



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년03월25일
(11) 등록번호 10-2786710
(24) 등록일자 2025년03월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/32174 (2013.01)
H01J 37/32146 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-702777
- (22) 출원일자(국제) 2022년01월21일
심사청구일자 2024년02월21일
- (85) 번역문제출일자 2023년08월16일
- (65) 공개번호 10-2023-0133885
- (43) 공개일자 2023년09월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2022/002200
- (87) 국제공개번호 WO 2022/163530
국제공개일자 2022년08월04일
- (30) 우선권주장
JP-P-2021-012985 2021년01월29일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
JP2020526007 A
JP2017174537 A
JP2013033860 A
WO2005057993 A1

- (73) 특허권자
도쿄엘렉트론가부시키키가이샤
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1고
- (72) 발명자
교시미즈 치시오
일본 9813629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈1 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 13 항

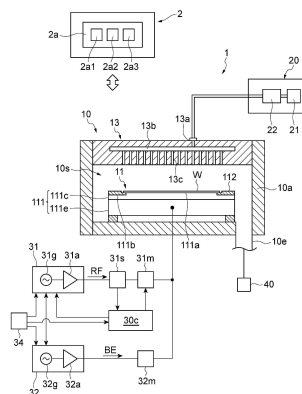
심사관 : 최동기

(54) 발명의 명칭 플라즈마 처리 장치 및 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 제어하는 방법

(57) 요약

개시되는 플라즈마 처리 장치는 챔버, 기관 지지부, 고주파 전원 및 바이어스 전원을 구비한다. 고주파 전원은 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 소스 고주파 전력을 발생한다. 바이어스 전원은 복수의 펄스 기간 각각에 있어서 바이어스 에너지의 펄스를 바이어스 전극에 부여한다. 고주파 전원은 복수의 펄스 기간에 각각 중복되는 복수의 중복 기간 각각의 기간 중의 복수의 위상 기간 각각에 있어서의 소스 고주파 전력의 소스 주파수를, 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 설정한다. 반사 정도는 2개 이상의 선행되는 중복 기간 내의 동일한 위상 기간에 있어서 서로 다른 소스 주파수를 이용함으로써 특정된다.

대표도 - 도2



명세서

청구범위

청구항 1

플라즈마 처리 장치에 있어서,

챔버와,

바이어스 전극을 가지며 상기 챔버 내에 설치된 기관 지지부와,

상기 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 소스 고주파 전력을 발생하도록 구성된 고주파 전원과,

복수의 펄스 기간 각각에서 바이어스 에너지의 펄스를 바이어스 전극에 부여하도록 구성된 바이어스 전원을 포함하고,

상기 바이어스 전원은, 상기 복수의 펄스 기간 각각에서 파형 주기를 갖는 상기 바이어스 에너지를 상기 바이어스 전극에 주기적으로 부여하도록 구성되어 있고,

상기 고주파 전원은,

상기 복수의 펄스 기간과 각각 중복되는 복수의 중복 기간 각각에 포함되는 상기 바이어스 에너지의 복수의 파형 주기 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 각각에서의 상기 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하도록 구성되어 있고,

상기 복수의 중복 기간 중 k번째 중복 기간 내의 상기 바이어스 에너지의 m번째 파형 주기 내의 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를, 상기 복수의 중복 기간 중 상기 k번째 중복 기간의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서 서로 다른 상기 소스 주파수를 이용한 경우의 상기 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 조정하는 펄스 간 피드백을 행하도록 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 2개 이상의 중복 기간은, $(k-K_1)$ 번째 중복 기간과 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간을 포함하며, 여기서, K_1 및 K_2 는 $K_1 > K_2$ 를 만족하는 자연수이고,

상기 펄스 간 피드백은, 상기 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수에, 상기 $(k-K_1)$ 의 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수로부터의 감소 및 증가 중 한쪽의 주파수 시프트를 부여함으로써 상기 반사 정도가 저하한 경우에, 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를, 상기 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수에 대하여 상기 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하는 것을 포함하는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 펄스 간 피드백은, 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를, 상기 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수에 대하여 상기 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 상기 주파수로 설정함으로써 상기 반사 정도가 증대된 경우에는, 상기 복수의 중복 기간 내 중 상기 k번째 중복 기간의 뒤의 $(k+K_3)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를, 상기 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수와 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째

파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수 사이의 중간의 주파수로 설정하는 것을 더 포함하는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 펄스 간 피드백은, 상기 $(k+K_3)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서 상기 중간의 주파수를 이용한 경우의 상기 반사 정도가 역치보다 큰 경우에, 상기 복수의 중복 기간 중 상기 $(k+K_3)$ 번째 중복 기간의 뒤의 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를, 상기 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치보다 큰 절대치의 양을 갖는 다른 쪽의 주파수 시프트를 상기 중간의 주파수에 대하여 갖는 주파수로 설정하는 것을 더 포함하는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수의 상기 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치는, 상기 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수의 상기 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치보다 큰 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 2개 이상의 중복 기간은, $(k-K_1)$ 번째 중복 기간과 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간을 포함하고, 여기서, K_1 및 K_2 는 자연수이며, $K_1 > K_2$ 이고,

상기 펄스 간 피드백은, 상기 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수에, 상기 $(k-K_1)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수로부터의 감소 및 증가 중 한쪽의 주파수 시프트를 부여함으로써 상기 반사 정도가 증대된 경우에, 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를, 상기 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간 내의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하는 것을 포함하는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 바이어스 에너지는, 상기 파형 주기의 시간 길이의 역수인 바이어스 주파수를 갖는 바이어스 고주파 전력 이거나, 상기 바이어스 주파수의 역수인 시간 길이를 각각 갖는 상기 복수의 파형 주기 각각에서 상기 바이어스 전극에 부여되는 전압의 펄스를 포함하는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 8

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수의 중복 기간은, 1번째부터 K_a 번째 중복 기간을 포함하며, 여기서, K_a 는 2 이상의 자연수이고,

상기 고주파 전원은,

상기 1번째부터 상기 K_a 번째 중복 기간 각각에 포함되는 상기 복수의 파형 주기 중 1번째부터 M_a 번째 파형 주기 각각에서, 상기 복수의 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를 미리 준비된 주파수 세트에 포함되는 복수의 주파수로 각각 설정하는 초기 처리를 행하고,

상기 1번째부터 상기 K_a 번째 중복 기간 각각에서, 상기 복수의 파형 주기 중 M_a 번째 파형 주기 뒤에, 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를, 상기 m번째 파형 주기의 앞의 2개 이상의 파

형 주기 각각에서의 상기 n번째 위상 기간에서 서로 다른 상기 소스 주파수를 이용한 경우의 상기 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 조정하는 펄스 내 피드백을 행하도록 또한 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 복수의 중복 기간은, (K_a+1) 번째부터 K_b 번째 중복 기간을 더 포함하며, 여기서, K_b 는 (K_a+1) 이상의 자연수 이고,

상기 고주파 전원은,

상기 (K_a+1) 번째부터 상기 K_b 번째 중복 기간 각각에 포함되는 상기 복수의 파형 주기 중 1번째부터 M_{b1} 번째 파형 주기 각각에서 상기 초기 처리를 행하고,

상기 (K_a+1) 번째부터 상기 K_b 번째 중복 기간 각각에 포함되는 상기 복수의 파형 주기 중 $(M_{b1}+1)$ 번째부터 M_{b2} 번째 파형 주기에서, 상기 펄스 간 피드백을 행하고,

상기 (K_a+1) 번째부터 상기 K_b 번째 중복 기간 각각에서, 상기 M_{b2} 번째 파형 주기 뒤에, 상기 펄스 내 피드백을 행하도록 구성되어 있고,

여기서, 상기 M_{b1} 및 상기 M_a 는 $M_{b1} < M_a$ 를 만족하는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 고주파 전원은,

상기 복수의 중복 기간 중 (K_b+1) 번째부터 최후의 중복 기간 각각에 포함되는 상기 복수의 파형 주기 중 1번째부터 M_c 번째 파형 주기에서, 상기 펄스 간 피드백을 행하고,

상기 (K_b+1) 번째부터 상기 최후의 중복 기간 각각에서, 상기 M_c 번째 파형 주기 뒤에, 상기 펄스 내 피드백을 행하도록 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 고주파 전원은, 상기 복수의 중복 기간 중 2번째부터 최후의 중복 기간 중 적어도 하나의 중복 기간에서, 상기 복수의 파형 주기 중 상기 펄스 내 피드백이 최초로 적용되는 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수를, 상기 복수의 중복 기간 중 상기 적어도 하나의 중복 기간 직전의 중복 기간에 포함되는 복수의 파형 주기 중 최후의 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간의 상기 소스 주파수 또는 상기 최후의 파형 주기를 포함하는 2개 이상의 파형 주기의 상기 n번째 위상 기간의 상기 소스 주파수의 평균치로 설정하도록 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 고주파 전원은, 상기 초기 처리를 행하고 있을 때에 상기 반사 정도를 반영하는 모니터치가 지정된 범위 내에 들어갔을 때에, 상기 초기 처리를 종료하도록 구성되어 있는 것인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 13

소스 고주파 전력의 소스 주파수를 제어하는 방법에 있어서,

복수의 펄스 기간 각각에서, 플라즈마 처리 장치의 챔버 내에 설치된 기관 지지부의 바이어스 전극에 바이어스 에너지의 펄스를 부여하는 공정으로서, 상기 바이어스 에너지는, 파형 주기를 갖고, 상기 복수의 펄스 기간 각

각에서 상기 바이어스 전극에 주기적으로 부여되는 상기 공정과,

상기 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 고주파 전원으로부터 상기 소스 고주파 전력을 공급하는 공정과,

상기 복수의 펄스 기간과 각각 중복되는 복수의 중복 기간 각각에 포함되는 상기 바이어스 에너지의 복수의 파형 주기 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 각각에서의 상기 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하는 공정을 포함하고,

상기 복수의 중복 기간 중 k번째 중복 기간 내의 상기 바이어스 에너지의 m번째 파형 주기 내의 n번째 위상 기간에서의 상기 소스 주파수가, 상기 복수의 중복 기간 중 상기 k번째 중복 기간의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 상기 m번째 파형 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서 서로 다른 상기 소스 주파수를 이용한 경우의 상기 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 조정되는 것인, 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 제어하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시의 예시적 실시형태는 플라즈마 처리 장치 및 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 제어하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 플라즈마 처리 장치가 기판에 대한 플라즈마 처리에서 이용되고 있다. 플라즈마 처리 장치는 챔버 내에서 생성된 플라즈마로부터 이온을 기판에 인입하기 위해서 바이어스 고주파 전력이 이용된다. 하기 특허문헌 1은 바이어스 고주파 전력의 파워 레벨 및 주파수를 변조하는 플라즈마 처리 장치를 개시하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 특허공개 2009-246091호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 개시는 플라즈마 처리 장치에서 소스 고주파 전력의 반사 정도를 저감하는 기술을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0005] 하나의 예시적 실시형태에서 플라즈마 처리 장치가 제공된다. 플라즈마 처리 장치는 챔버, 기판 지지부, 고주파 전원 및 바이어스 전원을 구비한다. 기판 지지부는 바이어스 전극을 가지며 챔버 내에 설치되어 있다. 고주파 전원은 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 소스 고주파 전력을 발생하도록 구성되어 있다. 바이어스 전원은 복수의 펄스 기간 각각에서 바이어스 에너지의 펄스를 바이어스 전극에 부여하도록 구성되어 있다. 바이어스 전원은 복수의 펄스 기간 각각에서 파형 주기를 갖는 바이어스 에너지를 바이어스 전극에 주기적으로 부여하도록 구성되어 있다. 고주파 전원은 복수의 중복 기간 각각에 포함되는 바이어스 에너지의 복수의 파형 주기 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 각각에서의 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하도록 구성되어 있다. 복수의 중복 기간은 복수의 펄스 기간과 각각 중복된다. 고주파 전원은 펄스 간 피드백을 행하도록 구성되어 있다. 펄스 간 피드백은 소스 주파수 $f(k,m,n)$ 를 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 조정하는 것을 포함한다. $f(k,m,n)$ 는 복수의 중복 기간 중 k번째 중복 기간 내의 m번째 파형 주기 내의 n번째 위상 기간에서의 소스 주파수이다. 반사 정도의 변화는, k번째 중복 기간의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 m번째 파형 주기 내의 n번째 위상 기간에서 서로 다른 소스 주파수를 이용함으로써 특정된다.

발명의 효과

[0006] 하나의 예시적 실시형태에 의하면, 플라즈마 처리 장치에서 소스 고주파 전력의 반사 정도를 저감할 수 있게 된

다.

도면의 간단한 설명

- [0007] 도 1은 하나의 예시적 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 2는 하나의 예시적 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- 도 3의 (a) 및 도 3의 (b) 각각은 소스 고주파 전력과 바이어스 에너지의 일례를 도시하는 타이밍 차트이다.
- 도 4의 (a) 및 도 4의 (b) 각각은 소스 고주파 전력과 바이어스 에너지의 일례를 도시하는 타이밍 차트이다.
- 도 5는 바이어스 에너지와 소스 고주파 전력의 소스 주파수의 일례를 도시하는 타이밍 차트이다.
- 도 6은 바이어스 에너지와 소스 고주파 전력의 소스 주파수의 다른 예를 도시하는 타이밍 차트이다.
- 도 7은 바이어스 에너지의 다른 예를 도시하는 타이밍 차트이다.
- 도 8은 바이어스 에너지와 소스 고주파 전력의 소스 주파수의 일례를 도시하는 타이밍 차트이다.
- 도 9는 하나의 예시적 실시형태에 따른 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 제어하는 방법의 흐름도이다.
- 도 10의 (a)~도 10의 (d) 각각은 바이어스 에너지의 또 다른 예를 도시하는 타이밍 차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 이하, 다양한 예시적 실시형태에 관해서 설명한다.
- [0009] 하나의 예시적 실시형태에서 플라즈마 처리 장치가 제공된다. 플라즈마 처리 장치는 챔버, 기관 지지부, 고주파 전원 및 바이어스 전원을 구비한다. 기관 지지부는 바이어스 전극을 가지며 챔버 내에 설치되어 있다. 고주파 전원은 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 소스 고주파 전력을 발생하도록 구성되어 있다. 바이어스 전원은 복수의 펄스 기간 각각에서 바이어스 에너지의 펄스를 바이어스 전극에 부여하도록 구성되어 있다. 바이어스 전원은 복수의 펄스 기간 각각에서 파형 주기를 갖는 바이어스 에너지를 바이어스 전극에 주기적으로 부여하도록 구성되어 있다. 고주파 전원은 복수의 중복 기간 각각에 포함되는 바이어스 에너지의 복수의 파형 주기 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 각각에서의 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하도록 구성되어 있다. 복수의 중복 기간은 복수의 펄스 기간과 각각 중복된다. 고주파 전원은 펄스 간 피드백을 행하도록 구성되어 있다. 펄스 간 피드백은 소스 주파수 $f(k,m,n)$ 를 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 조정하는 것을 포함한다. $f(k,m,n)$ 는 복수의 중복 기간 중 k 번째 중복 기간 내의 m 번째 파형 주기 내의 n 번째 위상 기간에서의 소스 주파수이다. 반사 정도의 변화는 k 번째 중복 기간의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 m 번째 파형 주기 내의 n 번째 위상 기간에서 서로 다른 소스 주파수를 이용함으로써 특정된다.
- [0010] 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 동일 파형 주기 내의 동일한 위상 기간에서 서로 다른 소스 주파수를 이용함으로써, 소스 주파수 변경(주파수 시프트)과 소스 고주파 전력의 반사 정도 변화의 관계를 특정할 수 있다. 따라서, 상기 실시형태에 의하면, 반사 정도의 변화에 따라서, k 번째 중복 기간 내의 m 번째 파형 주기 내의 n 번째 위상 기간에서 이용되는 소스 주파수를, 반사 정도를 저감하도록 조정할 수 있다. 또한, 상기 실시형태에 의하면, 복수의 중복 기간 각각의 기간 중의 복수의 파형 주기 각각에서, 고속으로 반사 정도를 저감할 수 있다.
- [0011] 하나의 예시적 실시형태에서, 2개 이상의 중복 기간은 $(k-K_1)$ 번째 중복 기간과 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간을 포함할 수 있다. 여기서, K_1 및 K_2 는 $K_1 > K_2$ 를 만족하는 자연수이다.
- [0012] 하나의 예시적 실시형태에서, 펄스 간 피드백은, 소스 주파수 $f(k-K_2,m,n)$ 에, 소스 주파수 $f(k-K_1,m,n)$ 로부터의 한쪽의 주파수 시프트를 부여하는 것을 포함하고 있어도 좋다. 한쪽의 주파수 시프트는 주파수의 감소 또는 증가 중 한쪽이다. 펄스 간 피드백은, 한쪽의 주파수 시프트에 의해 얻어진 $f(k-K_2,m,n)$ 를 이용함으로써 반사 정도가 저하한 경우에, $f(k,m,n)$ 를 $f(k-K_2,m,n)$ 에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다. 한쪽의 주파수 시프트에 의해 얻어진 $f(k,m,n)$ 를 이용함으로써 반사 정도가 증대된 경우에는, 펄스 간 피드백은 소스 주파수 $f(k+K_3,m,n)$ 를 중간 주파수로 설정하여도 좋다. 중간 주파수는 $f(k-K_2,m,n)$ 와 소스 주파수 $f(k,m,n)$ 사이의 주파수이다. 또한, K_3 은 자연수이다.

- [0013] 하나의 예시적 실시형태에서, $(k+K_3)$ 번째 중복 기간 내의 m 번째 파형 주기 내의 n 번째 위상 기간에서 상기 중간 주파수를 이용한 경우에 반사 정도가 역치보다 커지는 경우가 있다. 이 경우에는, 펄스 간 피드백은, 소스 주파수 $f(k+K_4, m, n)$ 를, 중간의 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다. 이 경우에서, 다른 쪽의 주파수 시프트는 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치보다 큰 절대치의 양을 갖는다. 또한, K_4 는 $K_4 > K_3$ 을 만족하는 자연수이다.
- [0014] 하나의 예시적 실시형태에서, $f(k, m, n)$ 를 얻기 위해서 이용하는 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치는, $f(k-K_2, m, n)$ 를 얻기 위해서 이용한 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치보다 크더라도 좋다.
- [0015] 하나의 예시적 실시형태에서, 펄스 간 피드백은, $f(k-K_2, m, n)$ 에, $f(k-K_1, m, n)$ 로부터의 한쪽의 주파수 시프트를 부여하는 것을 포함하고 있어도 좋다. 한쪽의 주파수 시프트는 주파수의 감소 및 증가 중 한쪽이다. 한쪽의 주파수 시프트에 의해 얻어진 $f(k-K_2, m, n)$ 를 이용함으로써 반사 정도가 증대된 경우에, 펄스 간 피드백은, $f(k, m, n)$ 를, $f(k-K_2, m, n)$ 에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다.
- [0016] 하나의 예시적 실시형태에서, 바이어스 에너지는, 파형 주기의 시간 길이의 역수인 바이어스 주파수를 갖는 바이어스 고주파 전력이라도 좋다. 바이어스 에너지는, 상기 바이어스 주파수의 역수인 시간 길이를 각각 갖는 복수의 파형 주기 각각에서 바이어스 전극에 부여되는 전압의 펄스를 포함하고 있어도 좋다.
- [0017] 하나의 예시적 실시형태에서, 복수의 중복 기간은 1번째부터 K_a 번째의 중복 기간을 포함한다. 여기서, K_a 는 2 이상의 자연수이다. 고주파 전원은, 중복 기간 $OP(1) \sim OP(K_a)$ 각각에 포함되는 파형 주기 $CY(1) \sim CY(M_a)$ 각각에서, 복수의 위상 기간에서의 소스 주파수를 미리 준비된 주파수 세트에 포함되는 복수의 주파수로 각각 설정하는 초기 처리를 행하여도 좋다. 여기서, $OP(k)$ 는 복수의 중복 기간 중 k 번째 중복 기간이다. $CY(m)$ 는 각 중복 기간에서의 m 번째 파형 주기이다. 고주파 전원은, 중복 기간 $OP(1) \sim OP(K_a)$ 각각에서, 파형 주기 $CY(M_a)$ 의 뒤의 파형 주기에서 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다. 펄스 내 피드백은, 각 중복 기간에서 파형 주기 $CY(m)$ 의 앞의 2개 이상의 파형 주기 각각에서의 n 번째 위상 기간에서 서로 다른 소스 주파수를 이용한 경우의 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 소스 주파수 $f(k, m, n)$ 를 조정하는 것을 포함한다.
- [0018] 하나의 예시적 실시형태에서, 복수의 중복 기간은 중복 기간 $OP(K_a+1) \sim$ 중복 기간 $OP(K_b)$ 을 더 포함하고 있어도 좋다. 여기서, K_b 는 (K_a+1) 이상의 자연수이다. 고주파 전원은, 중복 기간 $OP(K_a+1) \sim$ 중복 기간 $OP(K_b)$ 각각에 포함되는 파형 주기 $CY(1) \sim$ 파형 주기 $CY(M_{b1})$ 각각에서 상기 초기 처리를 행하여도 좋다. 또한, 고주파 전원은, 중복 기간 $OP(K_a+1) \sim$ 중복 기간 $OP(K_b)$ 각각에 포함되는 파형 주기 $CY(M_{b1}+1) \sim$ 파형 주기 $CY(M_{b2})$ 에서, 상기 펄스 간 피드백을 행하여도 좋다. 또한, 고주파 전원은, 중복 기간 $OP(K_a+1) \sim$ 중복 기간 $OP(K_b)$ 각각에서, 파형 주기 $CY(M_{b2})$ 뒤에, 상기 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다. 여기서, M_{b1} 및 M_a 는 $M_{b1} < M_a$ 를 만족하여도 좋다.
- [0019] 하나의 예시적 실시형태에서, 고주파 전원은, 중복 기간 $OP(K_b+1) \sim$ 최후의 중복 기간 각각에 포함되는 파형 주기 $CY(1) \sim$ 파형 주기 $CY(M_c)$ 에서, 상기 펄스 간 피드백을 행하여도 좋다. 또한, 고주파 전원은, 중복 기간 $OP(K_b+1) \sim$ 최후의 중복 기간 각각에서, 파형 주기 $CY(M_c)$ 뒤에, 상기 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다.
- [0020] 하나의 예시적 실시형태에서, 고주파 전원은, 복수의 중복 기간 중 2번째부터 최후의 중복 기간 중 적어도 하나의 중복 기간에서, 복수의 파형 주기 중 펄스 내 피드백이 최초로 적용되는 파형 주기 내의 n 번째 위상 기간에서의 소스 주파수를, 상기 적어도 하나의 중복 기간의 직전의 중복 기간에 포함되는 복수의 파형 주기 중 최후의 파형 주기 내의 n 번째 위상 기간의 소스 주파수 또는 상기 최후의 파형 주기를 포함하는 2개 이상의 파형 주기의 n 번째 위상 기간의 소스 주파수의 평균치로 설정하도록 구성되어 있어도 좋다.
- [0021] 하나의 예시적 실시형태에서, 고주파 전원은, 상기 초기 처리를 행하고 있을 때에 반사 정도를 반영하는 모니터치가 지정된 범위 내에 들어갔을 때에, 상기 초기 처리를 종료하도록 구성되어 있어도 좋다.
- [0022] 다른 예시적 실시형태에서는 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 제어하는 방법이 제공된다. 방법은, 복수의 펄스 기간 각각에서, 플라즈마 처리 장치의 챔버 내에 설치된 기관 지지부의 바이어스 전극에 바이어스 에너지의 펄스를 부여하는 공정(a)을 포함한다. 바이어스 에너지는, 파형 주기를 갖고, 복수의 펄스 기간 각각에서 바이

어스 전극에 주기적으로 부여된다. 방법은, 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 고주파 전원으로부터 소스 고주파 전력을 공급하는 공정을 더 포함한다. 방법은, 복수의 중복 기간 각각에 포함되는 바이어스 에너지의 복수의 파형 주기 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 각각에서의 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 설정하는 공정을 더 포함한다. 복수의 중복 기간은 복수의 펄스 기간에 각각 중복된다. 소스 주파수 $f(k,m,n)$ 는 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 조정된다. 반사 정도의 변화는, 복수의 중복 기간 중 k번째 중복 기간의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 m번째 파형 주기 내의 n번째 위상 기간에서 서로 다른 소스 주파수를 이용함으로써 특정된다.

[0023] 이하, 도면을 참조하여 다양한 예시적 실시형태에 관해서 상세히 설명한다. 또, 각 도면에서 동일하거나 또는 상당하는 부분에 대해서는 동일한 부호를 부여하기로 한다.

[0024] 도 1 및 도 2는 하나의 예시적 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치를 개략적으로 도시하는 도면이다.

[0025] 일 실시형태에서, 플라즈마 처리 시스템은 플라즈마 처리 장치(1) 및 제어부(2)를 포함한다. 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 공간으로부터 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 배치되며, 기관을 지지하기 위한 기관 지지면을 갖는다.

[0026] 플라즈마 생성부(12)는 플라즈마 처리 공간 내에 공급된 적어도 하나의 처리 가스로부터 플라즈마를 생성하도록 구성된다. 플라즈마 처리 공간에서 형성되는 플라즈마는 용량 결합 플라즈마(CCP; Capacitively Coupled Plasma), 유도 결합 플라즈마(ICP; Inductively Coupled Plasma), ECR 플라즈마(Electron-Cyclotron-resonance plasma), 헬리콘파 여기 플라즈마(HWP: Helicon Wave Plasma) 또는 표면파 플라즈마(SWP: Surface Wave Plasma) 등이라도 좋다. 또한, AC(Alternating Current) 플라즈마 생성부 및 DC(Direct Current) 플라즈마 생성부를 포함하는, 다양한 타입의 플라즈마 생성부가 이용되어도 좋다.

[0027] 제어부(2)는, 본 개시에서 설명하는 다양한 공정을 플라즈마 처리 장치(1)에 실행시키는 컴퓨터 실행 가능한 명령을 처리한다. 제어부(2)는, 여기서 설명하는 다양한 공정을 실행하기 위해 플라즈마 처리 장치(1)의 각 요소를 제어하도록 구성될 수 있다. 일 실시형태에서, 제어부(2)의 일부 또는 전부가 플라즈마 처리 장치(1)에 포함되어도 좋다. 제어부(2)는 예컨대 컴퓨터(2a)를 포함하여도 좋다. 컴퓨터(2a)는 예컨대 처리부(CPU: Central Processing Unit)(2a1), 기억부(2a2) 및 통신 인터페이스(2a3)를 포함하여도 좋다. 처리부(2a1)는 기억부(2a2)에 저장된 프로그램에 기초하여 다양한 제어 동작을 행하도록 구성될 수 있다. 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.

[0028] 이하에, 플라즈마 처리 장치(1)의 일례로서의 용량 결합 플라즈마 처리 장치의 구성예에 관해서 설명한다. 용량 결합 플라즈마 처리 장치(1)는 플라즈마 처리 챔버(10), 가스 공급부(20), 전원(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) 위쪽에 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)에 의해 규정된 플라즈마 처리 공간(10s)을 갖는다. 측벽(10a)은 접지된다. 샤워 헤드(13) 및 기관 지지부(11)는 플라즈마 처리 챔버(10)의 하우징과는 전기적으로 절연된다.

[0029] 기관 지지부(11)는 본체부(111) 및 링 어셈블리(112)를 포함한다. 본체부(111)는 기관(웨이퍼)(W)을 지지하기 위한 중앙 영역(기관 지지면)(111a)과 링 어셈블리(112)를 지지하기 위한 환상 영역(링 지지면)(111b)을 갖는다. 본체부(111)의 환상 영역(111b)은 평면에서 볼 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 환상 영역(111b) 상에 배치된다. 일 실시형태에서, 본체부(111)는 베이스(111e) 및 정전 척(111c)을 포함한다. 베이스(111e)는 도전성 부재를 포함한다. 베이스(111e)의 도전성 부재는 하부 전극으로서 기능한다. 정전 척(111c)은 베이스(111e) 상에 배치된다. 정전 척(111c)의 상면은 기관 지

지면(111a)을 갖는다. 링 어셈블리(112)는 하나 또는 복수의 환상 부재를 포함한다. 하나 또는 복수의 환상 부재 중 적어도 하나는 옛지 링이다. 또한, 도시하지는 않지만, 기관 지지부(11)는 정전 척(111c), 링 어셈블리(112) 및 기관(W) 중 적어도 하나를 타겟 온도로 조절하도록 구성되는 온도 조절 모듈을 포함하여도 좋다. 온도 조절 모듈은 히터, 전열 매체, 유로 또는 이들의 조합을 포함하여도 좋다. 유로에는 브라인이나 가스와 같은 전열 유체가 흐른다. 또한, 기관 지지부(11)는 기관(W)의 이면과 기관 지지면(111a)의 사이에 전열 가스를 공급하도록 구성된 전열 가스 공급부를 포함하여도 좋다.

[0030] 샤워 헤드(13)는 가스 공급부(20)로부터의 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 도전성 부재를 포함한다. 샤워 헤드(13)의 도전성 부재는 상부 전극으로서 기능한다. 또한, 가스 도입부는, 샤워 헤드(13)에 더하여, 측벽(10a)에 형성된 하나 또는 복수의 개구부에 부착되는 하나 또는 복수의 사이드 가스 주입부(SGI: Side Gas Injector)를 포함하여도 좋다.

[0031] 가스 공급부(20)는 하나 이상의 가스 소스(21) 및 적어도 하나 이상의 유량 제어기(22)를 포함하여도 좋다. 일 실시형태에서, 가스 공급부(20)는, 하나 이상의 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 하나 이상의 처리 가스의 유량을 변조 또는 펄스화하는 하나 이상의 유량 변조 디바이스를 포함하여도 좋다.

[0032] 배기 시스템(40)은 예컨대 플라즈마 처리 챔버(10)의 바닥부에 형성된 가스 배출구(10e)에 접속될 수 있다. 배기 시스템(40)은 압력 조정 밸브 및 진공 펌프를 포함하여도 좋다. 압력 조정 밸브에 의해서 플라즈마 처리 공간(10s) 내의 압력이 조정된다. 진공 펌프는 터보 분자 펌프, 드라이 펌프 또는 이들의 조합을 포함하여도 좋다.

[0033] 플라즈마 처리 장치(1)는 고주파 전원(31) 및 바이어스 전원(32)을 더 구비하고 있다. 플라즈마 처리 장치(1)는 센서(31s) 및 제어부(30c)를 더 구비하고 있어도 좋다.

[0034] 고주파 전원(31)은 챔버(플라즈마 처리 챔버(10)) 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 소스 고주파 전력(RF)을 발생하도록 구성되어 있다. 소스 고주파 전력(RF)은 예컨대 13 MHz 이상 150 MHz 이하의 소스 주파수를 갖는다. 일 실시형태에서, 고주파 전원(31)은 고주파 신호 발생기(31g) 및 증폭기(31a)를 포함하고 있어도 좋다. 고주파 신호 발생기(31g)는 고주파 신호를 발생한다. 증폭기(31a)는 고주파 신호 발생기(31g)로부터 입력되는 고주파 신호를 증폭함으로써 소스 고주파 전력(RF)을 생성하여 소스 고주파 전력(RF)을 출력한다. 또한, 고주파 신호 발생기(31g)는 프로그램 가능한 프로세서 또는 FPGA와 같은 프로그램 가능한 로직 디바이스로 구성되어 있어도 좋다. 또한, 고주파 신호 발생기(31g)와 증폭기(31a) 사이에는 D/A 변환기가 접속되어 있어도 좋다.

[0035] 고주파 전원(31)은 정합기(31m)를 통해 고주파 전극에 접속되어 있다. 베이스(111e)는 일 실시형태에서 고주파 전극을 구성한다. 다른 실시형태에서, 고주파 전극은 정전 척(111c) 내에 설치된 전극이라도 좋다. 고주파 전극은 후술하는 바이어스 전극과 공통의 전극이라도 좋다. 혹은 고주파 전극은 상부 전극이라도 좋다. 정합기(31m)는 정합 회로를 포함하고 있다. 정합기(31m)의 정합 회로는 가변 임피던스를 갖는다. 정합기(31m)의 정합 회로는 제어부(30c)에 의해서 제어된다. 정합기(31m)의 정합 회로의 임피던스는 고주파 전원(31)의 부하 측의 임피던스를 고주파 전원(31)의 출력 임피던스에 정합시키도록 조정된다.

[0036] 센서(31s)는 고주파 전원(31)의 부하로부터 되돌아오는 소스 고주파 전력(RF)의 반사파를 제어부(30c)에 출력하도록 구성되어 있다. 센서(31s)는 고주파 전원(31)과 정합기(31m) 사이에서 접속되어 있어도 좋다. 센서(31s)는 정합기(31m)와 고주파 전극 사이에서 접속되어 있어도 좋다. 예컨대 센서(31s)는, 정합기(31m)로부터 바이어스 전극으로 향해서 연장되는 전기적 패스와 후술하는 정합기(32m)로부터 바이어스 전극으로 향해서 연장되는 전기적 패스의 합류점과 바이어스 전극과의 사이에서 접속되어 있어도 좋다. 혹은 센서(31s)는 상기 합류점과 정합기(31m)와의 사이에서 접속되어 있어도 좋다. 센서(31s)는 예컨대 방향성 결합기를 포함한다. 방향성 결합기는 고주파 전원(31)의 부하로부터 되돌아오는 반사파를 출력한다. 방향성 결합기로부터 출력되는 반사파는 A/D 변환에 의해 디지털 신호로 변환되고, 디지털화된 반사파가 제어부(30c)에서 이용된다. 또한, 센서(31s)는 정합기(31m)로부터 분리된 센서라도 좋고, 혹은 정합기(31m)의 일부라도 좋다.

[0037] 바이어스 전원(32)은 바이어스 전극에 전기적으로 접속되어 있다. 베이스(111e)는 일 실시형태에서 바이어스 전

극을 구성한다. 다른 실시형태에서, 바이어스 전극은 정전 척(111c) 내에 설치된 전극이라도 좋다. 바이어스 전원(32)은, 복수의 펄스 기간 PP 각각에서, 바이어스 에너지(BE)의 펄스(BEP)를 바이어스 전극에 부여하도록 구성되어 있다. 바이어스 전원(32)은 펄스 컨트롤러(34)로부터 부여되는 신호에 의해 복수의 펄스 기간 PP 각각의 타이밍을 특정하여도 좋다. 또한, 제어부(2)가 펄스 컨트롤러(34)로서 기능하여도 좋다.

[0038] 여기서, 도 3의 (a), 도 3의 (b), 도 4의 (a) 및 도 4의 (b)를 참조한다. 도 3의 (a), 도 3의 (b), 도 4의 (a) 및 도 4의 (b) 각각은 소스 고주파 전력(RF)과 바이어스 에너지(BE)의 일례를 도시하는 타이밍 차트이다. 이들 도면에서, 소스 고주파 전력(RF)의 「ON」은 소스 고주파 전력(RF)이 공급되고 있음을 나타내고, 소스 고주파 전력(RF)의 「OFF」는 소스 고주파 전력(RF)의 공급이 정지되었음을 나타내고 있다. 또한, 이들 도면에서, 바이어스 에너지(BE)의 「ON」은 바이어스 에너지(BE)가 바이어스 전극에 부여되고 있음을 나타내고, 바이어스 에너지(BE)의 「OFF」는 바이어스 에너지(BE)가 바이어스 전극에 부여되지 않았음을 나타내고 있다. 또한, 이들 도면에서, 바이어스 에너지(BE)의 「HIGH」는, 「LOW」로 표시되는 바이어스 에너지(BE)의 레벨보다도 높은 레벨을 갖는 바이어스 에너지(BE)가 바이어스 전극에 부여되고 있음을 나타내고 있다.

[0039] 복수의 펄스 기간 PP은 시간적으로 순차 출현한다. 복수의 펄스 기간 PP은 펄스 주파수의 역수의 시간 간격(주기)으로 순차 출현하여도 좋다. 또한, 이하의 설명에서, 펄스 기간 PP(k)은 복수의 펄스 기간 PP 중 k번째의 펄스 기간을 나타내고 있다. 즉, 펄스 기간 PP(k)은 복수의 펄스 기간 PP 중 임의의 펄스 기간을 나타내고 있다. 펄스 주파수는, 후술하는 바이어스 주파수보다 낮으며, 예컨대 1 kHz 이상 100 kHz 이하의 주파수이다. 상술한 것과 같이, 바이어스 에너지(BE)의 펄스(BEP)는 복수의 펄스 기간 PP 각각에서 바이어스 전극에 부여된다. 복수의 펄스 기간 PP 이외의 기간에서, 바이어스 에너지(BE)는 바이어스 전극에 부여되지 않아도 좋다. 혹은 복수의 펄스 기간 PP에서의 바이어스 에너지(BE)의 레벨보다 낮은 레벨을 갖는 바이어스 에너지(BE)가, 복수의 펄스 기간 PP 이외의 기간에서 바이어스 전극에 부여되어도 좋다.

[0040] 도 3의 (a)에 도시하는 것과 같이, 소스 고주파 전력(RF)은 연속파로서 공급되어도 좋다. 도 3의 (a)에 도시하는 예에서는, 복수의 펄스 기간 PP에서 소스 고주파 전력(RF)이 공급되는 복수의 중복 기간 OP은 각각 복수의 펄스 기간 PP과 일치한다.

[0041] 혹은 도 3의 (b), 도 4의 (a) 및 도 4의 (b)에 도시하는 것과 같이, 소스 고주파 전력(RF)의 펄스가 공급되어도 좋다. 고주파 전원(31)은 펄스 컨트롤러(34)로부터 부여되는 신호에 의해 소스 고주파 전력(RF)의 펄스를 공급하는 기간의 타이밍을 특정하여도 좋다. 도 3의 (b)에 도시하는 것과 같이, 소스 고주파 전력(RF)의 펄스는 복수의 펄스 기간 PP과 각각 일치하는 복수의 기간 각각에서 공급되어도 좋다. 도 3의 (b)에 도시하는 예에서는, 복수의 펄스 기간 PP에서 소스 고주파 전력(RF)이 공급되는 복수의 중복 기간 OP은 각각 복수의 펄스 기간 PP과 일치한다. 도 4의 (a) 및 도 4의 (b)에 도시하는 것과 같이, 소스 고주파 전력(RF)의 펄스는 복수의 펄스 기간 PP과 각각 부분적으로 중복되는 복수의 기간 각각에서 공급되어도 좋다. 도 4의 (a) 및 도 4의 (b) 각각에 도시하는 예에서는, 복수의 펄스 기간 PP에서 소스 고주파 전력(RF)이 공급되는 복수의 중복 기간 OP 각각은 복수의 펄스 기간 PP 중 대응하는 펄스 기간 PP의 일부이다. 또, 이하의 설명에서, 중복 기간 OP(k)은 복수의 중복 기간 OP 중 k번째 중복 기간을 나타내고 있다. 즉, 중복 기간 OP(k)은 복수의 중복 기간 OP 중 임의의 중복 기간을 나타내고 있다.

[0042] 바이어스 에너지(BE)는 복수의 펄스 기간 PP 각각의 기간 중의 복수의 파형 주기 CY 각각에서 바이어스 전극에 부여된다. 즉, 바이어스 에너지(BE)는 복수의 펄스 기간 PP 각각의 기간 중에서 주기적으로 바이어스 전극에 부여된다. 복수의 파형 주기 CY 각각은 바이어스 주파수로 규정된다. 바이어스 주파수는 예컨대 50 kHz 이상 27 MHz 이하의 주파수이다. 복수의 파형 주기 CY 각각의 시간 길이는 바이어스 주파수의 역수이다. 복수의 파형 주기 CY는 시간적으로 순차 출현한다. 이하의 설명에서, 파형 주기 CY(m)는 복수의 중복 기간 OP 각각의 기간 중의 복수의 파형 주기 CY 중 m번째 파형 주기를 나타낸다. 또한, 파형 주기 CY(k,m)는 k번째 중복 기간 내의 m번째 파형 주기를 나타낸다. 즉, 파형 주기 CY(m)는 복수의 파형 주기 CY 중 임의의 파형 주기를 나타내고 있다.

[0043] 여기서, 도 5 및 도 6을 참조한다. 도 5는 바이어스 에너지와 소스 고주파 전력의 소스 주파수의 일례를 도시하는 타이밍 차트이다. 도 6은 바이어스 에너지와 소스 고주파 전력의 소스 주파수의 다른 예를 도시하는 타이밍 차트이다. 도 5 및 도 6에 도시하는 것과 같이, 일 실시형태에서, 바이어스 에너지(BE)는 바이어스 주파수를 갖는 바이어스 고주파 전력이라도 좋다. 바이어스 고주파 전력은 정현파 형상의 파형을 갖고, 그 1 주기가 파형 주기 CY이다. 이 경우에는, 도 2에 도시하는 것과 같이, 바이어스 전원(32)은 고주파 신호 발생기(32g) 및 증폭기(32a)를 포함하고 있어도 좋다. 고주파 신호 발생기(32g)는 고주파 신호를 발생한다. 증폭기(32a)는, 고주파 신호 발생기(32g)로부터 입력되는 고주파 신호를 증폭함으로써 바이어스 고주파 전력을 생성하여, 생성된 바이

어스 고주파 전력을 바이어스 에너지(BE)로서 바이어스 전극에 공급한다. 또한, 고주파 신호 발생기(32g)는 프로그램 가능한 프로세서 또는 FPGA와 같은 프로그램 가능한 로직 디바이스로 구성되어 있어도 좋다. 또한, 고주파 신호 발생기(32g)와 증폭기(32a) 사이에는 D/A 변환기가 접속되어 있어도 좋다.

[0044] 바이어스 에너지(BE)가 바이어스 고주파 전력인 경우에는 바이어스 전원(32)은 정합기(32m)를 통해 바이어스 전극에 접속된다. 정합기(32m)는 정합 회로를 포함하고 있다. 정합기(32m)의 정합 회로는 가변 임피던스를 갖는다. 정합기(32m)의 정합 회로는 제어부(30c)에 의해서 제어된다. 정합기(32m)의 정합 회로의 임피던스는 바이어스 전원(32)의 부하 측의 임피던스를 바이어스 전원(32)의 출력 임피던스에 정합시키도록 조정된다.

[0045] 도 7은 바이어스 에너지의 다른 예를 도시하는 타이밍 차트이다. 도 7에 도시하는 것과 같이, 다른 실시형태에서, 바이어스 에너지(BE)는 복수의 파형 주기 CY 각각에서 바이어스 전극에 부여되는 전압의 펄스를 포함하고 있어도 좋다. 바이어스 에너지(BE)로서 이용되는 전압의 펄스는, 도 7에 도시하는 예와 같이 음전압의 펄스라도 좋고, 다른 전압의 펄스라도 좋다. 바이어스 에너지(BE)로서 이용되는 전압의 펄스는 삼각파, 직사각형파와 같은 파형을 가질 수 있다. 전압의 펄스는 다른 어떠한 펄스 파형을 갖고 있어도 좋다. 바이어스 에너지(BE)로서 전압의 펄스가 이용되는 경우에는, 도 2에 도시하는 정합기(32m) 대신에 소스 고주파 전력(RF)을 차단하는 필터가, 바이어스 전원(32)과 바이어스 전극 사이에서 접속되어 있어도 좋다.

[0046] 바이어스 전원(32)은 고주파 전원(31)과 동기되어 있다. 이 때문에 이용되는 동기 신호는 바이어스 전원(32)으로부터 고주파 전원(31)에 부여되어도 좋다. 혹은 동기 신호는 고주파 전원(31)으로부터 바이어스 전원(32)에 부여되어도 좋다. 혹은 동기 신호는 제어부(30c)와 같은 별도의 장치로부터 고주파 전원(31) 및 바이어스 전원(32)에 부여되어도 좋다.

[0047] 제어부(30c)는 고주파 전원(31)을 제어하도록 구성되어 있다. 제어부(30c)는 CPU와 같은 프로세서로 구성될 수 있다. 제어부(30c)는, 정합기(31m)의 일부라도 좋고, 고주파 전원(31)의 일부라도 좋고, 정합기(31m) 및 고주파 전원(31)으로부터 분리된 제어부(2)가 제어부(30c)를 겸하고 있어도 좋다.

[0048] 제어부(30c)는, 복수의 중복 기간 OP 각각에 포함되는 복수의 파형 주기 CY 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 SP 각각에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를 설정하도록 구성되어 있다. 복수의 중복 기간 OP 이외의 기간에서 공급되는 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수는, 미리 준비된 테이블에 등록되어 있는 주파수의 시계열을 이용하여 설정되어도 좋다. 이하에서는 제어부(30c)가 소스 주파수를 설정하는 실시형태에 관해서 설명한다. 그러나, 제어부(30c)가 고주파 전원(31)의 일부인 경우에는, 고주파 전원(31)이 소스 주파수를 설정할 수 있다.

[0049] [중복 기간 OP(1)~OP(T-1)에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수의 설정(펄스 내 피드백)]

[0050] 우선, 1번째 중복 기간 OP, 즉 중복 기간 OP(1)에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수 설정에 관해서 설명한다. 제어부(30c)는, 중복 기간 OP(1) 내의 복수의 파형 주기 CY 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 SP 각각에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를 설정하도록 구성되어 있다. 도 5 및 도 6에 도시하는 예에서는, 중복 기간 OP(1) 내의 복수의 파형 주기 CY 각각은 N개의 위상 기간 SP(1)~SP(N)을 포함하고 있다. N은 2 이상의 정수이다. N개의 위상 기간 SP(1)~SP(N)은 복수의 파형 주기 CY 각각을 N개의 위상 기간으로 분할하고 있다. 복수의 파형 주기 CY 각각에서, 복수의 위상 기간 SP은, 서로 동일한 시간 길이를 갖고 있어도 좋고, 서로 다른 시간 길이를 갖고 있어도 좋다. 또, 이하의 설명에서는, 위상 기간 SP(n)은 위상 기간 SP(1)~SP(N) 중 n번째 위상 기간을 나타낸다. 즉, 위상 기간 SP(n)은 복수의 중복 기간 OP 각각의 기간 중의 복수의 파형 주기 CY 각각에서의 임의의 위상 기간을 나타내고 있다. 또한, 위상 기간 SP(m,n)은 파형 주기 CY(m)에서의 n번째 위상 기간을 나타낸다. 또한, 위상 기간 SP(k,m,n)은 k번째 중복 기간 OP(k) 내의 파형 주기 CY(m)에서의 n번째 위상 기간을 나타낸다.

[0051] 제어부(30c)는, 중복 기간 OP(1)에서는, 위상 기간 SP(m,n)에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를, 펄스 내 피드백에 의해 설정한다. 이하, 일반화를 위해서, 중복 기간 OP(k)에 대하여 적용되는 펄스 내 피드백에 관해서 설명한다. 중복 기간 OP(1)의 경우에는, 이하에 설명하는 펄스 내 피드백에서, k는 1이다.

[0052] 펄스 내 피드백에서는, 제어부(30c)는, 위상 기간 SP(k,m,n)에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를, 소스 고주파 전력(RF)의 반사 정도의 변화에 따라서 조정한다. 소스 고주파 전력(RF)의 반사 정도는, 일례에서는, 센서(31s)로부터 출력되는 소스 고주파 전력(RF)의 반사파의 파워 레벨 Pr로 표시된다. 펄스 내 피드백에서는, 반사 정도의 변화는, 중복 기간 OP(k) 내에서 파형 주기 CY(k,m)의 앞의 2개 이상의 파형 주기 CY 각각에서의 대응하는 위상 기간 SP(n)에서 서로 다른 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를 이용함으로써 특정된다.

- [0053] 펄스 내 피드백에서는, 2개 이상의 파형 주기 CY 각각에서의 위상 기간 SP(n)에서 서로 다른 소스 주파수를 이용함으로써, 소스 주파수 변경(주파수 시프트)과 소스 고주파 전력의 반사 정도 변화의 관계를 특정할 수 있다. 따라서, 펄스 내 피드백에 의하면, 반사 정도의 변화에 따라서, 위상 기간 SP(k,m,n)에서 이용되는 소스 주파수를, 반사 정도를 저감하도록 조절할 수 있다. 또한, 펄스 내 피드백에 의하면, 중복 기간 OP(k)에서 바이어스 에너지(BE)가 기관 지지부(11)의 바이어스 전극에 부여되는 복수의 파형 주기 CY 각각에서, 고속으로 반사 정도를 저감할 수 있다.
- [0054] 일 실시형태에서, 파형 주기 CY(k, m)의 앞의 2개 이상의 파형 주기 CY는 파형 주기 CY(k,m-M₁) 및 파형 주기 CY(k,m-M₂)를 포함한다. 여기서, M₁ 및 M₂는 M₁>M₂를 만족하는 임의의 자연수이다. 즉, 파형 주기 CY(k,m-M₂)는 파형 주기 CY(k,m-M₁)의 뒤의 파형 주기이다.
- [0055] 일 실시형태에서는, 파형 주기 CY(k,m-M₁)는 파형 주기 CY(k,m-2Q)라도 좋고, 파형 주기 CY(k,m-M₂)는 파형 주기 CY(k,m-Q)라도 좋다. 여기서, Q는 자연수이다. 도 5에 도시하는 예에서는, 「Q」 및 「M₂」는 「1」이고, 「2Q」 및 「M₁」은 「2」이다. 「Q」는 2 이상의 정수라도 좋다.
- [0056] 펄스 내 피드백에서, 제어부(30c)는, 소스 주파수 f(k,m-M₂,n)에, 소스 주파수 f(k,m-M₁,n)로부터의 한쪽의 주파수 시프트를 부여한다. 여기서, f(k,m,n)는 위상 기간 SP(k,m,n)에서 이용되는 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를 나타낸다. f(k,m,n)는 f(k,m,n)=f(k,m-M₂,n)+Δ(k,m,n)으로 표시된다. Δ(k,m,n)는 주파수 시프트량을 나타낸다. 한쪽의 주파수 시프트는 주파수의 감소 및 주파수의 증가 중 한쪽이다. 한쪽의 주파수 시프트가 주파수의 감소이면 Δ(k,m,n)는 음의 값을 갖는다. 한쪽의 주파수 시프트가 주파수의 증가이면 Δ(k,m,n)는 양의 값을 갖는다.
- [0057] 또한, 도 5 및 도 6에서, 파형 주기 CY(k,m-M₁)에서의 복수의 위상 기간 SP 각각에서의 소스 주파수는, 서로 동일하며 f₀이지만, 서로 다르더라도 좋다. 또한, 도 5 및 도 6에서, 파형 주기 CY(k,m-M₂)에서의 복수의 위상 기간 SP 각각에서의 소스 주파수는, 서로 동일하며, 주파수 f₀으로부터 감소된 주파수로 설정되어 있지만, 주파수 f₀으로부터 증가되어도 좋다.
- [0058] 펄스 내 피드백에서, 한쪽의 주파수 시프트에 의해서 얻어진 소스 주파수 f(k,m-M₂,n)를 이용함으로써 반사 정도가 저하한 경우에는, 제어부(30c)는, 소스 주파수 f(k,m,n)를, 소스 주파수 f(k,m-M₂,n)에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정한다. 예컨대 한쪽의 주파수 시프트에 의해 파워 레벨 Pr(k,m-M₂,n)이 파워 레벨 Pr(k,m-M₁,n)로부터 감소한 경우에는, 제어부(30c)는, 소스 주파수 f(k,m,n)를, 소스 주파수 f(k,m-M₂,n)에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정한다. 여기서, Pr(k,m,n)은 위상 기간 SP(k,m,n)에서의 소스 고주파 전력(RF)의 반사파의 파워 레벨 Pr을 나타내고 있다.
- [0059] 일 실시형태에서, 위상 기간 SP(k,m,n)에서의 한쪽의 주파수 시프트량 Δ(m,n)은, 위상 기간 SP(k,m-M₂,n)에서의 한쪽의 주파수 시프트량 Δ(m-M₂,n)과 동일하여도 좋다. 즉, 주파수 시프트량 Δ(k,m,n)의 절대치는 주파수 시프트량 Δ(k,m-M₂,n)의 절대치와 동일하여도 좋다. 혹은 주파수 시프트량 Δ(k,m,n)의 절대치는 주파수 시프트량 Δ(k,m-M₂,n)의 절대치보다 크더라도 좋다. 혹은 주파수 시프트량 Δ(k,m,n)의 절대치는, 위상 기간 SP(k,m-M₂,n)에서의 반사 정도(예컨대 반사파의 파워 레벨 Pr(k,m-M₂,n))가 클수록 커지도록 설정되어도 좋다. 예컨대 주파수 시프트량 Δ(k,m,n)의 절대치는 반사 정도(예컨대 반사파의 파워 레벨 Pr(k,m-M₂,n))의 함수에 의해 결정되어도 좋다.
- [0060] 펄스 내 피드백에서는, 한쪽의 주파수 시프트에 의해서 얻어진 소스 주파수 f(k,m-M₂,n)를 이용함으로써 반사 정도가 증대되는 경우가 생길 수 있다. 예컨대 한쪽의 주파수 시프트에 의해 반사파의 파워 레벨 Pr(k,m-M₂,n)이 반사파의 파워 레벨 Pr(k,m-M₁,n)로부터 증가하는 경우가 생길 수 있다. 이 경우에는, 제어부(30c)는, 소스 주파수 f(k,m,n)를, 소스 주파수 f(k,m-M₂,n)에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다. 또한, 파형 주기 CY(k,m)의 앞의 2개 이상의 파형 주기 각각의 위상 기간 SP(n)의 소스 주파수는, 그 앞의 파형 주기의 위상 기간 SP(n)의 소스 주파수에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖도록 갱신되어도

좋다. 이 경우에서, 상기 2개 이상의 파형 주기의 위상 기간 SP(n) 각각의 반사 정도(예컨대 반사파의 파워 레벨 Pr) 또는 이들의 평균치가 증가 경향에 있는 경우에는, 다른 쪽의 주파수 시프트가 파형 주기 CY(k,m)의 위상 기간 SP(n)의 소스 주파수에 부여되어도 좋다. 예컨대 파형 주기 CY(k,m)의 위상 기간 SP(n)의 소스 주파수는, 상기 2개 이상의 파형 주기 중 가장 빠른 파형 주기의 소스 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정되어도 좋다.

[0061] 또한, 펄스 내 피드백에서는, 한쪽의 주파수 시프트에 의해 얻어진 소스 주파수 f(k,m,n)를 이용한 경우에, 반사 정도가 증대되는 경우가 생길 수 있다. 예컨대 한쪽의 주파수 시프트에 의해 반사파의 파워 레벨 Pr(k,m,n)이 반사파의 파워 레벨 Pr(k,m-M₂,n)로부터 증가하는 경우가 생길 수 있다. 이 경우에는, 제어부(30c)는, 파형 주기 CY(k,m+M₃) 내의 위상 기간 SP(n)에서의 소스 주파수를 중간의 주파수로 설정하여도 좋다. 파형 주기 CY(k,m+M₃)는 파형 주기 CY(k,m)의 뒤의 주기이다. M₃은 자연수이며, M₃=M₂를 만족하여도 좋다. 위상 기간 SP(k,m+M₃,n)에서 설정될 수 있는 중간의 주파수는 f(k,m-M₂,n)와 f(k,m,n) 사이의 주파수이며, f(k,m-M₂,n)와 f(k,m,n)의 평균치라도 좋다.

[0062] 또한, 펄스 내 피드백에서는, 위상 기간 SP(k,m+M₃,n)에서 중간의 주파수를 이용한 경우의 반사 정도(예컨대 파워 레벨 Pr)가 미리 정해진 역치보다 커지는 경우가 생길 수 있다. 이 경우에, 제어부(30c)는, 파형 주기 CY(k,m+M₄) 내의 위상 기간 SP(n)에서의 소스 주파수를, 중간의 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다. 파형 주기 CY(k,m+M₄)는 파형 주기 CY(k,m+M₃)의 뒤의 주기이다. M₄는 자연수이며, M₄=M₁를 만족하여도 좋다. 역치는 미리 정해져 있다. 다른 쪽의 주파수 시프트량 Δ(1,m+M₄,n)의 절대치는 한쪽의 주파수 시프트량 Δ(1,m,n)의 절대치보다 크다. 이 경우에는, 반사 정도(예컨대 반사파의 파워 레벨 Pr)를 로컬의 극소치로부터 감소시킬 수 없게 되는 것을 피할 수 있게 된다. 또한, 중복 기간 OP(k) 내의 복수의 파형 주기 CY 각각에서의 복수의 위상 기간 SP 각각을 위한 역치는 서로 동일하더라도 다르더라도 좋다.

[0063] 이하, 중복 기간 OP(k)(k는 2 이상, T-1 이하. T는 3 이상의 정수)에서의 소스 주파수의 설정에 관해서 설명한다. 중복 기간 OP(k) 내의 복수의 파형 주기 CY 내의 복수의 위상 기간 SP의 소스 주파수는 상술한 펄스 내 피드백에 의해 설정되어도 좋다. 또한, 중복 기간 OP(k) 내의 파형 주기 CY(1) 내의 복수의 위상 기간 SP의 소스 주파수의 설정에서는, 중복 기간 OP(k-1) 내의 파형 주기 CY(M-1) 및 파형 주기 CY(M)가 파형 주기 CY(k,m-M₁) 및 파형 주기 CY(k,m-M₂)로서 이용되어도 좋다. 또한, 파형 주기 CY(M)는 각 중복 기간에서의 최후의 파형 주기이다. 또한, 중복 기간 OP(k) 내의 파형 주기 CY(2) 내의 복수의 위상 기간 SP의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수의 설정에서는, 중복 기간 OP(k-1) 내의 파형 주기 CY(M) 및 중복 기간 OP(k) 내의 파형 주기 CY(1)가 파형 주기 CY(k,m-M₁) 및 파형 주기 CY(k,m-M₂)로서 이용되어도 좋다.

[0064] 다른 실시형태에서, 중복 기간 OP(k)(k는 1 이상, T-1 이하. T는 3 이상의 정수) 내의 복수의 파형 주기 CY 내의 복수의 위상 기간 SP의 소스 주파수는, 미리 준비된 테이블에 등록되어 있는 각각의 주파수를 이용하여 설정되어도 좋다.

[0065] [중복 기간 OP(T) 이후의 중복 기간에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수의 설정(펄스 간 피드백)]

[0066] 이하, 도 8을 참조하여, T번째(T는 3 이상의 정수)의 중복 기간 OP(k)에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수 설정에 관해서 설명한다. 도 8은 바이어스 에너지와 소스 고주파 전력의 소스 주파수의 일례를 도시하는 타이밍 차트이다.

[0067] 제어부(30c)는, 2번째 중복 기간의 뒤의 복수의 중복 기간 OP 각각에 포함되는 복수의 파형 주기 CY 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 SP 각각에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를, 펄스 간 피드백에 의해 설정하도록 구성되어 있다.

[0068] 펄스 간 피드백에서, 제어부(30c)는, 소스 주파수 f(k,m,n)를, 소스 고주파 전력(RF)의 반사 정도의 변화에 따라서 조정한다. 소스 고주파 전력(RF)의 반사 정도는, 일례에서는, 센서(31s)로부터 출력되는 소스 고주파 전력(RF)의 반사파의 파워 레벨 Pr로 표시된다. 펄스 간 피드백에서는, 반사 정도의 변화는, 중복 기간 OP(k)의 앞의 2개 이상의 중복 기간 OP 내의 파형 주기 CY(m) 내의 대응하는 위상 기간 SP(n)에서 서로 다른 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를 이용함으로써 특정된다.

[0069] 펄스 간 피드백에서는, 2개 이상의 중복 기간 OP 각각에서의 동일 파형 주기 내의 동일한 위상 기간에서 서로

다른 소스 주파수를 이용함으로써, 소스 주파수 변경(주파수 시프트)과 소스 고주파 전력의 반사 정도 변화의 관계를 특정할 수 있다. 따라서, 펄스 간 피드백에 의하면, 반사 정도의 변화에 따라서, 위상 기간 $SP(k,m,n)$ 에서 이용되는 소스 주파수를, 반사 정도를 저감하도록 조정할 수 있다. 또한, 펄스 내 피드백에 의하면, 복수의 중복 기간 OP 각각의 기간 중의 복수의 파형 주기 CY 각각에서 고속으로 반사 정도를 저감할 수 있다.

[0070] 일 실시형태에서, 중복 기간 $OP(k)$ 의 앞의 2개 이상의 중복 기간 OP은 $(k-K_1)$ 번째 중복 기간 $OP(k-K_1)$ 과 $(k-K_2)$ 번째 중복 기간 $OP(k-K_2)$ 을 포함한다. 여기서, K_1 및 K_2 는 $K_1 > K_2$ 를 만족하는 자연수이다.

[0071] 일 실시형태에서는 중복 기간 $OP(k-K_1)$ 은 중복 기간 $OP(k-2)$ 이다. 중복 기간 $OP(k-K_2)$ 은 중복 기간 $OP(k-K_1)$ 의 뒤의 중복 기간이며, 일 실시형태에서는 중복 기간 $OP(k-1)$ 이다. 즉, 일 실시형태에서, K_2 , K_1 은 각각 1, 2이다.

[0072] 제어부(30c)는, 위상 기간 $SP(k-K_2,m,n)$ 에서의 소스 주파수 $f(k-K_2,m,n)$ 에, 위상 기간 $SP(k-K_1,m,n)$ 에서의 소스 주파수로부터의 한쪽의 주파수 시프트를 부여한다. 여기서, $f(k,m,n)$ 는 위상 기간 $SP(k,m,n)$ 에서 이용되는 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를 나타낸다. $f(k,m,n)$ 는 $f(k,m,n)=f(k-K_2,m,n)+\Delta(k,m,n)$ 으로 표시된다. $\Delta(k,m,n)$ 는 주파수 시프트량을 나타낸다. 한쪽의 주파수 시프트는 주파수의 감소 및 주파수의 증가 중 한쪽이다. 한쪽의 주파수 시프트가 주파수의 감소이면 $\Delta(k,m,n)$ 는 음의 값을 갖는다. 한쪽의 주파수 시프트가 주파수의 증가이면 $\Delta(k,m,n)$ 는 양의 값을 갖는다.

[0073] 또한, 도 8에서, 파형 주기 $CY(2,1)$ 내의 복수의 위상 기간 SP 각각에서의 소스 주파수는, 서로 동일하며, 주파수 f_0 으로부터 감소된 주파수로 설정되어 있지만, 주파수 f_0 으로부터 증가되어도 좋다.

[0074] 펄스 간 피드백에서, 한쪽의 주파수 시프트에 의해 얻어진 소스 주파수 $f(k-K_2,m,n)$ 를 이용한 경우에 반사 정도가 저하한 경우에는, 제어부(30c)는, 소스 주파수 $f(k,m,n)$ 를, 소스 주파수 $f(k-K_2,m,n)$ 에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정한다. 예컨대 한쪽의 주파수 시프트에 의해 파워 레벨 $Pr(k-K_2,m,n)$ 이 파워 레벨 $Pr(k-K_1,m,n)$ 로부터 감소한 경우에는, 제어부(30c)는, 소스 주파수 $f(k,m,n)$ 를, 소스 주파수 $f(k-K_2,m,n)$ 에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정한다. 또한, $Pr(k,m,n)$ 은 위상 기간 $SP(k,m,n)$ 에서의 소스 고주파 전력(RF)의 반사파의 파워 레벨 Pr 을 나타내고 있다. 또한, 중복 기간 $OP(k)$ 의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각의 위상 기간 $SP(m,n)$ 의 소스 주파수가, 그 앞의 중복 기간의 위상 기간 $SP(m,n)$ 의 소스 주파수에 대하여 한쪽의 주파수 시프트를 갖도록 갱신되어도 좋다. 이 경우에서, 상기 2개 이상의 중복 기간의 위상 기간 $SP(m,n)$ 각각의 반사 정도(예컨대 반사파의 파워 레벨 Pr) 또는 이들의 평균치가 증가 경향에 있는 경우에는, 다른 쪽의 주파수 시프트가 중복 기간 $OP(k)$ 의 위상 기간 $SP(m,n)$ 의 소스 주파수에 부여되어도 좋다. 예컨대 중복 기간 $OP(k)$ 의 위상 기간 $SP(m,n)$ 의 소스 주파수는, 상기 2개 이상의 중복 기간 중 가장 빠른 중복 기간의 소스 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정되어도 좋다.

[0075] 일 실시형태에서, 위상 기간 $SP(k,m,n)$ 에서의 한쪽의 주파수 시프트량 $\Delta(m,n)$ 은 위상 기간 $SP(k-K_2,m,n)$ 에서의 한쪽의 주파수 시프트량 $\Delta(k-K_2,m,n)$ 과 동일하여도 좋다. 즉, 주파수 시프트량 $\Delta(k,m,n)$ 의 절대치는 주파수 시프트량 $\Delta(k-K_2,m,n)$ 의 절대치와 동일하여도 좋다. 혹은 주파수 시프트량 $\Delta(k,m,n)$ 의 절대치는 주파수 시프트량 $\Delta(k-K_2,m,n)$ 의 절대치보다 크더라도 좋다. 혹은 주파수 시프트량 $\Delta(k,m,n)$ 의 절대치는 위상 기간 $SP(k-K_2,m,n)$ 에서의 반사 정도(예컨대 반사파의 파워 레벨 $Pr(k-K_2,m,n)$)가 클수록 커지도록 설정되어도 좋다. 예컨대 주파수 시프트량 $\Delta(k,m,n)$ 의 절대치는 반사 정도(반사파의 파워 레벨 $Pr(k-1,m,n)$)의 함수에 의해 결정되어도 좋다.

[0076] 펄스 간 피드백에서는, 한쪽의 주파수 시프트에 의해서 얻어진 소스 주파수 $f(k-K_2,m,n)$ 를 이용함으로써 반사 정도가 증대되는 경우가 생길 수 있다. 예컨대 한쪽의 주파수 시프트에 의해 반사파의 파워 레벨 $Pr(k-1,m,n)$ 이 반사파의 파워 레벨 $Pr(k-2,m,n)$ 로부터 증가하는 경우가 생길 수 있다. 이 경우에, 제어부(30c)는, 소스 주파수 $f(k,m,n)$ 를, 소스 주파수 $f(k-K_2,m,n)$ 에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다.

[0077] 또한, 펄스 간 피드백에서는, 한쪽의 주파수 시프트에 의해 얻어진 소스 주파수 $f(k,m,n)$ 를 이용한 경우에, 반사 정도가 증대되는 경우가 생길 수 있다. 예컨대 한쪽의 주파수 시프트에 의해 반사파의 파워 레벨 $Pr(k,m,n)$ 이 반사파의 파워 레벨 $Pr(k-K_2,m,n)$ 로부터 증가하는 경우가 생길 수 있다. 이 경우에, 제어부(30c)는, 위상 기

간 $SP(k+K_3, m, n)$ 에서의 소스 주파수를 중간의 주파수로 설정하여도 좋다. 즉, 이 경우에는, 중복 기간 $OP(k+K_3)$ 내의 파형 주기 $CY(m)$ 내의 위상 기간 $SP(n)$ 에서의 소스 주파수를 중간의 주파수로 설정하여도 좋다. 중복 기간 $OP(k+K_3)$ 은 중복 기간 $OP(k)$ 의 뒤의 기간이다. K_3 은 자연수이며, $K_3=K_2$ 를 만족하여도 좋다. 위상 기간 $SP(k+K_3, m, n)$ 에서 설정될 수 있는 중간의 주파수는 $f(k-K_2, m, n)$ 와 $f(k, m, n)$ 사이의 주파수이며, $f(k-K_2, m, n)$ 와 $f(k, m, n)$ 의 평균치라도 좋다.

[0078] 또한, 펄스 간 피드백에서는, 위상 기간 $SP(k+K_3, m, n)$ 에서 상기 중간의 주파수를 이용한 경우의 반사 정도(예컨대 파워 레벨 Pr)가 미리 정해진 역치보다 커지는 경우가 생길 수 있다. 이 경우에, 제어부(30c)는, 위상 기간 $SP(k+K_4, m, n)$ 에서의 소스 주파수를, 중간의 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하여도 좋다. 즉, 이 경우에는, 중복 기간 $OP(k+K_4)$ 내의 파형 주기 $CY(m)$ 내의 위상 기간 $SP(n)$ 에서의 소스 주파수에, 다른 쪽의 주파수 시프트를 부여하여도 좋다. 중복 기간 $OP(k+K_4)$ 은 중복 기간 $OP(k+K_3)$ 의 뒤의 기간이다. K_4 는 $K_4>K_3$ 을 만족하는 자연수이며, $K_4=K_1$ 을 만족하여도 좋다. 역치는 미리 정해져 있다. 다른 쪽의 주파수 시프트량 $\Delta(k+K_4, m, n)$ 의 절대치는 한쪽의 주파수 시프트량 $\Delta(k, m, n)$ 의 절대치보다 크다. 이 경우에는, 반사 정도(예컨대 반사파의 파워 레벨 Pr)를 로컬의 극소치로부터 감소시킬 수 없게 되는 것을 피할 수 있게 된다. 또한, 복수의 중복 기간 OP 내의 복수의 파형 주기 CY 각각에서의 복수의 위상 기간 SP 각각을 위한 역치는 서로 동일하더라도 다르더라도 좋다.

[0079] 플라즈마 처리 장치(1)는, 각 위상 기간에서의 반사 정도로서, 각 위상 기간에서의 측정치의 대표치를 이용하여도 좋다. 대표치는 각 위상 기간에서의 측정치의 평균치 또는 최대치라도 좋다. 또한, 플라즈마 처리 장치(1)는, 상술한 반사파의 파워 레벨 Pr , 소스 고주파 전력(RF)의 출력 파워 레벨에 대한 반사파의 파워 레벨 Pr 의 비의 값(이하, 「반사율」이라고 한다), 전압(V)과 전류(I) 사이의 위상차(θ) 및 고주파 전원(31)의 부하 측의 임피던스(Z) 중 적어도 하나를 측정치로서 이용하여도 좋다.

[0080] 플라즈마 처리 장치(1)는 상술한 센서(31s)와 함께 혹은 센서(31s) 대신에 VI 센서를 구비하고 있어도 좋다. VI 센서는 고주파 전원(31)과 고주파 전극 사이의 소스 고주파 전력(RF)의 급전로에서의 전압(V) 및 전류(I)를 측정한다. VI 센서는 고주파 전원(31)과 정합기(31m) 사이에서 접속되어 있어도 좋다. VI 센서는 정합기(31m)와 고주파 전극 사이에서 접속되어 있어도 좋다. 예컨대 VI 센서는, 정합기(31m)로부터 바이어스 전극으로 향해서 연장되는 전기적 패스와 정합기(32m)로부터 바이어스 전극으로 향해서 연장되는 전기적 패스의 합류점과 바이어스 전극과의 사이에서 접속되어 있어도 좋다. 혹은 VI 센서는 상기 합류점과 정합기(31m)와의 사이에서 접속되어 있어도 좋다. VI 센서는 정합기(31m)의 일부라도 좋다.

[0081] 각 파형 주기 CY 의 복수의 위상 기간 SP 각각을 위한 소스 주파수는, 고주파 전원(31)의 부하 측의 임피던스를 정합 포인트에 가까워지도록 전압(V), 전류(I) 및 전압(V)과 전류(I) 사이의 위상차(θ)에 따라서 변경되어도 좋다. 또한, 정합기(31m)의 가변 임피던스가, 고주파 전원(31)의 부하 측의 임피던스(Z)를 정합 포인트에 가까워지도록 전압(V), 전류(I) 및 위상차(θ)에 따라서 조정되어도 좋다. 또한, 소스 고주파 전력(RF)의 급전로의 특성 임피던스가 50Ω 인 경우에는, 정합 포인트의 실제 저항 성분은 50Ω 이며, 위상차(θ)는 0° 이다.

[0082] 이하, 도 9를 참조하여, 하나의 예시적 실시형태에 따른 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 제어하는 방법에 관해서 설명한다. 도 9는 하나의 예시적 실시형태에 따른 소스 고주파 전력의 소스 주파수를 제어하는 방법의 흐름도이다. 도 9에 도시하는 방법(MT)은 공정 STa 또는 공정 STb에서 시작한다. 공정 STa에서는, 바이어스 에너지(BE)의 펄스(BEP)가 플라즈마 처리 장치(1)의 기판 지지부(11)의 바이어스 전극에 부여된다. 바이어스 에너지(BE)의 펄스(BEP)는 복수의 펄스 기간 PP 각각에서 바이어스 전극에 부여된다.

[0083] 공정 STb에서는, 소스 고주파 전력(RF)이, 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 고주파 전원(예컨대 고주파 전원(31))으로부터 공급된다. 소스 고주파 전력(RF)은 도 3의 (a), 도 3의 (b), 도 4의 (a) 및 도 4의 (b)에 예시한 것과 같이 공급된다.

[0084] 공정 STc에서는, 복수의 중복 기간 OP 각각에 포함되는 복수의 파형 주기 CY 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 SP 각각에서 이용되는 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수가 설정된다. 펄스 간 피드백에서는, 중복 기간 $OP(k)$ 내의 파형 주기 $CY(m)$ 내의 위상 기간 $SP(k, m, n)$ 에서의 소스 주파수는 소스 고주파 전력의 반사 정도의 변화에 따라서 조정된다. 펄스 간 피드백에서는, 반사 정도(예컨대 반사파의 파워 레벨 Pr)의 변화는, 중복 기간 $OP(k)$ 의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 파형 주기 $CY(m)$ 내의 대응하는 위상 기간 $SP(n)$ 에서 서로

다른 소스 주파수를 이용함으로써 특정된다. 펄스 간 피드백에 관해서는 상술한 설명을 참조하길 바란다.

- [0085] 이하, 도 10의 (a)~도 10의 (d)를 참조한다. 도 10의 (a)~도 10의 (d) 각각은 바이어스 에너지의 또 다른 예를 도시하는 타이밍 차트이다. 일 실시형태에서, 복수의 중복 기간 OP은 1번째부터 K_a 번째 중복 기간 OP(1)~OP(K_a)을 포함하고 있어도 좋다. 여기서, K_a 는 2 이상의 자연수이다.
- [0086] 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(1)~OP(K_a) 각각에 포함되는 복수의 파형 주기 CY 중 1번째부터 M_a 번째 파형 주기 CY(1)~CY(M_a) 각각에서, 초기 처리를 행하여도 좋다. 여기서, M_a 는 자연수이다. 초기 처리에서는, 파형 주기 CY(1)~CY(M_a) 각각을 위한 복수의 주파수 세트를 포함하는 주파수 세트군이 이용되어도 좋고, 상기 주파수 세트군에 포함되는 복수의 주파수 세트는 서로 다르더라도 좋다. 또한, 중복 기간 OP(1)~OP(K_a) 각각을 위한 복수의 주파수 세트군이 이용되어도 좋고, 이들 복수의 주파수 세트군은 서로 다르더라도 좋다. 또한, 복수의 주파수 세트 및 복수의 주파수 세트군은 제어부(2) 또는 제어부(30c)의 기억부에 기억되어 있어도 좋다.
- [0087] 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(1)~OP(K_a) 각각에서, 복수의 파형 주기 CY 중 파형 주기 CY(M_a) 뒤에, 상술한 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다. 즉, 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(1)~OP(K_a) 각각에 포함되는 파형 주기 CY(M_{a+1})~CY(M)에서, 상술한 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다.
- [0088] 일 실시형태에서, 복수의 중복 기간 OP은 (K_a+1)번째부터 K_b 번째 중복 기간 OP(K_a+1)~OP(K_b)을 더 포함하고 있어도 좋다. 여기서, K_b 는 (K_a+1) 이상의 자연수이며, $K_b=K_a+1$ 을 만족하여도 좋다.
- [0089] 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(K_a+1)~OP(K_b) 각각에 포함되는 복수의 파형 주기 CY 중 1번째부터 M_{b1} 번째 파형 주기 CY(1)~CY(M_{b1}) 각각에서 상기한 초기 처리를 행하여도 좋다. 여기서, M_{b1} 은 자연수이다. M_{b1} 및 M_a 는 $M_{b1}<M_a$ 를 만족하여도 좋다.
- [0090] 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(K_a+1)~OP(K_b) 각각에 포함되는 복수의 파형 주기 CY 중 ($M_{b1}+1$)번째부터 M_{b2} 번째 파형 주기 CY($M_{b1}+1$)~CY(M_{b2})에서, 상술한 펄스 간 피드백을 행하여도 좋다. 여기서, M_{b2} 는 $M_{b2}>M_{b1}$ 을 만족하는 자연수이다.
- [0091] 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(K_a+1)~OP(K_b) 각각에서, 파형 주기 CY(M_{b2}) 뒤에, 상술한 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다. 즉, 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(K_a+1)~OP(K_b) 각각에 포함되는 파형 주기 CY($M_{b2}+1$)~CY(M)에서, 상술한 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다.
- [0092] 또한, 고주파 전원(31)은, (K_b+1)번째부터 최후의 중복 기간 OP(K_b+1)~OP(K) 각각에 포함되는 1번째부터 M_c 번째 파형 주기 CY(1)~CY(M_c)에서, 상술한 펄스 간 피드백을 행하여도 좋다. 여기서, M_c 는 자연수이다. 또한, 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(K_b+1)~OP(K) 각각에서, 파형 주기 CY(M_c) 뒤에, 상술한 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다. 즉, 고주파 전원(31)은, 중복 기간 OP(K_b+1)~OP(K) 각각에 포함되는 파형 주기 CY(M_c+1)~CY(M)에서, 상술한 펄스 내 피드백을 행하여도 좋다.
- [0093] 일 실시형태에서, 고주파 전원(31)은, 2번째부터 최후의 중복 기간 OP(2)~OP(K)의 적어도 하나의 중복 기간에서, 파형 주기 CY(M_f) 내의 위상 기간 SP(n)에서의 소스 주파수를, 상기 적어도 하나의 중복 기간의 직전의 중복 기간에 포함되는 최후의 파형 주기 CY(M) 내의 동일한 위상 기간 SP(n)의 소스 주파수로 설정하여도 좋다. 파형 주기 CY(M_f)는, 상기 적어도 하나의 중복 기간 내의 복수의 파형 주기 CY 중 펄스 내 피드백이 최초로 적용되는 파형 주기이다. 혹은 고주파 전원(31)은, 상기 적어도 하나의 중복 기간에서, 파형 주기 CY(M_f) 내의 위상 기간 SP(n)에서의 소스 주파수를, 상기 적어도 하나의 중복 기간의 직전의 중복 기간에 포함되는 최후의 파형 주기 CY(M)를 포함하는 2개 이상의 파형 주기의 동일한 위상 기간 SP(n)의 소스 주파수의 평균치로 설정하여도 좋다. 상기 2개 이상의 파형 주기는 상기 적어도 하나의 중복 기간의 직전의 중복 기간에 포함되는 파형 주기 CY($M-M_f+1$)~CY(M)라도 좋다. 여기서, M_f 은 상기 2개 이상의 파형 주기의 개수이다.
- [0094] 일 실시형태에서, 상술한 M_a , M_{b1} , M_{b2} 및 M_c 각각은 사전에 설정된 값이라도 좋다. 즉, 초기 처리가 적용되는 파

형 주기의 개수인 M_a 및 M_{b1} , 그리고 펄스 간 피드백이 적용되는 파형 주기의 개수인 M_{b2} 및 M_c 는 사전에 설정되어 있어도 좋다.

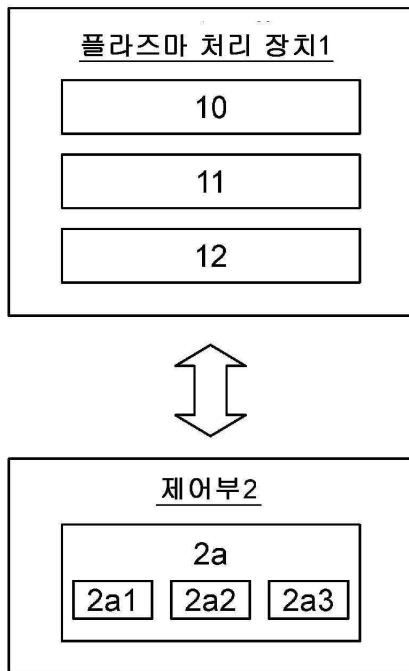
- [0095] 혹은 고주파 전원(31)은, 초기 처리를 행하고 있을 때에 반사 정도를 반영하는 모니터치가 지정된 범위 내에 들어갔을 때에, 상기 초기 처리를 종료하도록 구성되어 있어도 좋다. 또한, 고주파 전원(31)은, 펄스 간 피드백을 행하고 있을 때에 반사 정도를 반영하는 모니터치가 지정된 범위 내에 들어갔을 때에, 상기 초기 처리를 종료하도록 구성되어 있어도 좋다.
- [0096] 모니터치에는 하나 이상의 측정치가 이용되어도 좋다. 혹은 모니터치로서, 하나 이상의 측정치 각각의 동일한 위상 기간에서의 평균치의 파형 주기 사이에서의 변화량(변화율 또는 차분)이 이용되어도 좋다. 혹은 모니터치로서, 하나 이상의 측정치 각각의 여러 주기분의 파형 주기의 동일한 위상 기간에서의 평균치의 시간 경과에 따른 변화량(변화율 또는 차분)이 이용되어도 좋다. 혹은 모니터치로서, 하나 이상의 측정치 각각의 동일한 위상 기간에서의 평균치의 파형 주기 사이에서의 변화량(변화율 또는 차분)이 이용되어도 좋다. 혹은 모니터치로서, 하나 이상의 측정치 각각의 하나 이상의 파형 주기에서의 변동 또는 하나 이상의 측정치 각각의 여러 주기분의 파형 주기의 동일한 위상 기간에서의 변동이 이용되어도 좋다. 하나 이상의 측정치는, 반사파의 파워 레벨 Pr, 상술한 반사율, 전압(V)과 전류(I)의 위상차(θ), 임피던스(Z), 바이어스 전극의(Vpp)(Peak-to-Peak Voltage), 바이어스 전극의 자기 바이어스 전압(Vdc) 및 플라즈마의 발광 상태 중 하나 이상을 포함하고 있어도 좋다.
- [0097] 이상, 다양한 예시적 실시형태에 관해서 설명해 왔지만, 상술한 예시적 실시형태에 한정되지 않고서 여러 가지 추가, 생략, 치환 및 변경이 이루어지더라도 좋다. 또한, 상이한 실시형태에서의 요소를 조합하여 그 밖의 실시형태를 형성할 수 있다.
- [0098] 상술한 것과 같이, 다른 실시형태에서는, 플라즈마 처리 장치는 유도 결합형 플라즈마 처리 장치, ECR 플라즈마 처리 장치, 헬리콘과 여기 플라즈마 처리 장치 또는 표면파 플라즈마 처리 장치라도 좋다. 어느 플라즈마 처리 장치에서나 소스 고주파 전력(RF)은 플라즈마의 생성을 위해서 이용되고, 복수의 파형 주기 CY의 복수의 위상 기간 SP에서 이용되는 소스 주파수는 플라즈마 처리 장치(1)에 관해서 상술한 것과 같이 조정된다.
- [0099] 또한, 펄스 내 피드백에서, 위상 기간 SP(k,m,n)에서의 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수는, 중복 기간 OP(k) 내에서 파형 주기 CY(k, m)의 앞의 2개 이상의 파형 주기 CY 각각에서의 대응하는 위상 기간 SP(n)에서 서로 다른 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를 이용함으로써 얻어지는 2개 이상의 반사 정도(예컨대 파워 레벨 Pr)로부터, 반사 정도를 최소화하는 주파수로서 구해지더라도 좋다. 반사 정도를 최소화하는 주파수는, 상기 서로 다른 주파수 각각과 대응하는 반사 정도를 이용한 최소제곱화법에 의해 구해지더라도 좋다.
- [0100] 또한, 펄스 간 피드백에서, 소스 주파수 f(k,m,n)는, 중복 기간 OP(k)의 앞의 2개 이상의 중복 기간 OP 내의 파형 주기 CY(m) 내의 대응하는 위상 기간 SP(n)에서 서로 다른 소스 고주파 전력(RF)의 소스 주파수를 이용함으로써 얻어지는 2개 이상의 반사 정도(예컨대 파워 레벨 Pr)로부터, 반사 정도를 최소화하는 주파수로서 구해지더라도 좋다. 반사 정도를 최소화하는 주파수는, 상기 서로 다른 주파수 각각과 대응하는 반사 정도를 이용한 최소제곱화법에 의해 구해지더라도 좋다.
- [0101] 또한, 본 개시는 이하의 추가적인 실시형태 E1~E9를 포함한다.
- [0102] [E1]
- [0103] 챔버와,
- [0104] 바이어스 전극을 가지며 상기 챔버 내에 설치된 기관 지지부와,
- [0105] 상기 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 고주파 전력을 발생하도록 구성된 고주파 전원과,
- [0106] 복수의 펄스 기간 각각에서 바이어스 에너지의 펄스를 바이어스 전극에 부여하도록 구성된 바이어스 전원과,
- [0107] 상기 고주파 전원의 부하로부터 되돌아오는 상기 고주파 전력의 반사파를 출력하도록 구성된 센서와,
- [0108] 상기 고주파 전원을 제어하도록 구성된 제어부를 구비하고,
- [0109] 상기 바이어스 전원은, 상기 복수의 펄스 기간 각각의 기간 중의 복수의 주기 각각에서 상기 바이어스 에너지를 상기 바이어스 전극에 부여하도록 구성되어 있고,
- [0110] 상기 제어부는,

- [0111] 상기 복수의 펄스 기간에서 상기 고주파 전력이 공급되는 기간인 복수의 중복 기간 각각에 포함되는 복수의 주기 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 각각에서의 상기 고주파 전력의 주파수를 설정하도록 구성되어 있고,
- [0112] 상기 복수의 중복 기간 중 k번째 중복 기간 내의 m번째 주기 내의 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 주파수를, 상기 복수의 중복 기간 중 상기 k번째 중복 기간의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 m번째 주기 내의 대응하는 위상 기간에서 서로 다른 상기 고주파 전력의 주파수를 이용한 경우에 상기 센서로부터 출력되는 상기 반사파의 파워 레벨의 변화에 따라서 조정하도록 구성되어 있는, 플라즈마 처리 장치.
- [0113] [E2]
- [0114] 상기 2개 이상의 중복 기간은 제1 중복 기간과 이 제1 중복 기간의 뒤의 제2 중복 기간을 포함하고,
- [0115] 상기 제어부는, 상기 제2 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수에, 상기 제1 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수로부터의 감소 및 증가 중 한쪽의 주파수 시프트를 부여함으로써 상기 반사파의 파워 레벨이 감소한 경우에, 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수를, 상기 제2 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수에 대하여 상기 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하도록 구성되어 있는 실시형태 E1의 플라즈마 처리 장치.
- [0116] [E3]
- [0117] 상기 제어부는, 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수를, 상기 제2 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수에 대하여 상기 한쪽의 주파수 시프트를 갖는 상기 주파수로 설정함으로써, 상기 반사파의 파워 레벨이 증가한 경우에는, 상기 복수의 중복 기간 내 중 상기 k번째 중복 기간의 뒤의 제3 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 주파수를, 상기 제2 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 주파수와 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 주파수 사이의 중간의 주파수로 설정하도록 구성되어 있는 실시형태 E2의 플라즈마 처리 장치.
- [0118] [E4]
- [0119] 상기 제어부는, 상기 제3 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서 상기 중간의 주파수를 이용한 경우의 상기 반사파의 파워 레벨이 역치보다 큰 경우에, 상기 복수의 중복 기간 중 상기 제3 중복 기간의 뒤의 제4 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 주파수를, 상기 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치보다도 큰 절대치의 양을 갖는 다른 쪽의 주파수 시프트를 상기 중간의 주파수에 대하여 갖는 주파수로 설정하도록 구성되어 있는 실시형태 E3의 플라즈마 처리 장치.
- [0120] [E5]
- [0121] 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수의 상기 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치는, 상기 제2 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수의 상기 한쪽의 주파수 시프트량의 절대치보다 큰 실시형태 E2의 플라즈마 처리 장치.
- [0122] [E6]
- [0123] 상기 2개 이상의 중복 기간은 제1 중복 기간과 이 제1 중복 기간의 뒤의 제2 중복 기간을 포함하고,
- [0124] 상기 제어부는, 상기 제2 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수에, 상기 제1 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수로부터의 감소 및 증가 중 한쪽의 주파수 시프트를 부여함으로써 상기 반사파의 파워 레벨이 증가한 경우에, 상기 k번째 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수를, 상기 제2 중복 기간 내의 상기 m번째 주기 내의 상기 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 상기 주파수에 대하여 다른 쪽의 주파수 시프트를 갖는 주파수로 설정하도록 구성되어 있는 실시형태 E1의 플라즈마 처리 장치.

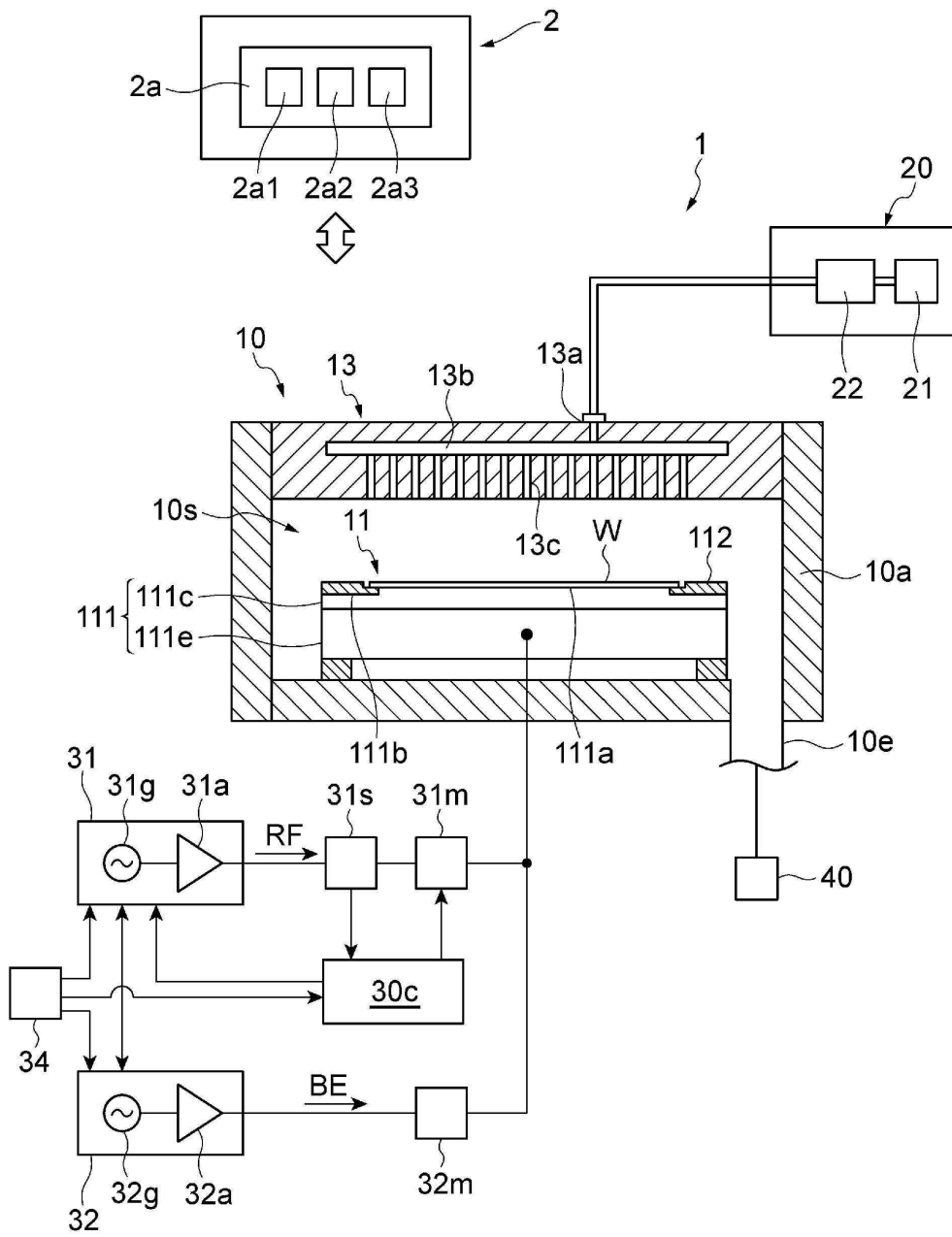
- [0125] [E7]
 - [0126] 상기 바이어스 에너지는, 상기 복수의 주기를 규정하는 바이어스 주파수를 갖는 고주파 전력이거나, 상기 바이어스 주파수로 규정되는 상기 복수의 주기 각각에서 상기 바이어스 전극에 부여되는 전압의 펄스를 포함하는 실시형태 E1~E6의 어느 하나의 플라즈마 처리 장치.
 - [0127] [E8]
 - [0128] 고주파 전력의 주파수를 제어하는 방법으로서,
 - [0129] 복수의 펄스 기간 각각에서, 플라즈마 처리 장치의 챔버 내에 설치된 기관 지지부의 바이어스 전극에 바이어스 에너지의 펄스를 부여하는 공정이며, 상기 바이어스 에너지의 펄스는, 상기 복수의 펄스 기간 각각의 기간 중의 복수의 주기 각각에서 상기 바이어스 전극에 부여되는 바이어스 에너지를 포함하는 상기 공정과,
 - [0130] 상기 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위해서 고주파 전원으로부터 상기 고주파 전력을 공급하는 공정과,
 - [0131] 상기 복수의 펄스 기간에서 상기 고주파 전력이 공급되는 기간인 복수의 중복 기간 각각에 포함되는 복수의 주기 각각의 주기 중의 복수의 위상 기간 각각에서의 상기 고주파 전력의 주파수를 설정하는 공정을 포함하고,
 - [0132] 상기 복수의 중복 기간 중 k번째 중복 기간 내의 m번째 주기 내의 n번째 위상 기간에서의 상기 고주파 전력의 주파수가, 상기 복수의 중복 기간 중 상기 k번째 중복 기간의 앞의 2개 이상의 중복 기간 각각에서의 m번째 주기 내의 대응하는 위상 기간에서 서로 다른 상기 고주파 전력의 주파수를 이용한 경우의 상기 고주파 전력의 반사파의 파워 레벨의 변화에 따라서 조정되는 방법.
 - [0133] 이상의 설명으로부터, 본 개시의 다양한 실시형태는, 설명 목적으로 본 명세서에서 설명되어 있고, 본 개시의 범위 및 주지로부터 이탈하지 않고서 다양한 변경을 할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 따라서, 본 명세서에 개시한 다양한 실시형태는 한정하는 것을 의도하지 않으며, 참된 범위와 주지는 첨부된 청구범위에 의해서 나타내어진다.
- 부호의 설명**
- [0134] 1: 플라즈마 처리 장치, 10: 플라즈마 처리 챔버, 11: 기관 지지부, 31: 고주파 전원, 32: 바이어스 전원, 31s: 센서, 30c: 제어부.

도면

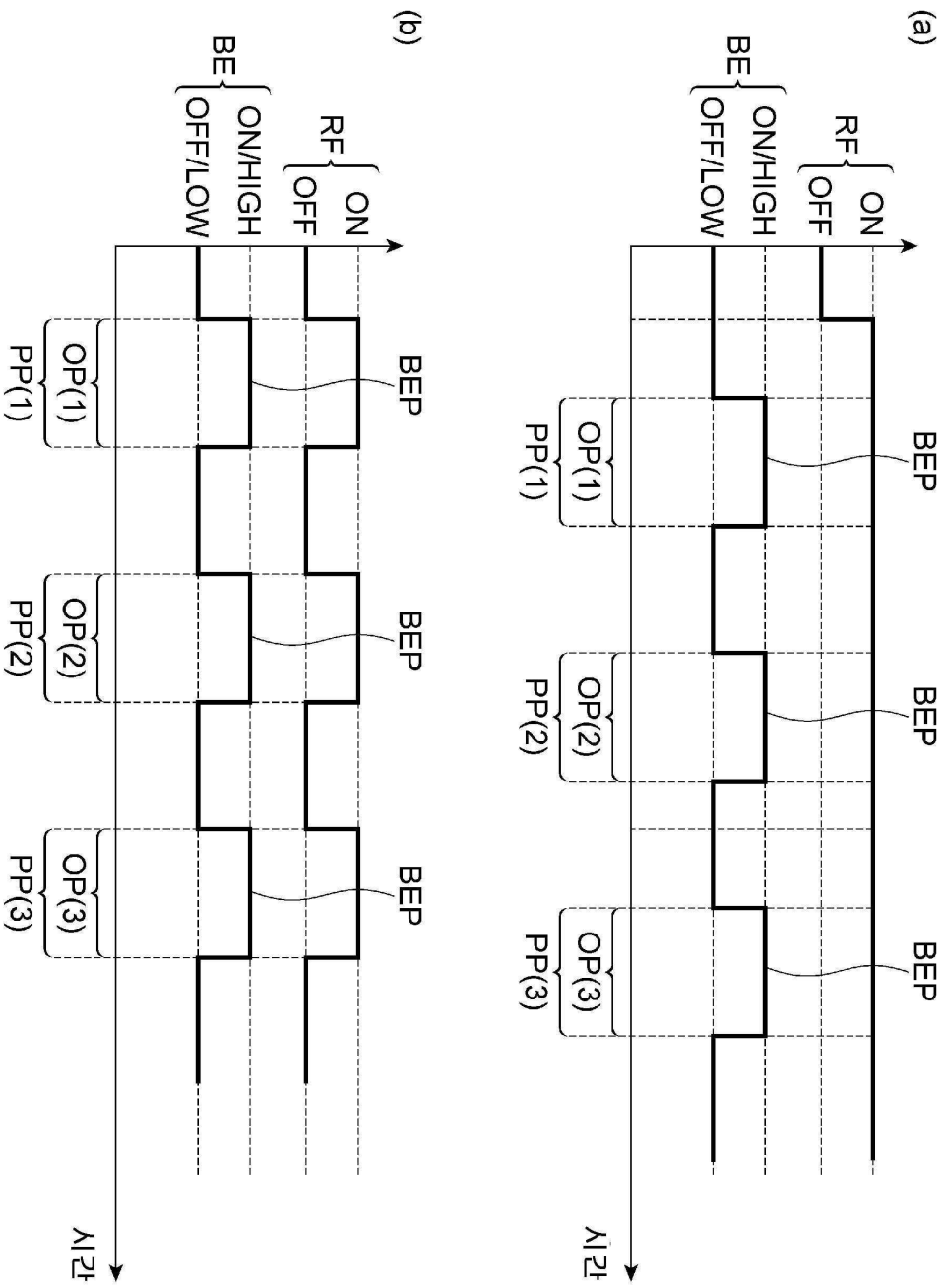
도면1

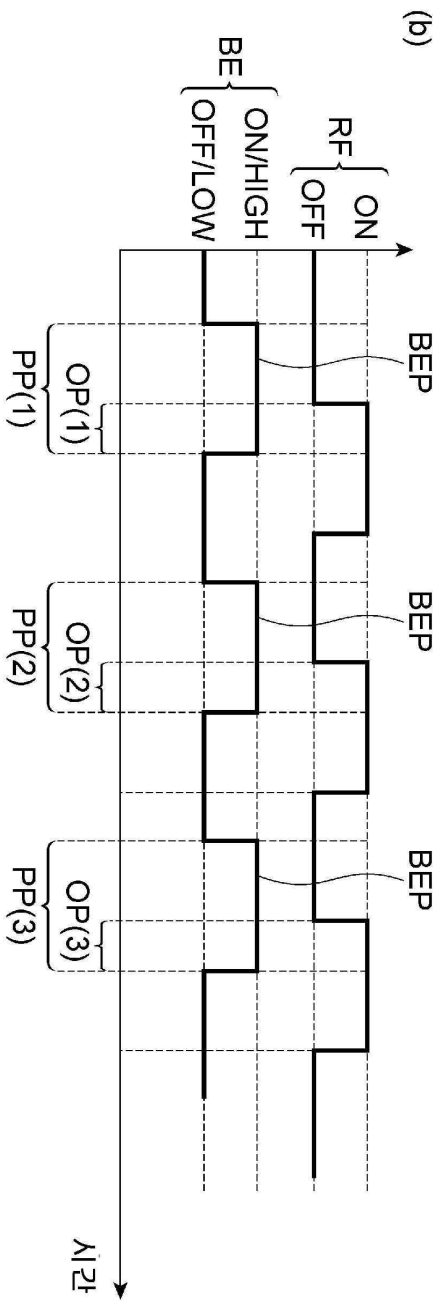
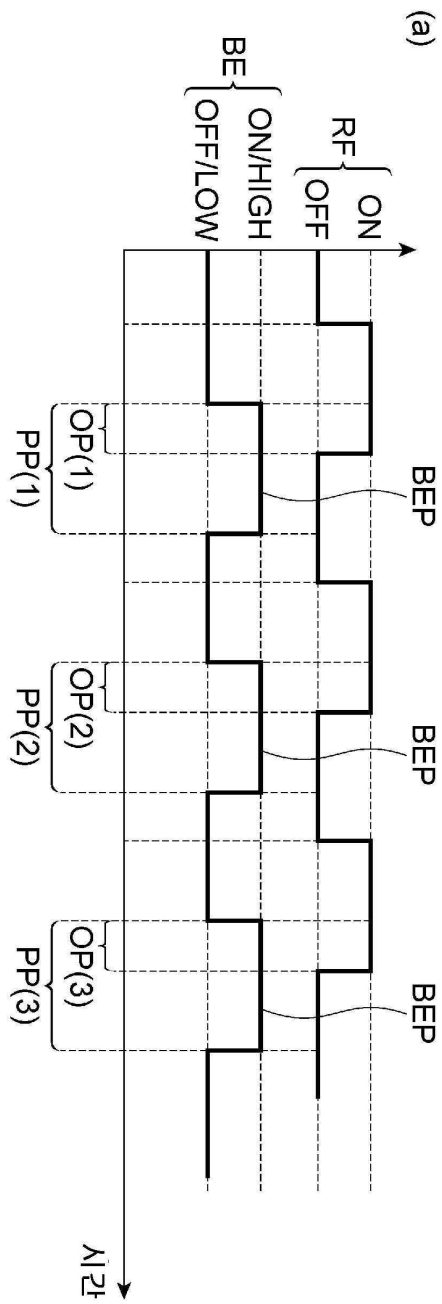


도면2



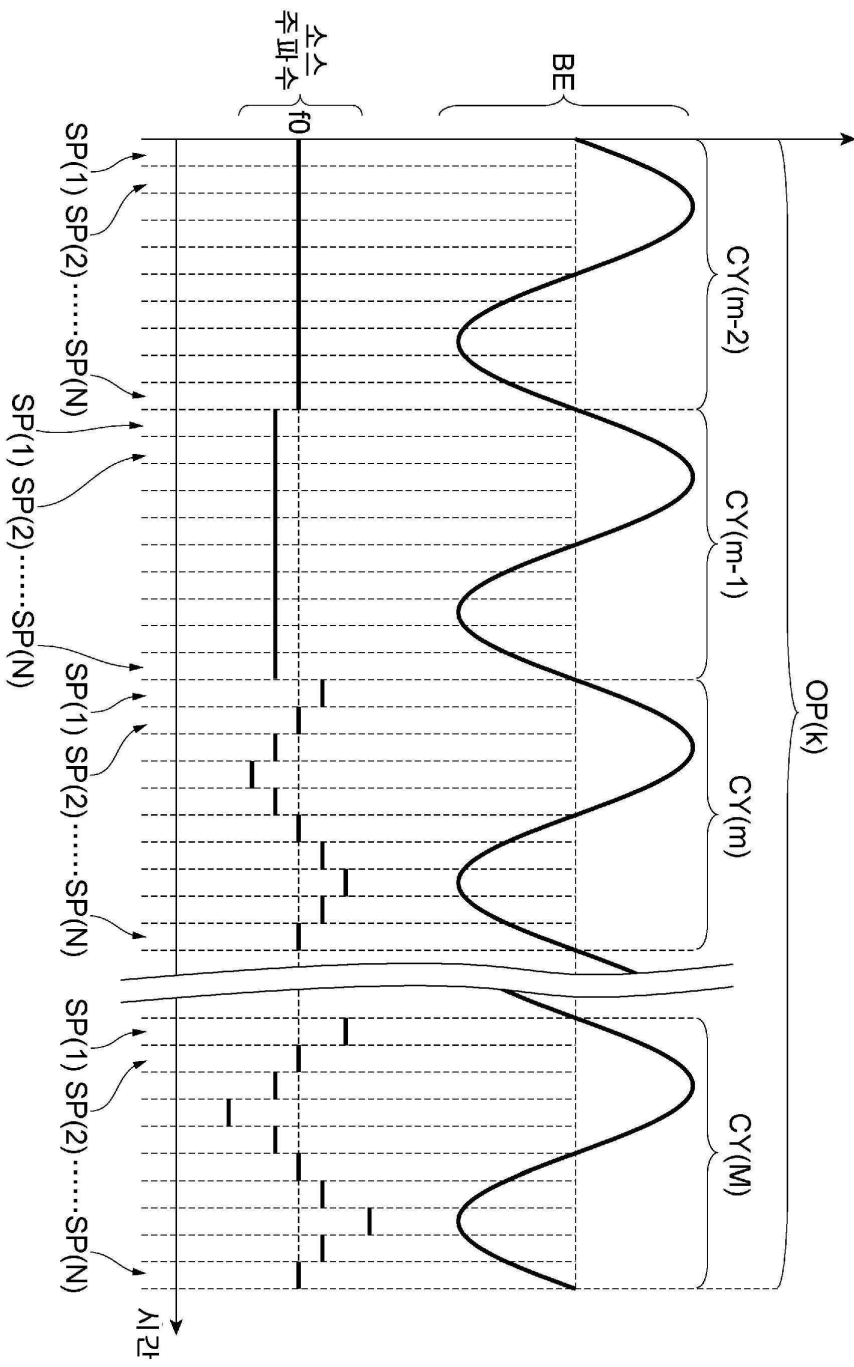
도면3



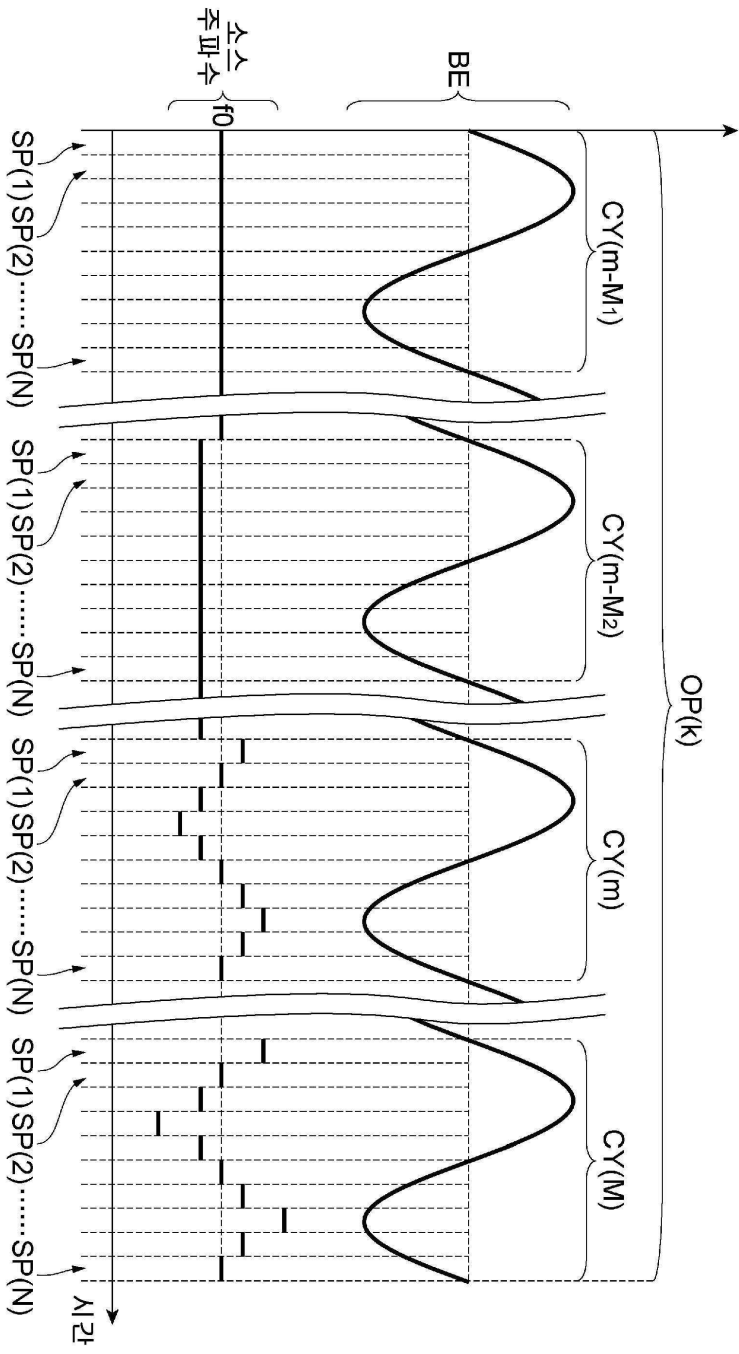


도면4

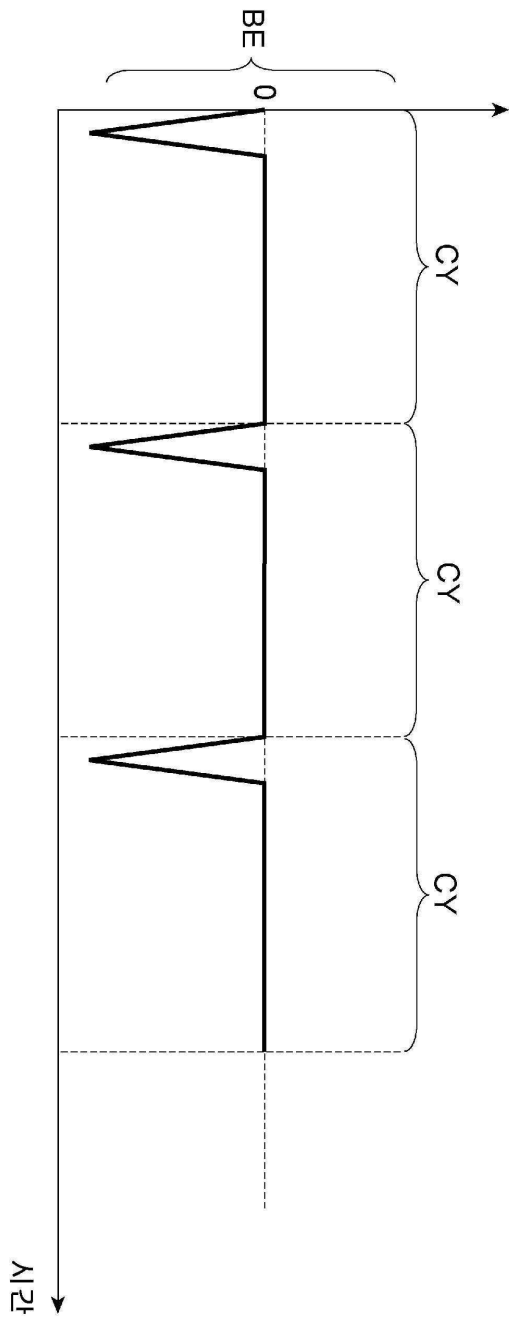
도면5



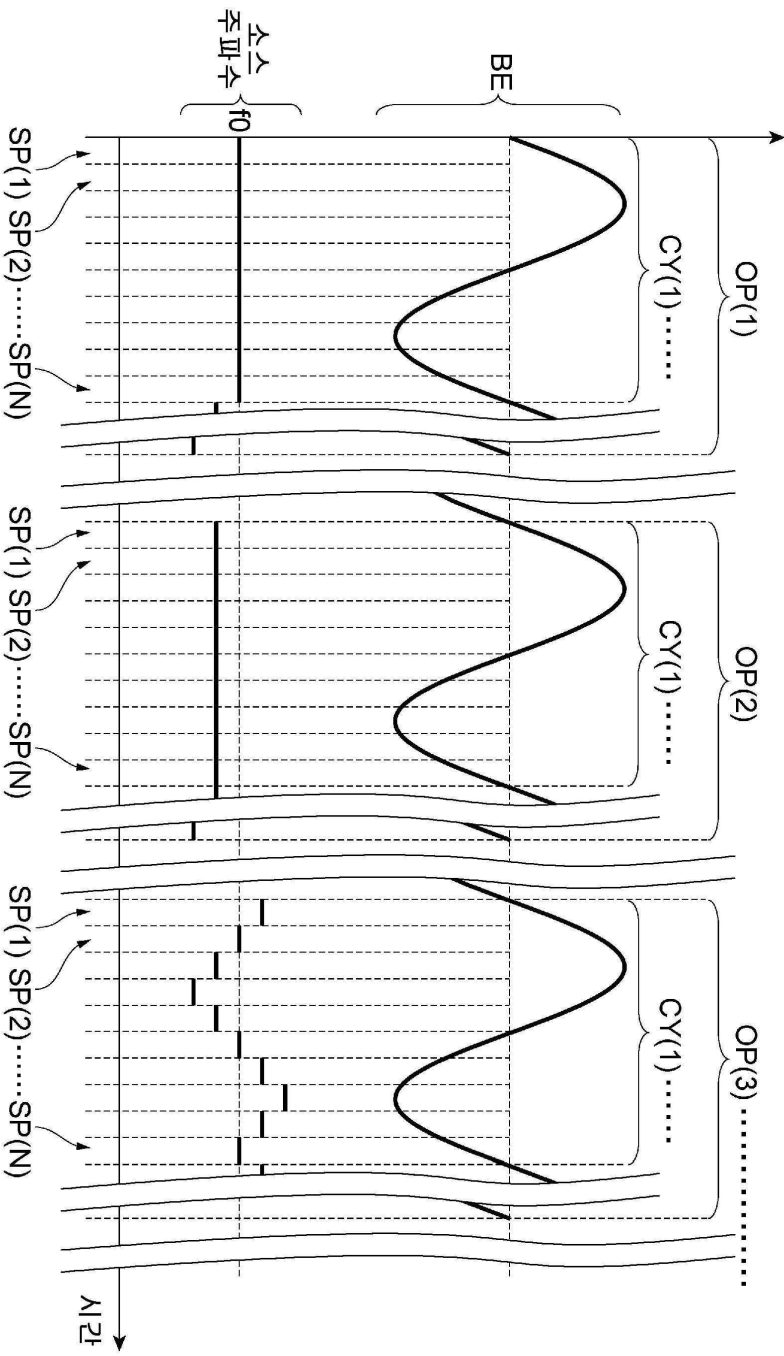
도면6



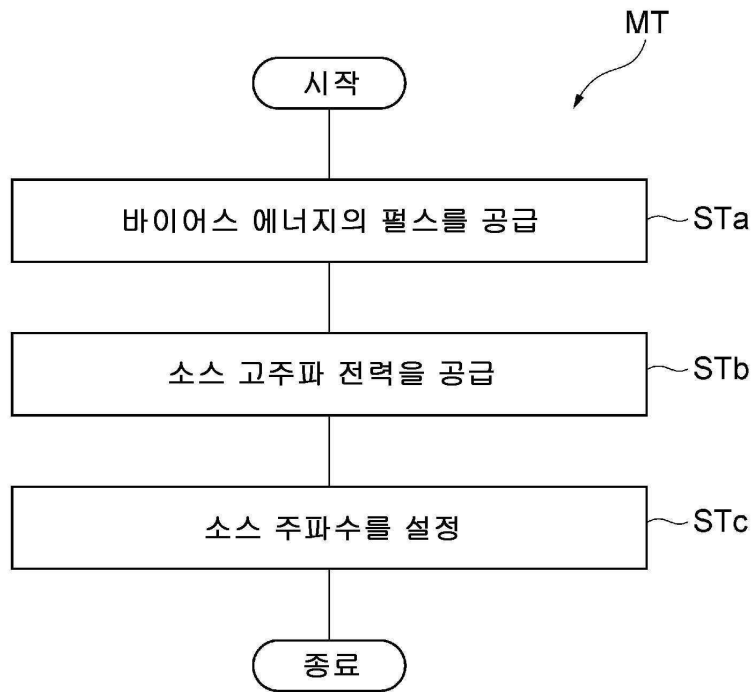
도면7



도면8



도면9



도면10

