_{\min}/B)/t_{\max} \cdot \cdot \cdot (4)$$

[0073] 아울러 B는 RF 전력의 피크 종료 시점에서의 RF 전력 레벨을 나타낸다. t는 RF 전력의 피크 종료 시점으로부터의 시간을 나타낸다. Pw(t)는 피크 종료 시점으로부터의 시간 t에서의 RF 전력 레벨을 나타낸다. P_{min}은 RF 전력 레벨의 최소값을 나타낸다. t_{max}는 RF 전력의 피크 종료 시점으로부터 공급 종료 시점까지의 시간을 나타낸다.

[0074] 이상에서 설명한 전력 제어는, 램프 다운 기간 S34에서의 HF 전력만이 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어할 수 있다. 이 경우, 램프 다운 기간 S34에서의 LF 전력은 단조 감소일 수도 있다. 또한 램프 다운 기간 S34에서의 LF 전력만이 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어할 수 있다. 이 경우, 램프 다운 기간

S34에서의 HF 전력은 단조 감소일 수도 있다. 또한 램프 다운 기간 S34에서의 HF 전력 및 LF 전력 모두가 아래로 블록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어할 수 있다.

[0075] [변형 1]

[0076] 펄스화된 RF 전력의 공급 개시 시점부터 피크 출현 시점까지의 전력 레벨의 증가 함수가 아래로 블록 함수가 되는 다른 예로서, 도중에 블록 함수의 기울기가 변화하는 경우를 포함할 수도 있다. 예를 들면 RF 전력의 공급 개시 시점(예를 들면 도 3의 시각 t_3)부터 피크 출현 시점(예를 들면 도 3의 시각 t_4)의 도중의 시각(시각 tt)까지는 완만한 기울기(기울기 a_1)의 직선으로 한다. 시각 tt 부터 피크 출현 시점(예를 들면 도 3의 시각 t_4)까지는, 기울기 a_1 과 상이한 기울기 a_2 의 직선으로 하며, 기울기를 변화시킬 수도 있다. 이 경우, 기울기 a_1 은 기울기 a_2 보다 작은 값으로 설정하며, 아래로 블록 함수가 되도록 설정한다. 이와 같이 RF 전력의 공급 개시 시점으로부터 소정 시간(시각 tt 까지)의 사이에는 기울기를 완만하게 하여 아래로 블록 함수의 증가 함수로 제어함으로써, RF 전력의 반사파를 억제하고, 램프 업 기간의 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다. 이 예에서는, RF 전력의 공급 개시 시점부터 피크 출현 시점에 이르는 직선은 시각 tt 에서 기울기가 변화하는 직선의 조합으로 설명했으나, 이것으로 한정되지 않는다. RF 전력의 공급 개시 후의 잠시 동안은 기울기를 완만하게 하여 아래로 블록 함수의 증가 함수로 제어할 수 있으면, 직선으로 한정되지 않으며 직선 및/또는 곡선의 조합일 수 있다.

[0077] [변형 2]

[0078] 펄스화된 RF 전력의 피크 종료 시점(램프 다운 개시 시점)부터 공급 종료 시점(램프 다운 종료 시점)까지의 전력 레벨의 감소 함수가 아래로 블록 함수가 되는 다른 예로서, 도중에 블록 함수의 기울기가 변화하는 경우를 포함할 수도 있다. 예를 들면, RF 전력의 피크 종료 시점(예를 들면 도 3의 시각 t_5)부터 공급 종료 시점(예를 들면 도 3의 시각 t_6)의 도중의 시각(시각 tk)까지는 기울기 a_3 의 직선으로 한다. 시각 tk 로부터 공급 종료 시점(예를 들면 도 3의 시각 t_6)까지는 기울기 a_3 와 상이한 기울기 a_4 의 직선으로 하여, 기울기를 변화시킬 수도 있다. 이 경우, 기울기 a_4 는 기울기 a_3 보다 작은 값으로 설정하며, 아래로 블록 함수가 되도록 설정한다. 이와 같이 RF 전력의 공급 종료 시점까지의 소정 시간(시각 tk 까지)의 사이에는 기울기를 완만하게 하여 아래로 블록 함수의 감소 함수로 제어함으로써, RF 전력의 반사파를 억제하고, 램프 다운 기간의 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다. 이 예에서는, RF 전력의 피크 종료 시점부터 공급 종료 시점까지의 직선은, 시각 tk 에서 기울기가 변화하는 직선의 조합으로 설명했으나, 이것으로 한정되지 않는다. RF 전력의 공급 종료 전의 잠시 동안은 기울기를 완만하게 하여 아래로 블록 함수의 감소 함수로 제어할 수 있으면, 직선으로 한정되지 않으며 직선 및/또는 곡선의 조합일 수 있다.

[0079] 이상에서 설명한 것처럼, 본 실시형태의 플라즈마 처리 장치 및 플라즈마 처리 방법에 따르면, 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다.

[0080] [플라즈마 처리 방법]

[0081] 다음으로, 본 실시형태의 플라즈마 처리 장치(1)에 사용되는 전원 시스템에 의해 실행되는 플라즈마 처리 방법에 대해, 도 7을 참조하여 설명한다. 도 7은 실시형태와 관련된 플라즈마 처리 방법의 일례를 나타내는 흐름도이다.

[0082] 전원 시스템은 플라즈마 처리 챔버(10) 및/또는 기관 지지부(11)에 펄스화된 RF 전력을 공급하는 RF 전원(31)과, 펄스화된 RF 전력의 공급을 제어하는 제어 장치(2)를 갖는다. 이하에서 설명하는 RF 전력은 HF 전력일 수도 있고, LF 전력일 수도 있고, HF 전력 및 LF 전력일 수도 있다.

[0083] 본 처리에서는, 먼저 단계 ST1에서 제어 장치(2)는, 기관을 기관 지지부(11)에 준비하고, 가스 공급부(20)로부터 플라즈마 처리 챔버(10) 내로 처리 가스를 공급하고, RF 전원(31)으로부터 연속파의 RF 전력을 공급하도록 제어한다. 이에 따라 처리 가스를 플라즈마화하고, 기관을 플라즈마 처리한다.

[0084] 단계 ST2에서 제어 장치(2)는, RF 전력을 연속파로부터 펄스파로 이행할지 여부를 판정한다. 제어 장치(2)는 RF 전력을 연속파로부터 펄스파로 이행하지 않는다고 판정한 경우(단계 ST2에서 NO라고 판정한 경우), 단계 ST2에서 YES로 판정할 때까지 단계 ST2의 판정 처리를 반복한다.

[0085] 제어 장치(2)가 RF 전력을 연속파로부터 펄스파로 이행한다고 판정한 경우, 단계 ST3로 진행하여, RF 펄스의 공급 개시 시점부터 피크 출현 시점까지의 RF 전력의 증가 함수가 아래로 블록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어하고, 단계 ST4로 진행한다.

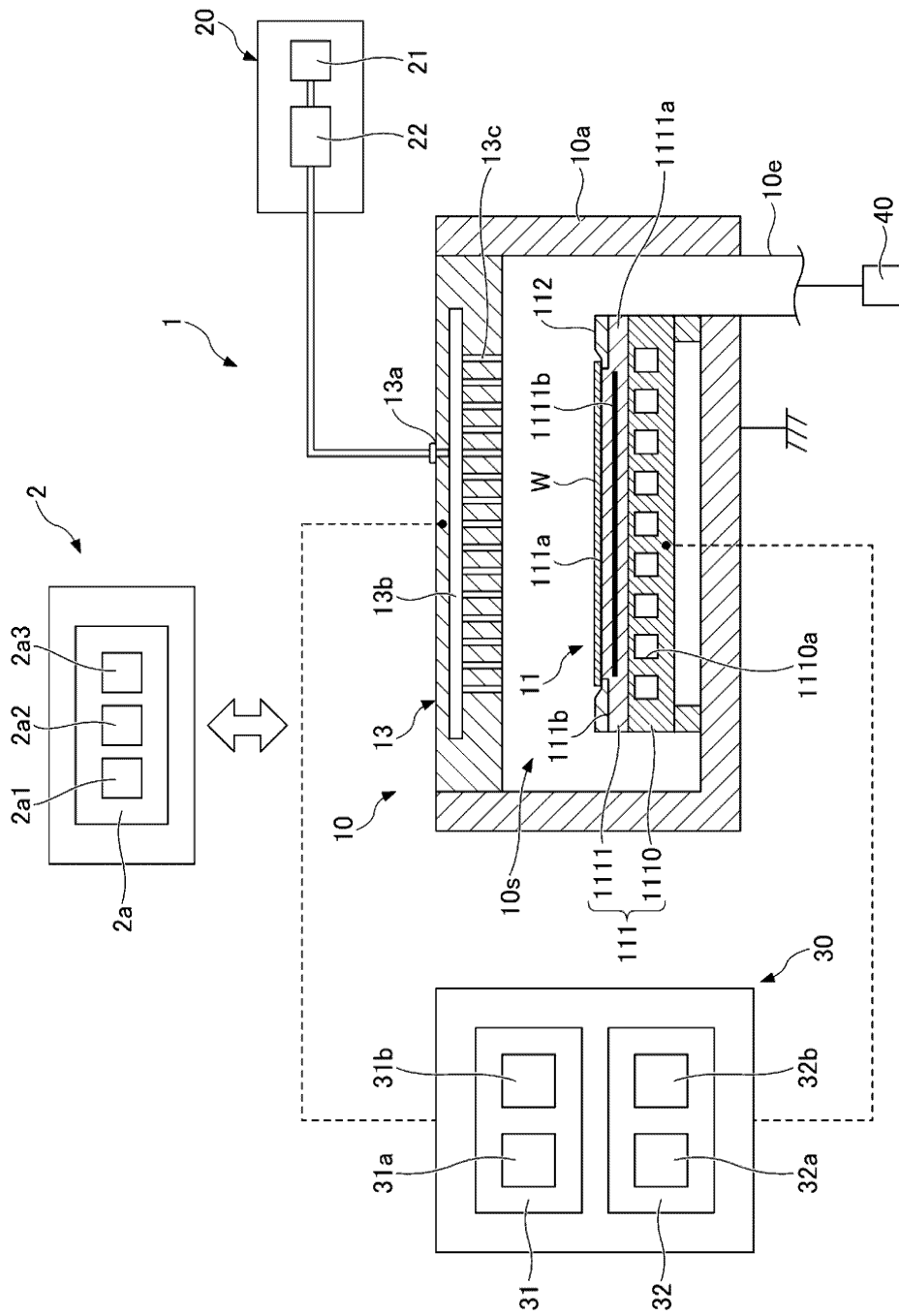
- [0086] 단계 ST4에서 제어 장치(2)는, RF 전력이 펄스파로부터 연속파로 이행할지 여부를 판정한다. 제어 장치(2)는, RF 전력이 펄스파로부터 연속파로 이행하지 않는다고 판정한 경우(단계 ST4에서 NO라고 판정한 경우), 단계 ST4에서 YES라고 판정할 때까지 단계 ST4의 판정 처리를 반복한다.
- [0087] 제어 장치(2)는, RF 전력이 펄스파로부터 연속파로 이행한다고 판정한 경우, 단계 ST5로 진행하여, RF 펄스의 피크 종료 시점부터 공급 종료 시점까지의 RF 전력 레벨의 감소 함수가 아래로 볼록 함수가 되도록 RF 전원(31)을 제어하고, 다음 처리로 진행한다.
- [0088] 본 개시의 전원 시스템에 의해 실행되는 플라즈마 처리 방법에 따르면, RF 전력의 반사파를 억제하고, 램프 업 기간 및/또는 램프 다운 기간의 플라즈마의 부하 변동을 억제할 수 있다.
- [0089] 이번에 개시된 실시형태와 관련된 플라즈마 처리 장치, 전원 시스템 및 플라즈마 처리 방법은, 모든 점에서 예시에 지나지 않으며 제한적인 것이 아니라고 간주되어야 한다. 실시형태는 첨부한 청구의 범위 및 그 요지를 벗어나지 않고 다양한 형태로 변형 및 개선될 수 있다. 상기 복수의 실시형태에 기재된 사항은, 모순되지 않는 범위에서 다른 구성도 취할 수 있고, 또한 모순되지 않는 범위에서 조합할 수 있다.
- [0090] 본 개시의 플라즈마 처리 장치는 Atomic Layer Deposition(ALD) 장치, Capacitively Coupled Plasma(CCP), Inductively Coupled Plasma(ICP), Radial Line Slot Antenna(RLSA), Electron Cyclotron Resonance Plasma(ECR), Helicon Wave Plasma(HWP)의 모든 유형의 장치에 적용 가능하다.
- [0091] 본원은 일본 특허청에 2022년 4월 25일에 출원된 기초 출원 2022-071371호의 우선권을 주장하는 것으로, 그 전체 내용을 참조로써 여기에 원용한다.

부호의 설명

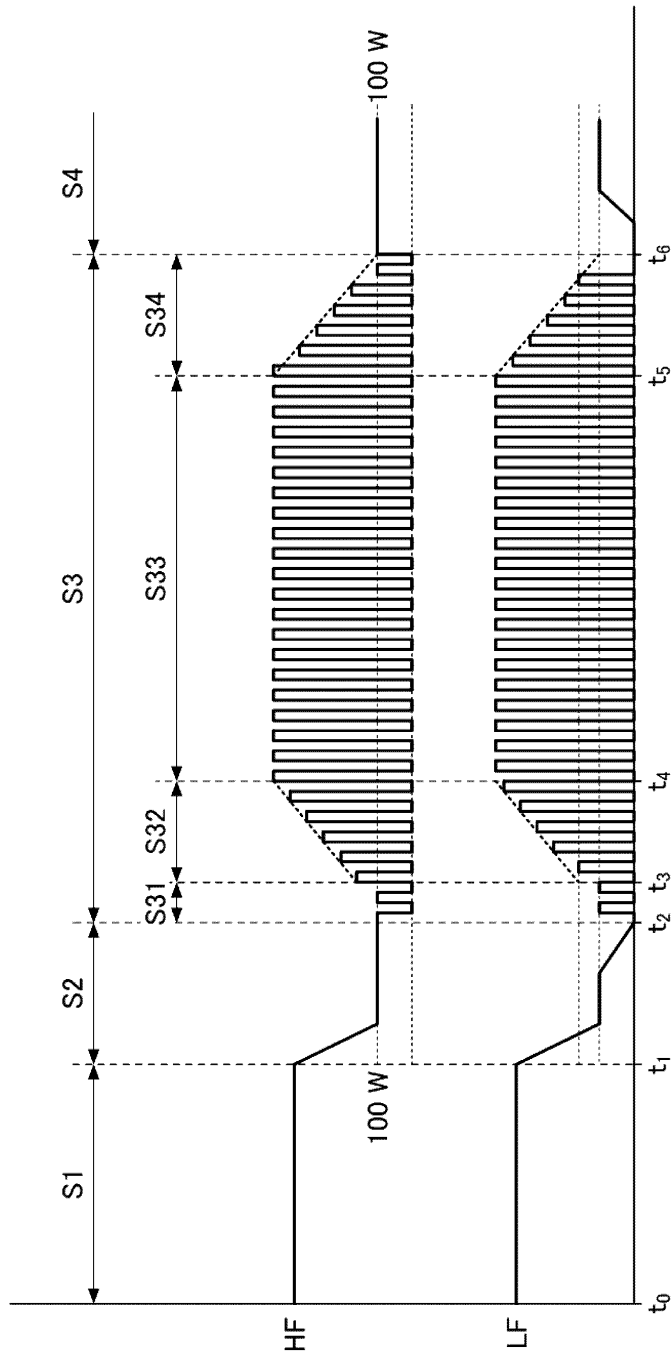
- [0092] 1: 기관 처리 장치
- 2: 제어 장치
- 2a: 컴퓨터
- 2a1: 처리부
- 2a2: 기억부
- 2a3: 통신 인터페이스
- 10: 플라즈마 처리 챔버
- 11: 기관 지지부
- 13: 샤워 헤드
- 21: 가스 소스
- 20: 가스 공급부
- 30: 전원
- 31: RF 전원
- 31a: 제1 RF 생성부
- 31b: 제2 RF 생성부
- 32a: 제1 DC 생성부
- 32b: 제2 DC 생성부
- 40: 배기 시스템
- 111: 본체부
- 112: 링 어셈블리

도면

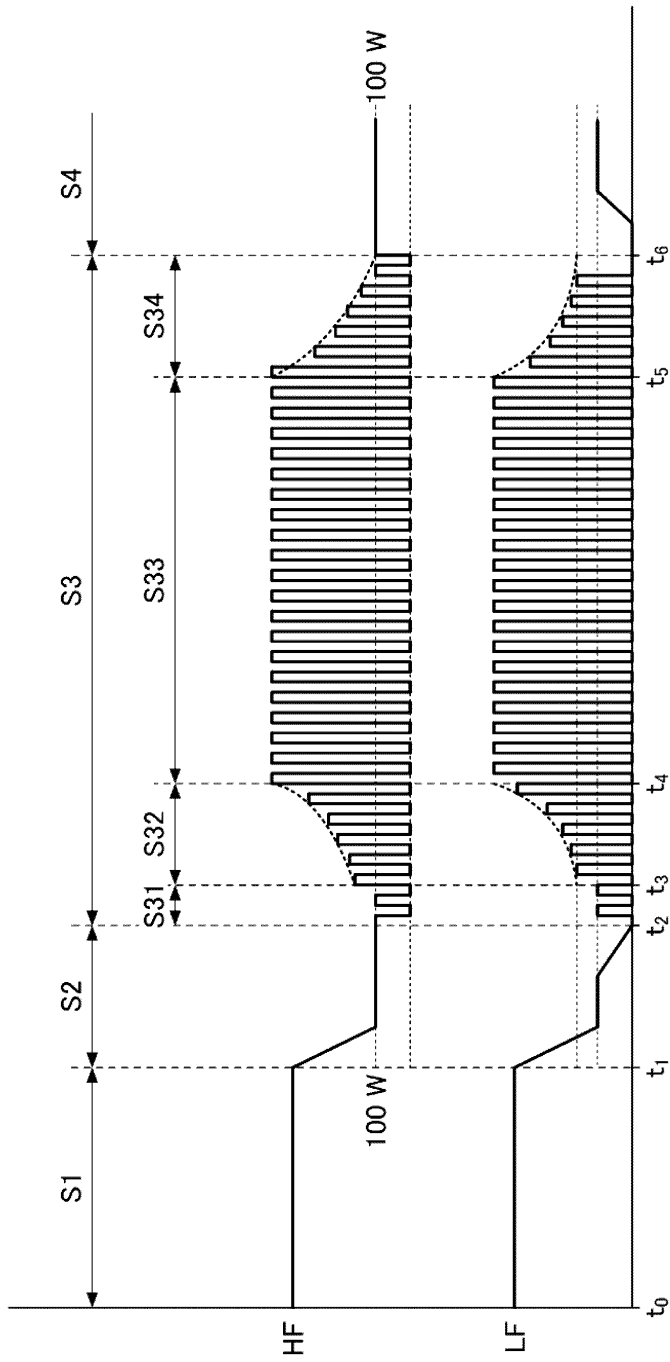
도면1



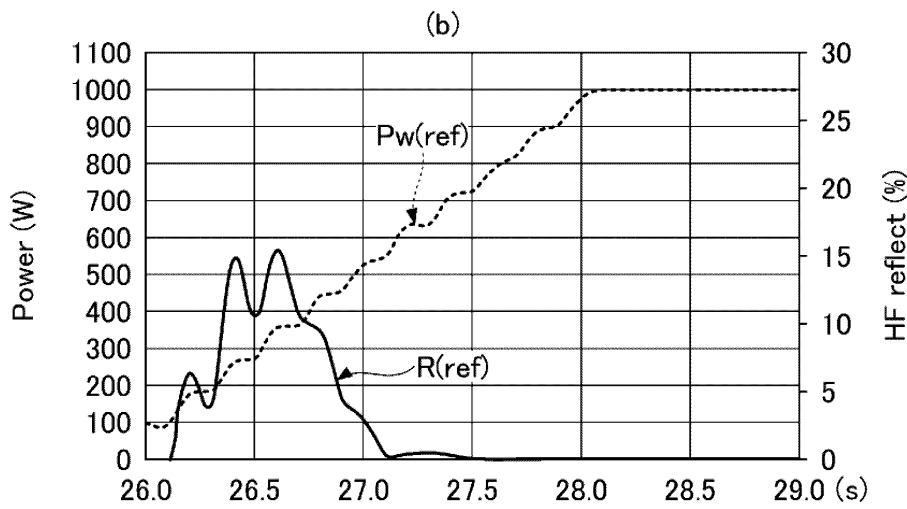
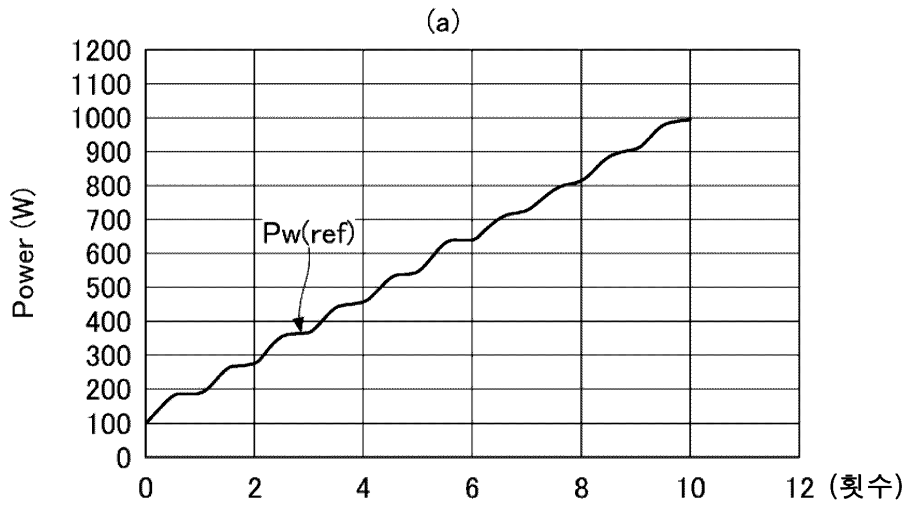
도면2



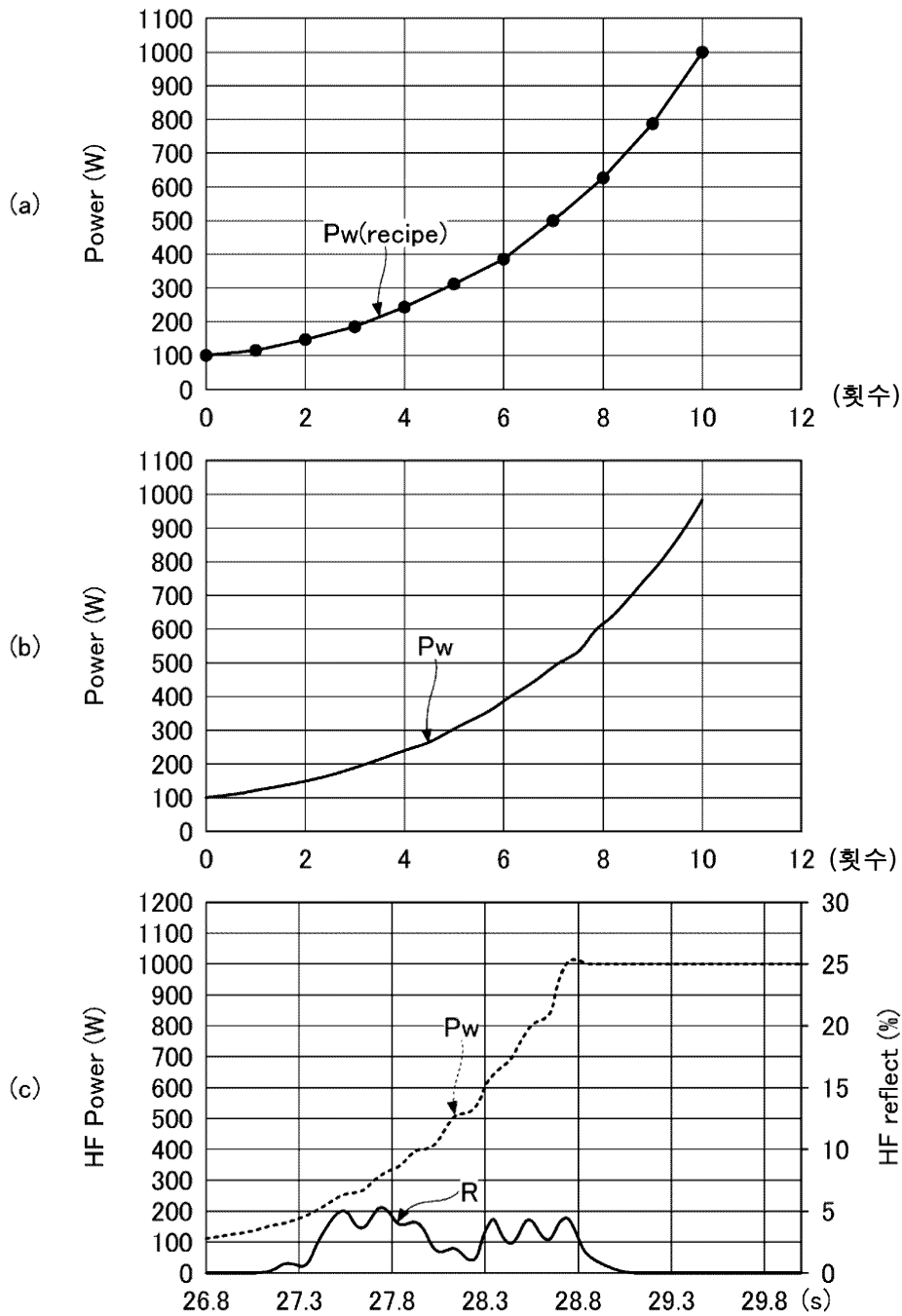
도면3



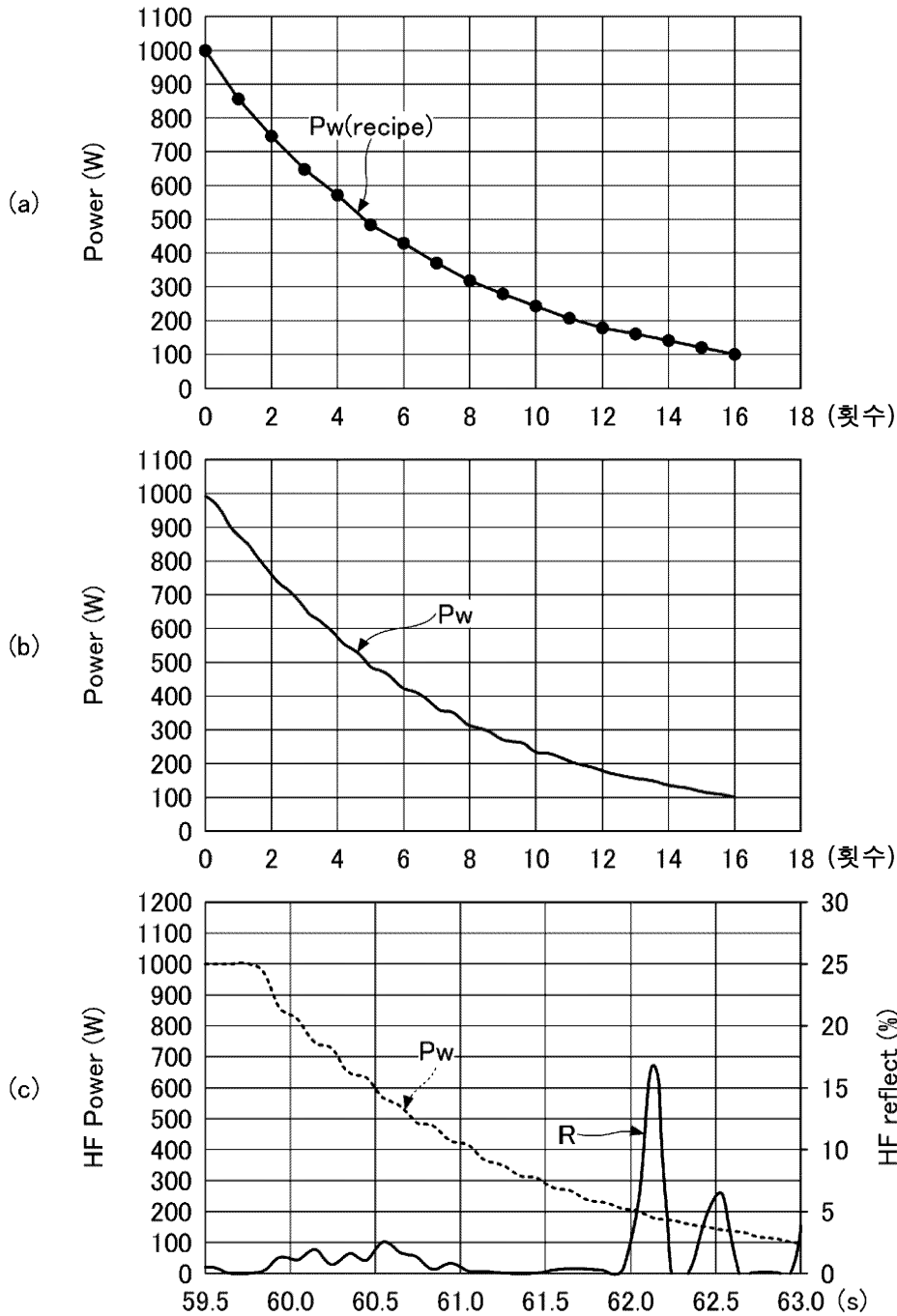
도면4



도면5



도면6



도면7

