



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0101662
(43) 공개일자 2024년07월02일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01) H01L 21/683 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/32275 (2013.01)
H01J 37/32174 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7019319
- (22) 출원일자(국제) 2022년11월10일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2024년06월10일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2022/041985
- (87) 국제공개번호 WO 2023/090256
국제공개일자 2023년05월25일
- (30) 우선권주장
JP-P-2021-188303 2021년11월19일 일본(JP)

- (71) 출원인
도쿄엘렉트론가부시키키가이샤
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1코
- (72) 발명자
다마무시 겐
일본 9813629 미야기켄 구로가와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

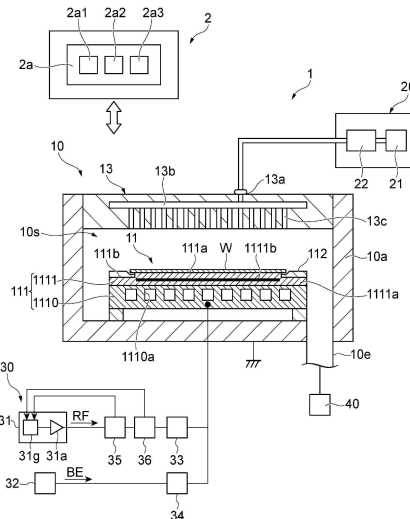
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 플라즈마 처리 장치, 전원 시스템, 제어 방법, 프로그램, 및 기억 매체

(57) 요약

개시되는 플라즈마 처리 장치에서는, 전기 바이어스 에너지가 바이어스 전원으로부터 기판 지지부에 공급된다. 소스 고주파 전력이, 고주파 전원으로부터 급전로를 통해 고주파 전극에 공급된다. 전기 바이어스 에너지의 바이어스 주기 내의 복수의 위상 기간 중, 소스 고주파 전력의 반사파의 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간이 특정된다. 특정된 위상 기간에 있어서의 급전로에서의 전압과 전류 간의 위상차가 기준값으로서 결정된다. 복수의 위상 기간의 각각에 있어서의 급전로에서의 전압과 전류 간의 위상차와 기준값의 비교 결과에 따라, 복수의 위상 기간의 각각을 위한 소스 고주파 전력의 소스 주파수가 제어된다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01J 37/32183 (2022.08)

H01J 37/3244 (2013.01)

H01J 37/32532 (2013.01)

H01J 37/32715 (2013.01)

H01L 21/6831 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

플라즈마 처리 장치에 있어서,

챔버와,

상기 챔버 내에 마련된 기관 지지부와,

상기 기관 지지부에 전기적으로 결합되어 있고, 전기 바이어스 에너지를 발생시키도록 구성된 바이어스 전원으로
로서, 상기 전기 바이어스 에너지는, 바이어스 주파수를 갖고, 상기 바이어스 주파수의 역수의 시간 길이를 갖
는 바이어스 주기로 주기적으로 발생하는, 상기 바이어스 전원과,

고주파 전극에 전기적으로 접속되어 있고, 상기 챔버 내에서 가스로부터 플라즈마를 생성하기 위해 소스 고주파
전력을 발생시키도록 구성된 고주파 전원과,

상기 소스 고주파 전력의 부하로부터의 반사파의 파워 레벨을 측정하도록 구성된 제1 센서와,

상기 고주파 전원과 상기 고주파 전극을 서로 접속하는 급전로에서의 전압 및 전류를 측정하도록 구성된 제2 센
서를 구비하고,

상기 고주파 전원은,

상기 바이어스 주기 내의 복수의 위상 기간 중 상기 반사파의 상기 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간을 특
정하고,

특정된 상기 위상 기간에 있어서의 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 위상차를 기준값으로서 결정
하고,

상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서의 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 위상차와 상기 기준
값의 비교 결과에 따라, 상기 복수의 위상 기간의 각각을 위한 상기 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하
는 주파수 제어를 행하도록 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 주파수 제어는, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의
상기 위상차가 상기 기준값보다 큰 경우에, 상기 소스 주파수를 상승시키고, 상기 위상차가 상기 기준값보다 작
은 경우에, 상기 소스 주파수를 저하시키는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 고주파 전원은, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 주파수 제어에 의한 상기 소스 주파수의 조
정량을, 상기 위상차와 상기 기준값 간의 차의 절대값에 따라 조정하도록 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리
장치.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 고주파 전원은, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 반사파의 파워 레벨이 임계값보다 큰 경우
에, 상기 주파수 제어를 행하도록 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 고주파 전원은, 상기 바이어스 주기 내의 상기 복수의 위상 기간 각각에 있어서 상기 제1 센서에 의해 취득되는 상기 반사파의 파워 레벨의 전부가 임계값 이하인 경우에, 상기 임계값을 저하시키는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 고주파 전원은, 고주파 신호를 발생시키도록 구성된 신호 발생기와,

상기 고주파 신호를 증폭하여 상기 소스 고주파 전력을 발생시키도록 구성된 증폭기를 포함하고,

상기 신호 발생기는,

상기 반사파의 상기 파워 레벨의 최소값을 갖는 상기 위상 기간을 특정하고,

상기 기준값을 결정하고,

상기 주파수 제어에 의해 조정된 상기 복수의 위상 기간의 각각을 위한 상기 소스 주파수를 갖는 상기 고주파 신호를 발생시키도록 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 전기 바이어스 에너지는, 상기 바이어스 주파수를 갖는 바이어스 고주파 전력이거나, 상기 바이어스 주파수의 역수인 시간 간격으로 주기적으로 발생하는 전압의 펄스인 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 플라즈마 처리 장치는, 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치이고,

상기 고주파 전극은, 상기 기관 지지부 내에 마련되어 있거나, 상기 기관 지지부의 상방에 마련된 상부 전극인 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 9

전원 시스템에 있어서,

플라즈마 처리 장치의 챔버 내에 마련된 기관 지지부에 공급되는 전기 바이어스 에너지를 발생시키도록 구성된 바이어스 전원으로서, 상기 전기 바이어스 에너지는, 바이어스 주파수를 갖고, 상기 바이어스 주파수의 역수의 시간 길이를 갖는 바이어스 주기로 주기적으로 발생하는, 상기 바이어스 전원과,

상기 챔버 내에서 가스로부터 플라즈마를 생성하기 위해 고주파 전극에 공급되는 소스 고주파 전력을 발생시키도록 구성된 고주파 전원을 구비하고,

상기 고주파 전원은,

상기 바이어스 주기 내의 복수의 위상 기간 중 상기 소스 고주파 전력의 반사파의 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간을 특정하고,

특정된 상기 위상 기간에 있어서의 상기 고주파 전원과 상기 고주파 전극 간의 급전로에서의 전압과 전류의 위상차를 기준값으로서 결정하고,

상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서의 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 위상차와 상기 기준값의 비교 결과에 따라, 상기 복수의 위상 기간의 각각을 위한 상기 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하는 주파수 제어를 행하도록 구성되어 있는 것인, 전원 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 주파수 제어는, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 상기 위상차가 상기 기준값보다 큰 경우에, 상기 소스 주파수를 상승시키고, 상기 위상차가 상기 기준값보다 작은 경우에, 상기 소스 주파수를 저하시키는 것인, 전원 시스템.

청구항 11

제어 방법에 있어서,

(a) 플라즈마 처리 장치의 챔버 내에 마련된 기관 지지부에 바이어스 전원으로부터 바이어스 주파수를 갖는 전기 바이어스 에너지를 공급하는 공정으로서, 상기 전기 바이어스 에너지는, 바이어스 주파수를 갖고, 상기 바이어스 주파수의 역수의 시간 길이를 갖는 바이어스 주기로 주기적으로 공급되는, 상기 공정과,

(b) 상기 챔버 내에서 가스로부터 플라즈마를 생성하기 위해 고주파 전원으로부터 고주파 전극에 소스 고주파 전력을 공급하는 공정과,

(c) 상기 바이어스 주기 내의 복수의 위상 기간 중 상기 소스 고주파 전력의 부하로부터의 반사파의 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간을 특정하는 공정과,

(d) 기준값을 결정하는 공정으로서, 상기 (c)에 있어서 특정된 상기 위상 기간에 있어서의 상기 고주파 전원과 상기 고주파 전극을 서로 접속시키는 급전로에서의 전압과 전류의 위상차가, 상기 기준값으로서 결정되는, 상기 공정과,

(e) 상기 복수의 위상 기간의 각각에서의 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 위상차와 상기 기준값과의 비교 결과에 따라, 상기 복수의 위상 기간의 각각을 위한 상기 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하는 주파수 제어를 행하는 공정을 포함하는, 제어 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 주파수 제어는, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 상기 위상차가 상기 기준값보다 큰 경우에, 상기 소스 주파수를 상승시키고, 상기 위상차가 상기 기준값보다 작은 경우에, 상기 소스 주파수를 저하시키는 것인, 제어 방법.

청구항 13

제11항 또는 제12항에 기재된 제어 방법을 플라즈마 처리 장치에 의해 실행시키도록, 상기 플라즈마 처리 장치의 컴퓨터에 의해 실행되는, 프로그램.

청구항 14

제13항에 기재된 프로그램을 기억한, 기억 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시의 예시적 실시형태는, 플라즈마 처리 장치, 전원 시스템, 제어 방법, 프로그램, 및 기억 매체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 플라즈마 처리 장치가, 기관에 대한 플라즈마 처리에 있어서 이용되고 있다. 플라즈마 처리 장치에서는, 챔버 내에서 생성된 플라즈마로부터 이온을 기관에 인입하기 위해, 바이어스 고주파 전력이 이용된다. 하기의 특허문헌 1은, 바이어스 고주파 전력의 파워 레벨 및 주파수를 변조하는 플라즈마 처리 장치를 개시하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 특허 공개 제2009-246091호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 개시는 소스 고주파 전력의 반사파의 파워 레벨을 저감하는 기술을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 하나의 예시적 실시형태에 있어서, 플라즈마 처리 장치가 제공된다. 플라즈마 처리 장치는, 챔버, 기관 지지부, 바이어스 전원, 고주파 전원, 제1 센서, 및 제2 센서를 구비한다. 기관 지지부는, 챔버 내에 마련되어 있다. 바이어스 전원은, 기관 지지부에 전기적으로 결합되어 있고, 전기 바이어스 에너지를 발생시키도록 구성되어 있다. 전기 바이어스 에너지는, 바이어스 주파수를 갖고, 상기 바이어스 주파수의 역수의 시간 길이를 갖는 바이어스 주기로 주기적으로 발생된다. 고주파 전원은, 고주파 전극에 전기적으로 접속되어 있고, 챔버 내에서 가스로부터 플라즈마를 생성하기 위해 소스 고주파 전력을 발생시키도록 구성되어 있다. 제1 센서는, 소스 고주파 전력의 부하로부터의 반사파의 파워 레벨을 측정하도록 구성되어 있다. 제2 센서는, 고주파 전원과 고주파 전극을 서로 접속하는 급전로에서의 전압 및 전류를 측정하도록 구성되어 있다. 고주파 전원은, 바이어스 주기 내의 복수의 위상 기간 중 반사파의 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간을 특정한다. 고주파 전원은, 특정된 위상 기간에 있어서의 급전로에서의 전압과 전류 간의 위상차를 기준값으로서 결정한다. 고주파 전원은, 복수의 위상 기간의 각각에 있어서의 급전로에서의 전압과 전류 간의 위상차와 기준값의 비교 결과에 따라, 복수의 위상 기간의 각각을 위한 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하는 주파수 제어를 행한다.

발명의 효과

[0006] 하나의 예시적 실시형태에 따르면, 소스 고주파 전력의 반사파의 파워 레벨을 저감하는 것이 가능해진다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 플라즈마 처리 시스템의 구성예를 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치의 구성예를 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 하나의 예시적 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치에 관련된 일례의 타이밍 차트이다.

도 4는 하나의 예시적 실시형태에 따른 제어 방법의 흐름도이다.

도 5는 소스 주파수의 결정의 제1 예에 관련된 타이밍 차트이다.

도 6은 소스 주파수의 결정의 제2 예에 관련된 타이밍 차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 이하, 도면을 참조하여 여러 가지 예시적 실시형태에 대해서 상세하게 설명한다. 또한, 각 도면에 있어서 동일 또는 상당하는 부분에 대해서는 동일한 부호를 붙이는 것으로 한다.

[0009] 도 1은 플라즈마 처리 시스템의 구성예를 설명하기 위한 도면이다. 일 실시형태에 있어서, 플라즈마 처리 시스템은, 플라즈마 처리 장치(1) 및 주체어부(2)를 포함한다. 플라즈마 처리 시스템은, 기관 처리 시스템의 일례이고, 플라즈마 처리 장치(1)는, 기관 처리 장치의 일례이다. 플라즈마 처리 장치(1)는, 플라즈마 처리 챔버(10), 기관 지지부(11) 및 플라즈마 생성부(12)를 포함한다. 플라즈마 처리 챔버(10)는, 플라즈마 처리 공간을 갖는다. 또한, 플라즈마 처리 챔버(10)는, 적어도 하나의 처리 가스를 플라즈마 처리 공간에 공급하기 위한 적어도 하나의 가스 공급구와, 플라즈마 처리 공간에서 가스를 배출하기 위한 적어도 하나의 가스 배출구를 갖는다. 가스 공급구는, 후술하는 가스 공급부(20)에 접속되고, 가스 배출구는, 후술하는 배기 시스템(40)에 접속된다. 기관 지지부(11)는, 플라즈마 처리 공간 내에 배치되고, 기관을 지지하기 위한 기관 지지면을 갖는다.

[0010] 플라즈마 생성부(12)는, 플라즈마 처리 공간 내에 공급된 적어도 하나의 처리 가스로부터 플라즈마를 생성하도록 구성된다. 플라즈마 처리 공간에 있어서 형성되는 플라즈마는, 용량 결합 플라즈마(CCP; Capacitively

Coupled Plasma), 유도 결합 플라즈마(ICP; Inductively Coupled Plasma), ECR 플라즈마(Electron-Cyclotron-resonance plasma), 헬리콘과 여기 플라즈마(HWP: Helicon Wave Plasma), 또는, 표면과 플라즈마(SWP: Surface Wave Plasma) 등이어도 좋다.

[0011] 주제어부(2)는, 본 개시에 있어서 서술되는 여러 가지 공정을 플라즈마 처리 장치(1)에 실행시키는 컴퓨터 실행 가능한 명령을 처리한다. 주제어부(2)는, 여기서 서술되는 여러 가지 공정을 실행하도록 플라즈마 처리 장치(1)의 각 요소를 제어하도록 구성될 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 주제어부(2)의 일부 또는 전부가 플라즈마 처리 장치(1)에 포함되어도 좋다. 주제어부(2)는, 처리부(2a1), 기억부(2a2) 및 통신 인터페이스(2a3)를 포함하여도 좋다. 주제어부(2)는, 예컨대 컴퓨터(2a)에 의해 실현된다. 처리부(2a1)는, 기억부(2a2)로부터 프로그램을 읽어내고, 읽어낸 프로그램을 실행함으로써 여러 가지 제어 동작을 행하도록 구성될 수 있다. 이 프로그램은, 후술하는 예시적 실시형태에 따른 제어 방법의 여러 가지 공정을 플라즈마 처리 장치(1)에 실행시키는 컴퓨터 실행 가능한 명령을 포함한다. 이 프로그램은, 미리 기억부(2a2)에 저장되어 있어도 좋고, 필요한 때에, 매체를 통해 취득되어도 좋다. 취득된 프로그램은, 기억부(2a2)에 저장되고, 처리부(2a1)에 의해 기억부(2a2)로부터 읽어내어져 실행된다. 매체는, 컴퓨터(2a)에 판독 가능한 여러 가지 기억 매체여도 좋고, 통신 인터페이스(2a3)에 접속되어 있는 통신 회선이어도 좋다. 처리부(2a1)는, CPU(Central Processing Unit)여도 좋다. 기억부(2a2)는, RAM(Random Access Memory), ROM(Read Only Memory), HDD(Hard Disk Drive), SSD(Solid State Drive), 또는 이들의 조합을 포함하여도 좋다. 통신 인터페이스(2a3)는, LAN(Local Area Network) 등의 통신 회선을 통해 플라즈마 처리 장치(1)와의 사이에서 통신하여도 좋다.

[0012] 이하에, 플라즈마 처리 장치(1)의 일례로서의 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치의 구성예에 대해서 설명한다. 도 2는 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치의 구성예를 설명하기 위한 도면이다.

[0013] 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치(1)는, 플라즈마 처리 챔버(10), 가스 공급부(20), 전원 시스템(30) 및 배기 시스템(40)을 포함한다. 또한, 플라즈마 처리 장치(1)는, 기관 지지부(11) 및 가스 도입부를 포함한다. 가스 도입부는, 적어도 하나의 처리 가스를 플라즈마 처리 챔버(10) 내에 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 상부에 배치된다. 일 실시형태에 있어서, 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)에 의해 규정된 플라즈마 처리 공간(10s)을 갖는다. 플라즈마 처리 챔버(10)는 접지된다. 샤워 헤드(13) 및 기관 지지부(11)는, 플라즈마 처리 챔버(10)의 케이스와는 전기적으로 절연된다.

[0014] 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 환상 영역(111b)을 갖는다. 웨이퍼는 기관(W)의 일례이다. 본체부(111)의 환상 영역(111b)은, 평면으로 보아 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 환상 영역(111b) 상에 배치된다. 따라서, 중앙 영역(111a)은, 기관(W)을 지지하기 위한 기관 지지면이라고도 불리고, 환상 영역(111b)은, 링 어셈블리(112)를 지지하기 위한 링 지지면이라고도 불린다.

[0015] 일 실시형태에 있어서, 본체부(111)는, 베이스(1110) 및 정전 척(1111)을 포함한다. 베이스(1110)는, 도전성 부재를 포함한다. 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 실시형태에 있어서, 세라믹 부재(1111a)는, 환상 영역(111b)도 갖는다. 또한, 환상 정전 척이나 환상 절연 부재와 같은, 정전 척(1111)을 둘러싸는 다른 부재가 환상 영역(111b)을 가져도 좋다. 이 경우, 링 어셈블리(112)는, 환상 정전 척 또는 환상 절연 부재 상에 배치되어도 좋고, 정전 척(1111)과 환상 절연 부재의 양방 상에 배치되어도 좋다.

[0016] 링 어셈블리(112)는, 1 또는 복수의 환상 부재를 포함한다. 일 실시형태에 있어서, 1 또는 복수의 환상 부재는, 1 또는 복수의 엣지 링과 적어도 하나의 커버 링을 포함한다. 엣지 링은, 도전성 재료 또는 절연 재료로 형성되고, 커버 링은, 절연 재료로 형성된다.

[0017] 또한, 기관 지지부(11)는, 정전 척(1111), 링 어셈블리(112) 및 기관 중 적어도 하나를 타겟 온도로 조절하도록 구성되는 온도 조절 모듈을 포함하여도 좋다. 온도 조절 모듈은, 히터, 전열 매체, 유로(1110a), 또는 이들의 조합을 포함하여도 좋다. 유로(1110a)에는, 브라인이나 가스와 같은 전열 유체가 흐른다. 일 실시형태에 있어서, 유로(1110a)가 베이스(1110) 내에 형성되고, 1 또는 복수의 히터가 정전 척(1111)의 세라믹 부재

(1111a) 내에 배치된다. 또한, 기관 지지부(11)는, 기관(W)의 이면과 중앙 영역(111a) 사이의 간극에 전열 가스를 공급하도록 구성된 전열 가스 공급부를 포함하여도 좋다.

[0018] 샤워 헤드(13)는, 가스 공급부(20)로부터 적어도 하나의 처리 가스를 플라즈마 처리 공간(10s) 내에 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) 내에 도입된다. 또한, 샤워 헤드(13)는, 적어도 하나의 상부 전극을 포함한다. 또한, 가스 도입부는, 샤워 헤드(13)에 더하여, 측벽(10a)에 형성된 1 또는 복수의 개구부에 부착되는 1 또는 복수의 사이드 가스 주입부(SGI: Side Gas Injector)를 포함하여도 좋다.

[0019] 가스 공급부(20)는, 적어도 하나의 가스 소스(21) 및 적어도 하나의 유량 제어기(22)를 포함하여도 좋다. 일 실시형태에 있어서, 가스 공급부(20)는, 적어도 하나의 처리 가스를, 각각에 대응하는 가스 소스(21)로부터 각각에 대응하는 유량 제어기(22)를 통해 샤워 헤드(13)에 공급하도록 구성된다. 각 유량 제어기(22)는, 예컨대 매스 플로우 컨트롤러 또는 압력 제어식의 유량 제어기를 포함하여도 좋다. 또한, 가스 공급부(20)는, 적어도 하나의 처리 가스의 유량을 변조 또는 펄스화하는 적어도 하나의 유량 변조 디바이스를 포함하여도 좋다.

[0020] 배기 시스템(40)은, 예컨대 플라즈마 처리 챔버(10)의 바닥부에 마련된 가스 배출구(10e)에 접속될 수 있다. 배기 시스템(40)은, 압력 조정 밸브 및 진공 펌프를 포함하여도 좋다. 압력 조정 밸브에 의해, 플라즈마 처리 공간(10s) 내의 압력이 조정된다. 진공 펌프는, 터보 분자 펌프, 드라이 펌프 또는 이들의 조합을 포함하여도 좋다.

[0021] 전원 시스템(30)은, 고주파 전원(31) 및 바이어스 전원(32)을 포함한다. 고주파 전원(31)은, 일 실시형태의 플라즈마 생성부(12)를 구성한다. 고주파 전원(31)은, 소스 고주파 전력(RF)을 발생시키도록 구성되어 있다. 소스 고주파 전력(RF)은, 소스 주파수(f_{RF})를 갖는다. 즉, 소스 고주파 전력(RF)은, 그 주파수가 소스 주파수(f_{RF})인 정현파상의 파형을 갖는다. 소스 주파수(f_{RF})는, 10 MHz~150 MHz의 범위 내의 주파수일 수 있다. 고주파 전원(31)은, 정합기(33)를 통해 고주파 전극에 전기적으로 접속되어 있고, 소스 고주파 전력(RF)을 고주파 전극에 공급하도록 구성되어 있다. 고주파 전극은, 베이스(1110)의 도전성 부재, 세라믹 부재(1111a) 내에 마련된 적어도 하나의 전극, 또는 상부 전극이어도 좋다. 정합기(33)는, 가변 임피던스를 갖는다. 정합기(33)의 가변 임피던스는, 소스 고주파 전력(RF)의 부하로부터의 반사를 저감하도록, 설정된다. 소스 고주파 전력(RF)이 고주파 전극에 공급되면, 챔버(10) 내의 가스로부터 플라즈마가 생성된다.

[0022] 바이어스 전원(32)은, 전기 바이어스 에너지(BE)를 발생시키도록 구성되어 있다. 바이어스 전원(32)은, 기관 지지부(11)에 전기적으로 결합되어 있다. 바이어스 전원(32)은, 기관 지지부(11) 내의 바이어스 전극에 전기적으로 접속되어 있고, 전기 바이어스 에너지(BE)를 바이어스 전극에 공급하도록 구성되어 있다. 바이어스 전극은, 베이스(1110)의 도전성 부재 또는 세라믹 부재(1111a) 내에 마련된 적어도 하나의 전극이어도 좋다. 전기 바이어스 에너지(BE)가 바이어스 전극에 공급되면, 플라즈마로부터의 이온이 기관(W)에 끌어당겨진다.

[0023] 전기 바이어스 에너지(BE)는, 바이어스 주파수를 갖는다. 바이어스 주파수는, 소스 주파수보다 낮다. 바이어스 주파수는, 100 kHz~60 MHz의 범위 내의 주파수여도 좋고, 예컨대 400 kHz여도 좋다. 전기 바이어스 에너지(BE)는, 바이어스 주파수의 역수의 시간 길이를 갖는 바이어스 주기(시간 간격) 또는 파형 주기, 즉 주기(CY)로 주기적으로 바이어스 전극에 공급된다.

[0024] 이하, 도 2와 함께 도 3을 참조한다. 도 3은 하나의 예시적 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치에 관련된 일례의 타이밍 차트이다. 전기 바이어스 에너지(BE)는, 바이어스 주파수를 갖는 바이어스 고주파 전력(LF)이어도 좋다. 즉, 전기 바이어스 에너지(BE)는, 그 주파수가 바이어스 주파수인 정현파상의 파형을 갖고 있어도 좋다. 이 경우에는, 바이어스 전원(32)은, 정합기(34)를 통해, 바이어스 전극에 전기적으로 접속된다. 정합기(34)의 가변 임피던스는, 바이어스 고주파 전력(LF)의 부하로부터의 반사를 저감하도록, 설정된다.

[0025] 혹은, 전기 바이어스 에너지(BE)는, 전압의 펄스(PV)를 포함하고 있어도 좋다. 전기 바이어스 에너지(BE)에 있어서의 펄스(PV)의 파형은, 직사각형파, 삼각파, 또는 임의의 파형을 가질 수 있다. 전기 바이어스 에너지(BE)의 펄스(PV)의 전압의 극성은, 기관(W)과 플라즈마 간에 전위차를 발생시켜 플라즈마로부터의 이온을 기관(W)에 인입할 수 있도록 설정된다. 전기 바이어스 에너지(BE)의 펄스(PV)는, 일례로서는, 음의 전압의 펄스여도 좋다. 전기 바이어스 에너지(BE)의 펄스(PV)는, 직류 전원으로부터의 직류 전압에 대한 펄스 유닛을 이용한 파형 정형에 의해 생성되어도 좋다. 또한, 전기 바이어스 에너지(BE)가 전압의 펄스(PV)인 경우에는, 정합기(34)는 불필요하다.

- [0026] 고주파 전원(31)은, 주기(CY)가 반복되는 기간, 즉, 전기 바이어스 에너지(BE)가 주기적으로 공급되고 있는 기간에 있어서, 소스 고주파 전력(RF)을 공급하도록 구성되어 있다. 고주파 전원(31)은, 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서 소스 고주파 전력(RF)의 부하로부터의 반사파를 저감하도록 설정된 소스 주파수(f_{RF})를 갖는 소스 고주파 전력(RF)을 발생시키도록 구성되어 있다. 복수의 위상 기간(SP)은, 주기(CY)를 분할하는 복수의 기간이다. 또한, 초기적으로 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서 이용되는 소스 주파수(f_{RF})는, 사전에 결정되어 있다. 즉, 초기적으로 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP)에 있어서 이용되는 소스 주파수(f_{RF})의 세트는, 사전에 결정되어 있다. 초기적으로 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서 이용되는 소스 주파수(f_{RF})의 결정의 상세에 대해서는, 후술한다.
- [0027] 고주파 전원(31)은, 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 소스 주파수(f_{RF})의 설정을 위해, 동기 신호를 이용하여, 바이어스 전원(32)과 동기한다. 동기 신호는, 고주파 전원(31)으로부터 바이어스 전원(32)에 부여되어도 좋고, 바이어스 전원(32)으로부터 고주파 전원(31)에 부여되어도 좋다. 혹은, 동기 신호는, 다른 디바이스로부터 고주파 전원(31) 및 바이어스 전원(32)에 부여되어도 좋다.
- [0028] 도 2에 나타내는 바와 같이, 플라즈마 처리 장치(1)는, 센서(35)(제1 센서) 및 센서(36)(제2 센서)를 더 구비하고 있다. 센서(35)는, 소스 고주파 전력(RF)의 부하로부터의 반사파의 파워 레벨(Pr)를 측정하도록 구성되어 있다. 센서(35)는, 예컨대 방향성 결합기를 포함한다. 이 방향성 결합기는, 고주파 전원(31)과 정합기(33) 사이에 마련되어 있어도 좋다. 또한, 센서(35)는, 소스 고주파 전력(RF)의 진행파의 파워 레벨(Pf)을 또한 측정하도록 구성되어 있어도 좋다. 센서(35)에 의해 측정된 반사파의 파워 레벨(Pr)은, 고주파 전원(31)에 통지된다. 덧붙여, 진행파의 파워 레벨(Pf)이, 센서(35)로부터 고주파 전원(31)에 통지되어도 좋다.
- [0029] 센서(36)는, 전압 센서 및 전류 센서를 포함한다. 센서(36)는, 고주파 전원(31)과 고주파 전극을 서로 접속하는 급전로에서의 전압(V_{RF}) 및 전류(I_{RF})를 측정하도록 구성되어 있다. 소스 고주파 전력(RF)은, 이 급전로를 경유하여 고주파 전극에 공급된다. 센서(36)는, 고주파 전원(31)과 정합기(33) 사이에 마련되어 있어도 좋다. 급전로에 있어서의 전압(V_{RF}) 및 전류(I_{RF})는, 고주파 전원(31)에 통지된다.
- [0030] 고주파 전원(31)은, 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP) 중 반사파의 파워 레벨(Pr)의 최소값을 갖는 위상 기간(SP_{MIN})(도 3 참조)을 특정한다. 계속해서, 고주파 전원(31)은, 위상 기간(SP_{MIN})에 있어서의 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF}) 간의 위상차를 기준값(Φ)으로서 결정한다. 그리고, 고주파 전원(31)은, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서의 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF}) 간의 위상차(Θ)와 기준값(Φ)의 비교 결과에 따라, 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 주파수 제어를 행한다, 즉, 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 소스 주파수(f_{RF})를 설정한다.
- [0031] 일 실시형태에 있어서, 주파수 제어는, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서, 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF}) 간의 위상차(Θ)가 기준값(Φ)보다 큰 경우에, 소스 주파수(f_{RF})를 상승시켜도 좋다. 즉, 주파수 제어는, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서, 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF}) 간의 위상차(Θ)가 기준값(Φ)보다 큰 경우에, f_{RF} 를, $f_{RF} + \Delta f$ 로 변경하여도 좋다. 또한, 주파수 제어는, 위상차(Θ)가 기준값(Φ)보다 작은 경우에, 소스 주파수(f_{RF})를 저하시켜도 좋다. 즉, 주파수 제어는, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서, 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF}) 간의 위상차(Θ)가 기준값(Φ)보다 작은 경우에, f_{RF} 를, $f_{RF} - \Delta f$ 로 변경하여도 좋다.
- [0032] 일 실시형태에 있어서, 고주파 전원(31)은, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서, 주파수 제어에 의한 소스 주파수(f_{RF})의 조정량(Δf)으로서, 미리 정해진 고정값을 이용하여도 좋다. 혹은, 고주파 전원(31)은, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서, 주파수 제어에 의한 소스 주파수(f_{RF})의 조정량(Δf)을, 위상차(Θ)와 기준값(Φ) 간의 차의 절대값에 따라 조정하여도 좋다. 즉, 고주파 전원은, 위상차(Θ)와 기준값(Φ) 간의 차의 절대값이 클수록, 소스 주파수(f_{RF})의 조정량(Δf)이 커지도록, 주파수 제어를 행하여도 좋다.
- [0033] 일 실시형태에 있어서, 고주파 전원(31)은, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서, 반사파의 파워 레벨(Pr)이 임계값(Pth)보다 큰 경우에, 상기 주파수 제어를 행하여도 좋다. 또한, 고주파 전원(31)은, 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP) 각각에 있어서의 반사파의 파워 레벨(Pr)의 전부가 임계값(Pth) 이하인 경우에, 임계값(Pth)을 저하시켜도 좋다. 임계값(Pth)은, $Pth - \Delta Pth$ 에 의해 저하된다. 임계값(Pth)의 저하량(ΔPth)은, 미리 정해져

있어도 좋다. 또한, 고주파 전원(31)은, 2개 이상의 연속하는 주기(CY)의 모든 위상 기간(SP) 각각에 있어서의 반사파의 파워 레벨(Pr)이 임계값(Pth) 이하인 경우에, 임계값(Pth)을 저하시켜도 좋다.

- [0034] 일 실시형태에 있어서, 고주파 전원(31)은, 신호 발생기(31g) 및 증폭기(31a)를 포함하고 있어도 좋다. 신호 발생기(31g)는, 고주파 신호를 발생시키도록 구성되어 있다. 증폭기(31a)는, 신호 발생기(31g)로부터의 고주파 신호를 증폭하여, 소스 고주파 전력(RF)을 발생시키도록 구성되어 있다. 또한, 전술한 동기 신호는, 신호 발생기(31g)로부터 바이어스 전원(32)에 부여되어도 좋다.
- [0035] 신호 발생기(31g)는, 초기적으로는, 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 사전에 결정된 소스 주파수(f_{RF})를 갖는 고주파 신호를 발생한다. 또한, 신호 발생기(31g)는, 위상 기간(SP_{MIN})을 특정하고, 기준값(Φ)을 결정하고, 그리고, 전술한 주파수 제어에 의해 조정된 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 소스 주파수(f_{RF})를 갖는 고주파 신호를 발생시킨다.
- [0036] 일 실시형태에 있어서, 신호 발생기(31g)는, 프로세서 및 D/A 변환기를 갖고 있어도 좋다. 신호 발생기(31g)는, 프로세서로부터 출력되는 디지털 신호를, D/A 변환기에 있어서 고주파 신호, 즉 아날로그 신호로 변환하여도 좋다. 신호 발생기(31g)의 프로세서는, 위상 기간(SP_{MIN})을 특정하고, 기준값(Φ)을 결정하고, 전술한 주파수 제어에 의해 조정된 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 소스 주파수(f_{RF})를 갖는 디지털 신호를 발생시켜도 좋다.
- [0037] 플라즈마 처리 장치(1)에서는, 반사파의 파워 레벨(Pr)의 최소값을 갖는 위상 기간(SP_{MIN})에 있어서의 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF})의 위상차가 기준값(Φ)으로서 결정된다. 즉, 상호 변조 왜곡 성분 및 고조파 성분을 포함할 수 있는 반사파의 영향이 저감된 위상차가 기준값(Φ)으로서 얻어진다. 그리고, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서, 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF}) 간의 위상차(θ)와 기준값(Φ)의 비교 결과에 따라, 소스 주파수(f_{RF})가 조정된다. 그 결과, 소스 고주파 전력(RF)의 반사파의 파워 레벨이 저감된다.
- [0038] 이하, 도 4를 참조한다. 도 4는 하나의 예시적 실시형태에 따른 제어 방법의 흐름도이다. 도 4에 나타내는 제어 방법(이하, 「방법(MT)」이라고 함)은, 플라즈마 처리 장치(1)에 적용될 수 있다.
- [0039] 방법(MT)은, 공정 STa에서 개시한다. 공정 STa에서는, 전기 바이어스 에너지(BE)가, 바이어스 전원(32)으로부터 기판 지지부(11)에 공급된다. 전기 바이어스 에너지(BE)는, 주기(CY)로 주기적으로 공급된다.
- [0040] 공정 STb는, 공정 STa에 있어서 전기 바이어스 에너지(BE)가 기판 지지부(11)에 공급되고 있을 때에 행해진다. 공정 STb에서는, 챔버(10) 내에서 가스로부터 플라즈마를 생성하기 위해, 소스 고주파 전력(RF)이 고주파 전원(31)으로부터 고주파 전극에 공급된다. 초기적으로 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서 이용되는 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수(f_{RF})는, 전술한 바와 같이 사전에 결정되어 있다.
- [0041] 공정 STc에서는, 전술한 바와 같이 위상 기간(SP_{MIN})이 특정된다. 그리고, 공정 STd에서는, 전술한 바와 같이 기준값(Φ)이 결정된다.
- [0042] 공정 STe에서는, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서의 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF}) 간의 위상차(θ)와 기준값(Φ)의 비교 결과에 따라, 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 주파수 제어가 행해진다. 즉, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서의 위상차(θ)와 기준값(Φ)의 비교 결과에 따라, 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수(f_{RF})가 설정된다. 주파수 제어는, 전술한 바와 같이, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서, 위상차(θ)가 기준값(Φ)보다 큰 경우에, 소스 주파수(f_{RF})를 상승시켜도 좋고, 위상차(θ)가 기준값(Φ)보다 작은 경우에, 소스 주파수(f_{RF})를 저하시켜도 좋다.
- [0043] 일 실시형태에 있어서, 공정 STe는, 도 4에 나타내는 바와 같이, 공정 STe1~공정 STe7을 포함하고 있어도 좋다. 공정 STe1에서는, n이 1로 설정된다. 그리고, 공정 STe2에 있어서, 반사파의 파워 레벨(Pr(n))이 임계값(Pth)보다 큰지의 여부가 판정된다. Pr(n)은, 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP) 중 n번째의 위상 기간(SP(n))에 있어서의 반사파의 파워 레벨(Pr)이다.
- [0044] 공정 STe2에 있어서 반사파의 파워 레벨(Pr(n))이 임계값(Pth) 이하라고 판정된 경우에는, 처리는, 공정 STe6으로 진행한다. 한편, 공정 STe2에 있어서 반사파의 파워 레벨(Pr(n))이 임계값(Pth)보다 크다고 판정된 경우에는, 처리는, 공정 STe3으로 진행한다. 또한, 방법(MT)은, 공정 STe2를 포함하지 않아도 좋다.

- [0045] 공정 STe3에서는, 위상차($\theta(n)$)가 기준값(Φ)보다 큰지의 여부가 판정된다. $\theta(n)$ 은, 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP) 중 n 번째의 위상 기간(SP(n))에 있어서의 전압(V_{RF})과 전류(I_{RF}) 간의 위상차(θ)이다.
- [0046] 공정 STe3에 있어서 위상차($\theta(n)$)가 기준값(Φ)보다 크다고 판정된 경우에는, 공정 STe4에 있어서, 소스 주파수($f_{RF}(n)$)가 상승된다. 또한, $f_{RF}(n)$ 은, 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP) 중 n 번째의 위상 기간(SP(n))을 위한 소스 주파수(f_{RF})이다. 한편, 공정 STe3에 있어서 위상차($\theta(n)$)가 기준값(Φ)보다 작다고 판정된 경우에는, 공정 STe5에 있어서, 소스 주파수($f_{RF}(n)$)가 저하된다.
- [0047] 공정 STe6에서는, n 이 1만큼 증분된다. 그리고, 공정 STe7에서는, n 이 N 보다 큰지의 여부가 판정된다. N 은, 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP)의 수이다. n 이 N 이하이면, 공정 STe2로부터의 처리가 반복된다. 한편, n 이 N 보다 큰 경우에는, 처리는, 공정 STf로 진행한다.
- [0048] 공정 STf에서는, 갱신 조건이 만족되는지의 여부가 판정된다. 갱신 조건은, 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP) 각각에 있어서의 반사파의 파워 레벨(Pr)의 전부가 임계값(Pth) 이하인 경우에 만족된다. 갱신 조건은, 2개 이상의 연속하는 주기(CY)의 모든 위상 기간(SP) 각각에 있어서의 반사파의 파워 레벨(Pr)이 임계값(Pth) 이하인 경우에 만족되어도 좋다. 갱신 조건이 만족되는 경우에는, 공정 STg에 있어서 임계값(Pth)이 저하된다.
- [0049] 갱신 조건이 만족되지 않는 경우, 혹은, 공정 STg에 있어서 임계값(Pth)이 저하된 후에, 처리는, 공정 STa로 진행한다. 또한, 방법(MT)은, 공정 STf 및 공정 STg를 포함하지 않아도 좋다.
- [0050] 공정 STa에서는, 다음 주기(CY)에 있어서의 전기 바이어스 에너지의 공급이 행해지고, 공정 STb에서는, 당해 주기(CY)에 있어서의 소스 고주파 전력(RF)의 공급이 행해진다. 공정 STb에서는, 공정 STe에 있어서 설정된 복수의 위상 기간(SP) 각각을 위한 소스 주파수(f_{RF})를 갖는 소스 고주파 전력(RF)이 공급된다. 그리고, 공정 STc로부터의 처리가 계속된다. 이러한 방법(MT)은, 종료 조건이 만족된 경우에 종료한다. 종료 조건은, 레시피 데이터에 있어서 지정될 수 있다.
- [0051] 이하, 초기적으로 주기(CY) 내의 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서 이용되는 소스 주파수(f_{RF})의 결정에 대해서 몇 가지인가의 예를 나타낸다. 또한, 이하에 설명하는 예의 소스 주파수(f_{RF})의 결정은, 고주파 전원(31)(또는 그 프로세서)에 의해 행해진다. 소스 주파수(f_{RF})의 결정은, 신호 발생기(31g)의 프로세서에 의해 행해져도 좋다. 소스 주파수(f_{RF})의 결정은, 별도의 제어부에 의해 행해져도 좋다.
- [0052] [소스 주파수(f_{RF})의 결정의 제1 예]
- [0053] 도 5는 소스 주파수의 결정의 제1 예에 관련된 타이밍 차트이다. 이하에 설명하는 어떤 예에 있어서도, 소스 주파수(f_{RF})는, 전기 바이어스 에너지(BE)와 소스 고주파 전력(RF)이 함께 공급되고 있는 중복 기간에 있어서 조정된다. 중복 기간은, 도 5에 나타내는 바와 같이, 복수의 주기(CY), 즉 M 개의 주기(CY(1)~CY(M))를 포함한다. 복수의 주기(CY)의 각각은, 복수의 위상 기간(SP), 즉 N 개의 위상 기간(SP(1)~SP(N))을 포함한다. 이하의 설명에 있어서, 위상 기간(SP(n))은, 위상 기간(SP(1)~SP(N)) 중, n 번째의 위상 기간을 나타낸다. 또한, 위상 기간(SP(m, n))은, m 번째의 주기(CY(m))에 있어서의 n 번째의 위상 기간(SP(n))을 나타낸다.
- [0054] 제1 예 및 후술하는 제2 예에 있어서, 고주파 전원(31)은, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서의 측정값으로부터 대표값(RV)을 생성한다. 측정값은, 센서(35)에 의해 취득되는 반사파의 파워 레벨(Pr)이어도 좋다. 측정값은, 소스 고주파 전력(RF)의 출력 파워 레벨에 대한 반사파의 파워 레벨(Pr)의 비의 값이어도 좋다. 측정값은, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서 센서(36)에 의해 취득되는 전압과 전류의 위상차여도 좋다. 대표값(RV)은, 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서의 당해 측정값의 평균값 또는 최대값이어도 좋다. 이하의 설명에 있어서, 대표값(RV(n))은, 위상 기간(SP(1)~SP(N)) 중, n 번째의 위상 기간(SP(n))에 있어서 취득되는 대표값(RV)을 나타낸다. 또한, 대표값(RV(m, n))은, m 번째의 주기(CY) 내의 n 번째의 위상 기간에 있어서 취득되는 대표값(RV)을 나타낸다.
- [0055] 제1 예에 있어서, 고주파 전원(31)은, 복수의 주기(CY)의 동일한 위상 기간(SP(n))에 있어서 이용하는 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수(f_{RF})를 서로 다른 복수의 주파수로 각각 설정한다. 고주파 전원(31)은, 복수의 주기(CY)의 동일한 위상 기간(SP(n))에 있어서 취득된 대표값(RV(n))을 비교함으로써, 복수의 주파수 중 소스 고주파 전력(RF)의 반사를 가장 억제하는 주파수를 선택한다. 예컨대, 고주파 전원(31)은, 소스 고주파 전력(RF)

의 반사파의 파워 레벨(Pr)을 최소화하는 주파수를 선택한다. 고주파 전원(31)은, 선택한 주파수를 이후의 주기(CY) 내의 위상 기간(SP(n))을 위한 소스 주파수(f_{RF})로서 결정한다.

[0056] [소스 주파수(f_{RF})의 결정의 제2 예]

[0057] 도 6은 소스 주파수의 결정의 제2 예에 관련된 타이밍 차트이다. 도 6에 나타내는 바와 같이, 제2 예에 있어서, 고주파 전원(31)은, 주기(CY(m)) 내의 위상 기간(SP(n)), 즉 위상 기간(SP(m, n))에 있어서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수(f_{RF})를, 대표값(RV(n))의 변화에 따라, 조정하도록 구성되어 있다. 대표값(RV(n))의 변화는, 주기(CY(m)) 전의 2개 이상의 주기(CY) 각각에 있어서의 대응하는 위상 기간(SP(n))에 있어서 서로 다른 소스 고주파 전력(RF)의 주파수를 이용함으로써 특정된다.

[0058] 주기(CY(m)) 전의 2개 이상의 주기(CY)는, 제1 주기 및 제2 주기를 포함한다. 도 6의 예에 있어서, 제1 주기는, 주기(CY(m-Q(2)))이고, 제2 주기는, 제1 주기 후의 주기이고, 주기(CY(m-Q(1)))이다. Q(1)은 1 이상의 정수이고, Q(2)는 2 이상의 정수이고, Q(1)<Q(2)가 만족된다.

[0059] 고주파 전원(31)은, 위상 기간(SP(m-Q(1), n))에 있어서의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수($f(m-Q(1), n)$)에, 위상 기간(SP(m-Q(2), n))에 있어서의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수로부터의 한쪽의 주파수 시프트를 부여한다. 여기서, $f(m, n)$ 은, 위상 기간(SP(m, n))에서 이용되는 소스 고주파 전력(RF)의 주파수를 나타낸다. $f(m, n)$ 은, $f(m, n)=f(m-Q(1), n)+\Delta(m, n)$ 으로 나타낸다. $\Delta(m, n)$ 은, 주파수 시프트의 양을 나타낸다. 한쪽의 주파수 시프트는, 주파수의 감소 및 주파수의 증가 중 한쪽이다. 한쪽의 주파수 시프트가 주파수의 감소이면, $\Delta(m, n)$ 은 음의 값을 갖는다. 한쪽의 주파수 시프트가 주파수의 증가이면, $\Delta(m, n)$ 은 양의 값을 갖는다.

[0060] 또한, 도 6에 있어서, 주기(CY(m-Q(2)))에 있어서의 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수는, 서로 동일하고, f_0 이지만, 서로 달라도 좋다. 또한, 도 6에 있어서, 주기(CY(m-Q(1)))에 있어서의 복수의 위상 기간(SP)의 각각에 있어서의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수는, 서로 동일하고, 주파수(f_0)로부터 감소된 주파수로 설정되어 있지만, 주파수(f_0)로부터 증가되어도 좋다.

[0061] 고주파 전원(31)은, 주파수 시프트에 의한 소스 고주파 전력(RF)의 반사의 정도(예컨대, 반사파의 파워 레벨(Pr))의 증감을, 대표값(RV(m-Q(2), n))과 대표값(RV(m-Q(1), n)) 간의 변화로부터 특정한다. 한쪽의 주파수 시프트에 의해 소스 고주파 전력(RF)의 반사의 정도가 감소하고 있는 경우에는, 고주파 전원(31)은, 주파수($f(m, n)$)를, 주파수($f(m-Q(1), n)$)에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정한다.

[0062] 위상 기간(SP(m, n))에 있어서의 한쪽의 주파수 시프트의 양($\Delta(m, n)$)은, 위상 기간(SP(m-Q(1), n))에 있어서의 한쪽의 주파수 시프트의 양($\Delta(m-Q(1), n)$)과 동일하여도 좋다. 즉, 주파수 시프트의 양($\Delta(m, n)$)의 절대값은, 주파수 시프트의 양($\Delta(m-Q(1), n)$)과 동일하여도 좋다. 혹은, 주파수 시프트의 양($\Delta(m, n)$)의 절대값은, 주파수 시프트의 양($\Delta(m-Q(1), n)$)보다 커도 좋다. 혹은, 주파수 시프트의 양($\Delta(m, n)$)의 절대값은, 위상 기간(SP(m-Q(1), n))에 있어서의 반사의 정도가 클수록 커지도록, 설정되어도 좋다. 예컨대, 주파수 시프트의 양($\Delta(m, n)$)의 절대값은, 반사의 정도의 함수에 의해 결정되어도 좋다.

[0063] 한쪽의 주파수 시프트에 의해 소스 고주파 전력(RF)의 반사의 정도가 증가하는 경우가 생길 수 있다. 이 경우에는, 고주파 전원(31)은, 주파수($f(m, n)$)를, 주파수($f(m-Q(1), n)$)에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다. 또한, 주기(CY(m)) 전의 2개 이상의 주기의 각각의 위상 기간(SP(n))의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수가, 그 전의 주기의 위상 기간(SP(n))의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖도록 갱신되어도 좋다. 이 경우에 있어서, 당해 2개 이상의 주기의 위상 기간(SP(n)) 각각의 소스 고주파 전력(RF)의 반사의 정도가 증가 경향에 있는 경우에는, 다른 쪽의 주파수 시프트가, 주기(CY(m))의 위상 기간(SP(n))의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수에 부여되어도 좋다. 예컨대, 주기(CY(m))의 위상 기간(SP(n))의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수는, 당해 2개 이상의 주기 중 가장 빠른 주기의 소스 고주파 전력의 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정되어도 좋다.

[0064] 한쪽의 주파수 시프트에 의해 위상 기간(SP(m, n))의 소스 고주파 전력(RF)의 반사의 정도가 위상 기간(SP(m-Q(1), n))의 소스 고주파 전력(RF)의 반사의 정도로부터 증가한 경우에는, 고주파 전원(31)은, 주기(CY(m+Q(1))) 내의 위상 기간(SP(n))에 있어서의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수를 중간 주파수로 설정하여도 좋다. 주기(CY(m+Q(1)))는, 주기(CY(m)) 후의 제3 주기이다. 위상 기간(SP(m+Q(1), n))에 있어서 설정될 수 있는 중간 주파수는, $f(m-Q(1), n)$ 과 $f(m, n)$ 사이의 주파수이고, $f(m-Q(1), n)$ 과 $f(m, n)$ 의 평균값이어도 좋다.

다.

- [0065] 위상 기간($SP(m+Q(1), n)$)에 있어서 중간의 주파수를 이용한 경우의 소스 고주파 전력(RF)의 반사의 정도(예컨대, 반사파의 파워 레벨(Pr))가 소정의 임계값보다 커지는 경우가 생길 수 있다. 이 경우에, 고주파 전원(31)은, 주기($CY(m+Q(2))$) 내의 위상 기간($SP(n)$)에 있어서의 소스 고주파 전력(RF)의 주파수를, 중간의 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다. 주기($CY(m+Q(2))$)는, 주기($CY(m+Q(2))$) 후의 제4 주기이다. 임계값은, 미리 정해져 있다. 다른 쪽의 주파수 시프트의 양($\Delta(m+Q(2), n)$)의 절대값은, 한쪽의 주파수 시프트의 양($\Delta(m, n)$)의 절대값보다 크다. 이 경우에는, 소스 고주파 전력(RF)의 반사량을 극부적인 극소값으로부터 감소시킬 수 없게 되는 것을 회피하는 것이 가능해진다. 또한, 복수의 주기(CY)의 각각에 있어서의 복수의 위상 기간(SP)의 각각을 위한 임계값은, 서로 동일하여도 좋고, 달라도 좋다.
- [0066] 제2 예에 있어서는, 주기($CY(M)$)의 위상 기간($SP(1)\sim SP(N)$) 각각을 위해 설정된 소스 고주파 전력(RF)의 주파수가, 위상 기간($SP(1)\sim SP(N)$) 각각의 소스 주파수(f_{RF})로서 결정된다.
- [0067] [소스 주파수(f_{RF})의 결정의 제3 예]
- [0068] 제3 예에서는, 주기(CY) 내의 각 위상 기간(SP)에 있어서, 복수의 주파수 오프셋의 각각과 기준 주파수의 가산에 의해 결정되는 주파수가, 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수(f_{RF})로서 이용된다. 복수의 주파수 오프셋의 각각은 양 또는 음의 값을 갖는다. 그리고, 플라즈마에 전달되는 소스 고주파 전력(RF)의 파워 레벨을 최대화하는 각 위상 기간(SP)을 위한 주파수 오프셋이 결정된다. 또한, 플라즈마에 전달되는 소스 고주파 전력(RF)의 파워 레벨은, 소스 고주파 전력(RF)의 진행파의 파워 레벨과 반사파의 파워 레벨의 차이 수 있다. 복수의 위상 기간(SP) 각각을 위한 결정된 주파수 오프셋은 테이블에 저장된다. 고주파 전원(31)은, 각 주기(CY) 내의 각 위상 기간(SP)에 있어서, 기준 주파수와 테이블에 저장되어 있는 대응하는 주파수 오프셋의 가산에 의해 결정되는 주파수를, 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수(f_{RF})로서 이용한다.
- [0069] 이상, 여러 가지 예시적 실시형태에 대해서 설명하여 왔지만, 기술한 예시적 실시형태에 한정되는 일없이, 여러 가지 추가, 생략, 치환, 및 변경이 이루어져도 좋다. 또한, 다른 실시형태에 있어서의 요소를 조합하여 다른 실시형태를 형성하는 것이 가능하다.
- [0070] 다른 실시형태에 있어서는, 플라즈마 처리 장치는, 유도 결합형의 플라즈마 처리 장치, ECR 플라즈마 처리 장치, 헬리콘과 여기 플라즈마 처리 장치, 또는 표면파 플라즈마 처리 장치여도 좋다. 어떤 플라즈마 처리 장치에 있어서도, 소스 고주파 전력(RF)은, 플라즈마의 생성을 위해 이용된다.
- [0071] 여기서, 본 개시에 포함되는 여러 가지 예시적 실시형태를, 이하의 [E1]~[E14]에 기재한다.
- [0072] [E1] 챔버와,
- [0073] 상기 챔버 내에 마련된 기관 지지부와,
- [0074] 상기 기관 지지부에 전기적으로 결합되어 있고, 전기 바이어스 에너지를 발생시키도록 구성된 바이어스 전원으로서, 상기 전기 바이어스 에너지는, 바이어스 주파수를 갖고, 상기 바이어스 주파수의 역수의 시간 길이를 갖는 바이어스 주기로 주기적으로 발생하는, 상기 바이어스 전원과,
- [0075] 고주파 전극에 전기적으로 접속되어 있고, 상기 챔버 내에서 가스로부터 플라즈마를 생성하기 위해 소스 고주파 전력을 발생시키도록 구성된 고주파 전원과,
- [0076] 상기 소스 고주파 전력의 부하로부터의 반사파의 파워 레벨을 측정하도록 구성된 제1 센서와,
- [0077] 상기 고주파 전원과 상기 고주파 전극을 서로 접속하는 급전로에서의 전압 및 전류를 측정하도록 구성된 제2 센서를 구비하고,
- [0078] 상기 고주파 전원은,
- [0079] 상기 바이어스 주기 내의 복수의 위상 기간 중 상기 반사파의 상기 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간을 특정하고,
- [0080] 특정된 상기 위상 기간에 있어서의 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 위상차를 기준값으로서 결정하고,
- [0081] 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서의 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 위상차와 상기 기준

값의 비교 결과에 따라, 상기 복수의 위상 기간의 각각을 위한 상기 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하는 주파수 제어를 행하도록 구성되어 있는, 플라즈마 처리 장치.

- [0082] E1의 실시형태에서는, 반사파의 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간에 있어서의 전압과 전류의 위상차가 기준값으로서 결정된다. 즉, 상호 변조 왜곡 성분 및 고조파 성분을 포함할 수 있는 반사파의 영향이 저감된 위상차가 기준값으로서 얻어진다. 그리고, 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 전압과 전류 간의 위상차와 기준값의 비교 결과에 따라, 소스 주파수가 조정된다. 그 결과, 소스 고주파 전력의 반사파의 파워 레벨이 저감된다.
- [0083] [E2] 상기 주파수 제어는, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 상기 위상차가 상기 기준값보다 큰 경우에, 상기 소스 주파수를 상승시키고, 상기 위상차가 상기 기준값보다 작은 경우에, 상기 소스 주파수를 저하시키는 것인, E1에 기재된 플라즈마 처리 장치.
- [0084] [E3] 상기 고주파 전원은, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 주파수 제어에 의한 상기 소스 주파수의 조정량을, 상기 위상차와 상기 기준값 간의 차의 절대값에 따라 조정하도록 구성되어 있는 것인, E1 또는 E2에 기재된 플라즈마 처리 장치.
- [0085] [E4] 상기 고주파 전원은, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 반사파의 파워 레벨이 임계값보다 큰 경우에, 상기 주파수 제어를 행하도록 구성된 것인, E1~E3 중 어느 한 항에 기재된 플라즈마 처리 장치.
- [0086] [E5] 상기 고주파 전원은, 상기 바이어스 주기 내의 상기 복수의 위상 기간 각각에 있어서 상기 제1 센서에 의해 취득되는 상기 반사파의 파워 레벨의 전부가 임계값 이하인 경우에, 상기 임계값을 저하시키는 것인, E4에 기재된 플라즈마 처리 장치.
- [0087] [E6] 상기 고주파 전원은, 고주파 신호를 발생시키도록 구성된 신호 발생기와,
- [0088] 상기 고주파 신호를 증폭하여 상기 소스 고주파 전력을 발생시키도록 구성된 증폭기를 포함하고,
- [0089] 상기 신호 발생기는,
- [0090] 상기 반사파의 상기 파워 레벨의 최소값을 갖는 상기 위상 기간을 특정하고,
- [0091] 상기 기준값을 결정하고,
- [0092] 상기 주파수 제어에 의해 조정된 상기 복수의 위상 기간의 각각을 위한 상기 소스 주파수를 갖는 상기 고주파 신호를 발생시키도록 구성된 것인, E1~E5 중 어느 한 항에 기재된 플라즈마 처리 장치.
- [0093] [E7] 상기 전기 바이어스 에너지는, 상기 바이어스 주파수를 갖는 바이어스 고주파 전력이거나, 상기 바이어스 주파수의 역수인 시간 간격으로 주기적으로 발생하는 전압의 펄스인 것인, E1~E6 중 어느 한 항에 기재된 플라즈마 처리 장치.
- [0094] [E8] 상기 플라즈마 처리 장치는, 용량 결합형의 플라즈마 처리 장치이고,
- [0095] 상기 고주파 전극은, 상기 기관 지지부 내에 마련되어 있거나, 상기 기관 지지부의 상방에 마련된 상부 전극인 것인, E1~E7 중 어느 한 항에 기재된 플라즈마 처리 장치.
- [0096] [E9] 플라즈마 처리 장치의 챔버 내에 마련된 기관 지지부에 공급되는 전기 바이어스 에너지를 발생시키도록 구성된 바이어스 전원으로서, 상기 전기 바이어스 에너지는, 바이어스 주파수를 갖고, 상기 바이어스 주파수의 역수의 시간 길이를 갖는 바이어스 주기로 주기적으로 발생하는, 상기 바이어스 전원과,
- [0097] 상기 챔버 내에서 가스로부터 플라즈마를 생성하기 위해 고주파 전극에 공급되는 소스 고주파 전력을 발생시키도록 구성된 고주파 전원을 구비하고,
- [0098] 상기 고주파 전원은,
- [0099] 상기 바이어스 주기 내의 복수의 위상 기간 중 상기 소스 고주파 전력의 반사파의 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간을 특정하고,
- [0100] 특정된 상기 위상 기간에 있어서의 상기 고주파 전원과 상기 고주파 전극 간의 급전로에서의 전압과 전류의 위상차를 기준값으로서 결정하고,
- [0101] 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서의 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 위상차와 상기 기준값의 비교 결과에 따라, 상기 복수의 위상 기간의 각각을 위한 상기 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하

는 주파수 제어를 행하도록 구성되어 있는 것인, 전원 시스템.

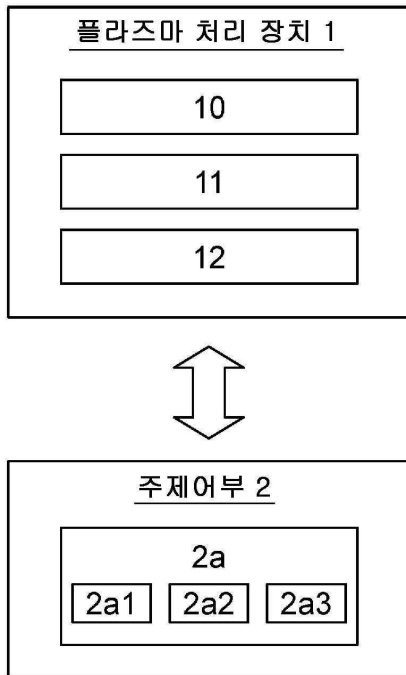
- [0102] [E10] 상기 주파수 제어는, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 상기 위상차가 상기 기준값보다 큰 경우에, 상기 소스 주파수를 상승시키고, 상기 위상차가 상기 기준값보다 작은 경우에, 상기 소스 주파수를 저하시키는 것인, E9에 기재된 전원 시스템.
- [0103] [E11] (a) 플라즈마 처리 장치의 챔버 내에 마련된 기관 지지부에 바이어스 전원으로부터 바이어스 주파수를 갖는 전기 바이어스 에너지를 공급하는 공정으로서, 상기 전기 바이어스 에너지는, 바이어스 주파수를 갖고, 상기 바이어스 주파수의 역수의 시간 길이를 갖는 바이어스 주기로 주기적으로 공급되는, 상기 공정과,
- [0104] (b) 상기 챔버 내에서 가스로부터 플라즈마를 생성하기 위해 고주파 전원으로부터 고주파 전극에 소스 고주파 전력을 공급하는 공정과,
- [0105] (c) 상기 바이어스 주기 내의 복수의 위상 기간 중 상기 소스 고주파 전력의 부하로부터의 반사파의 파워 레벨의 최소값을 갖는 위상 기간을 특정하는 공정과,
- [0106] (d) 기준값을 결정하는 공정으로서, 상기 (c)에 있어서 특정된 상기 위상 기간에 있어서의 상기 고주파 전원과 상기 고주파 전극을 서로 접속하는 급전로에서의 전압과 전류의 위상차가, 상기 기준값으로서 결정되는, 상기 공정과,
- [0107] (e) 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서의 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 위상차와 상기 기준값과의 비교 결과에 따라, 상기 복수의 위상 기간의 각각을 위한 상기 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하는 주파수 제어를 행하는 공정을 포함하는, 제어 방법.
- [0108] [E12] 상기 주파수 제어는, 상기 복수의 위상 기간의 각각에 있어서, 상기 급전로에서의 상기 전압과 상기 전류 간의 상기 위상차가 상기 기준값보다 큰 경우에, 상기 소스 주파수를 상승시키고, 상기 위상차가 상기 기준값보다 작은 경우에, 상기 소스 주파수를 저하시키는 것인, E11에 기재된 제어 방법.
- [0109] [E13] E11 또는 E12에 기재된 제어 방법을 플라즈마 처리 장치에 의해 실행시키도록, 상기 플라즈마 처리 장치의 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램.
- [0110] [E14] E13에 기재된 프로그램을 기억한 기억 매체.
- [0111] 이상의 설명으로부터, 본 개시의 여러 가지 실시형태는, 설명의 목적으로 본 명세서에서 설명되어 있고, 본 개시의 범위 및 주지로부터 일탈하는 일없이 여러 가지의 변경을 이룰 수 있는 것이, 이해될 것이다. 따라서, 본 명세서에 개시한 여러 가지 실시형태는 한정하는 것을 의도하지 않고, 참된 범위와 주지는, 첨부된 청구범위에 의해 나타난다.

부호의 설명

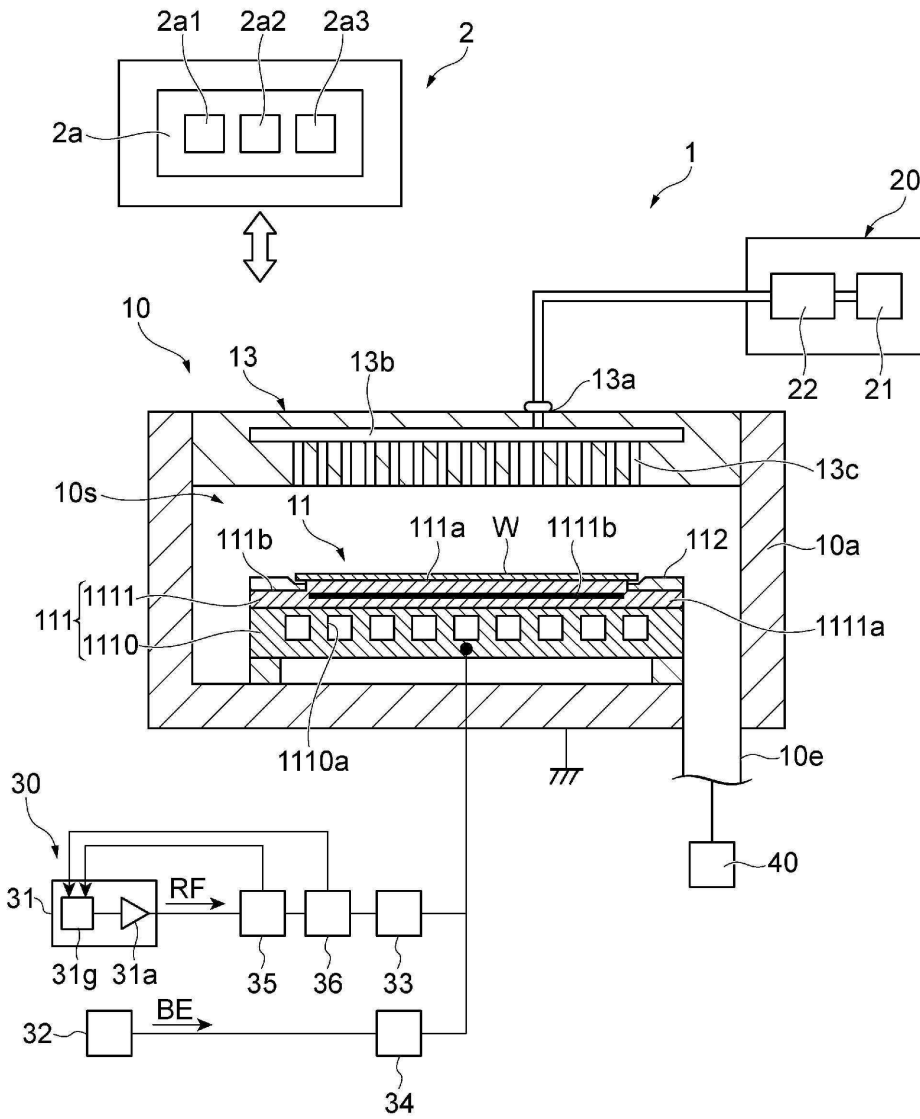
- [0112] 1...플라즈마 처리 장치, 10...챔버, 11...기관 지지부, 30...전원 시스템, 31...고주파 전원, 32...바이어스 전원, 35...센서, 36...센서.

도면

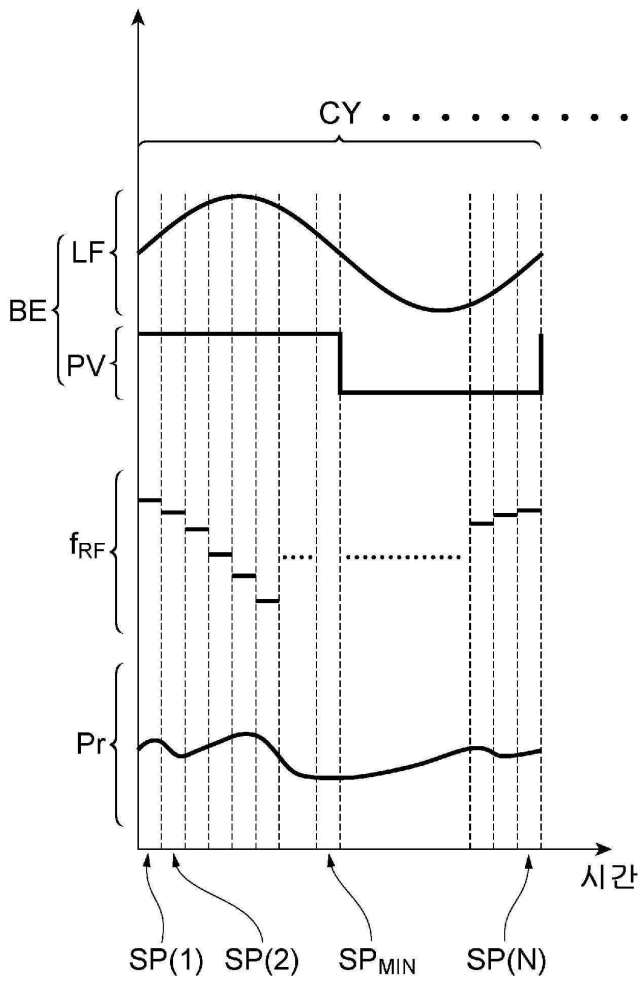
도면1



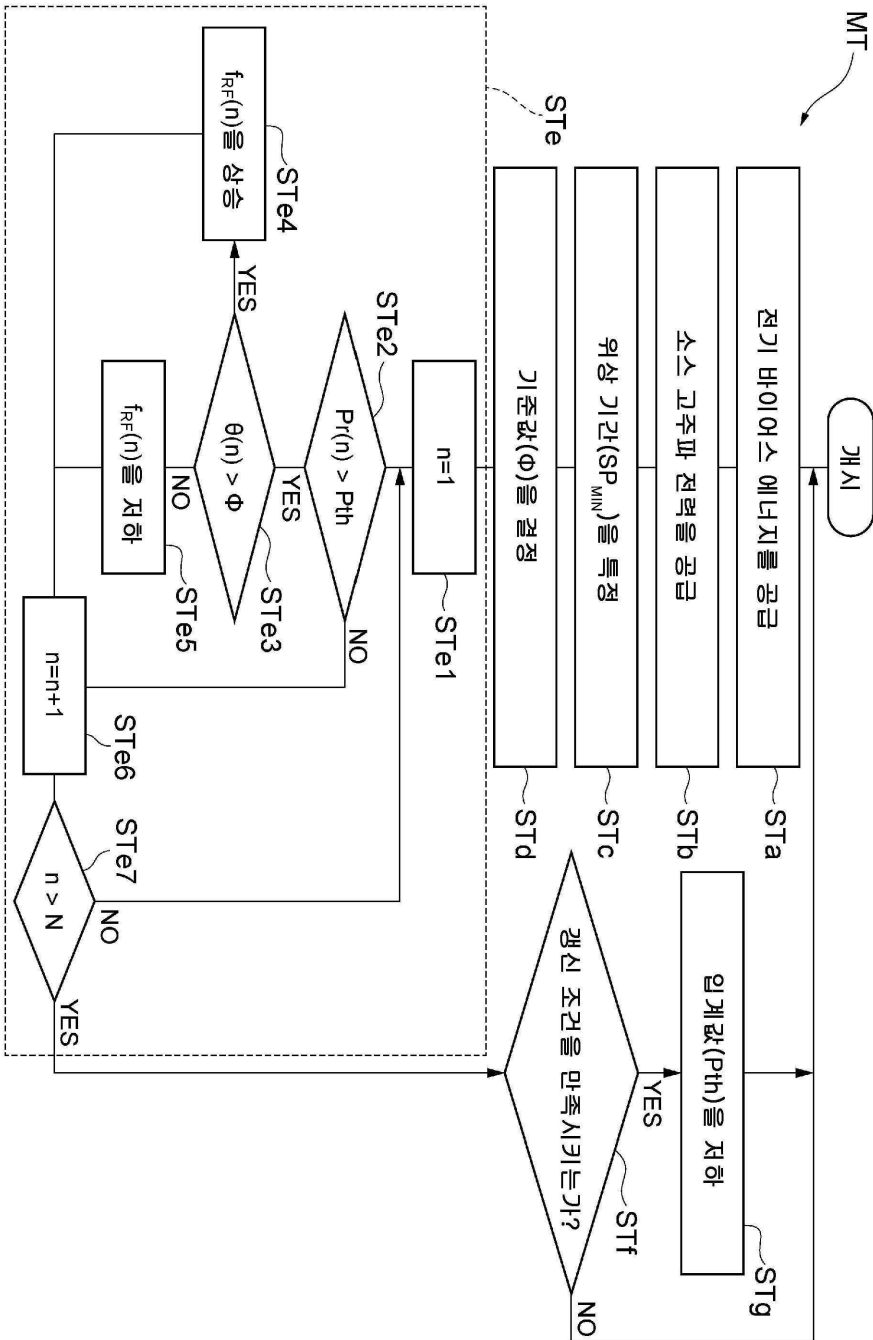
도면2



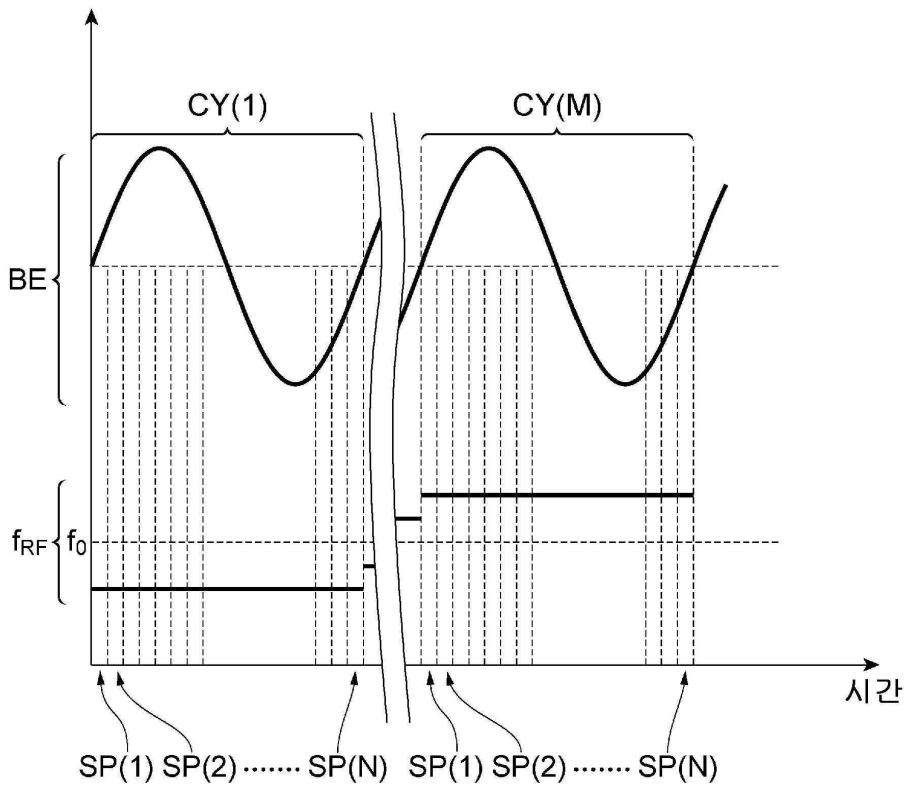
도면3



도면4



도면5



도면6

