



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년06월20일
(11) 등록번호 10-2545994
(24) 등록일자 2023년06월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/32183 (2022.08)
H01J 37/32155 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7018369(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2019년06월12일
심사청구일자 2021년06월15일
- (85) 번역문제출일자 2021년06월15일
- (65) 공개번호 10-2021-0076176
- (43) 공개일자 2021년06월23일
- (62) 원출원 특허 10-2020-7025364
원출원일자(국제) 2019년06월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2019/023238
- (87) 국제공개번호 WO 2019/244734
국제공개일자 2019년12월26일
- (30) 우선권주장
JP-P-2018-119344 2018년06월22일 일본(JP)
JP-P-2019-105708 2019년06월05일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020160102892 A
JP2009071133 A
W02017040415 A1
JP2010532549 A

- (73) 특허권자
도쿄엘렉트론가부시키키가이사
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1고
- (72) 발명자
교시미즈 치시오
일본 9813629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1반 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이
샤 나이
히라노 다이치
일본 9813629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1반 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이
샤 나이
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 27 항

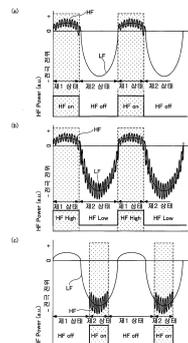
심사관 : 이희봉

(54) 발명의 명칭 제어 방법 및 플라즈마 처리 장치

(57) 요약

본 발명에 따르면, 피처리체를 배치하는 제1 전극을 갖는 플라즈마 처리 장치의 제어 방법으로서, 바이어스 파워를 상기 제1 전극에 공급하는 공정과, 상기 바이어스 파워보다 높은 주파수를 갖는 소스 파워를 플라즈마 처리 공간에 공급하는 공정을 포함하며, 상기 소스 파워는, 제1 상태와 제2 상태를 갖고, 상기 제1 상태와 상기 제2 상태를 상기 바이어스 파워의 급전계에서 측정되는 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나를 나타내는 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가하는 제1 제어 공정을 포함하는 제어 방법이 제공된다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H01J 37/32532 (2013.01)

H01J 2237/3341 (2013.01)

(72) 발명자

하야사카 도루

일본 9813629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1반 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이

구보타 신지

일본 9813629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1반 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이

마루야마 고지

일본 9813629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1반 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이

도칸 다카시

일본 9813629 미야기켄 구로카와군 다이와쵸 테크
노 힐즈 1반 도쿄 엘렉트론 미야기 가부시키키가이샤
나이

명세서

청구범위

청구항 1

기관을 배치하는 제1 전극과,

제1 RF 주파수를 갖는 바이어스 파워를 생성하도록 구성되는 제1 고주파 전원으로서, 상기 제1 RF 주파수의 파형은 주기를 갖고, 제로 교차점에서 제1 반주기와 제2 반주기로 분리되는, 상기 제1 고주파 전원과,

상기 제1 RF 주파수보다 높고, 가변의 RF 주파수를 갖는 소스 파워를 생성하도록 구성된 제2 고주파 전원과,

상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제1 반주기 동안, 제1 HF 주파수에서 상기 소스 파워를 공급하고, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제2 반주기 전체에 있어서 변화하는 제2 HF 주파수에서 상기 소스 파워를 공급하도록 상기 제2 고주파 전원을 제어하도록 구성된 제어부를 갖고,

상기 바이어스 파워 및 상기 소스 파워는, 상기 제1 전극에 공급되고,

상기 제로 교차점은, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 주기 중의 점이고, 상기 제로 교차점의 전위는 0 볼트이고,

상기 제어부는, 상기 제2 반주기의 제1 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 증가시키고, 상기 제2 반주기의 제2 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 감소시키도록 구성되고, 상기 제2 반주기의 상기 제2 부분은, 상기 제2 반주기의 상기 제1 부분보다 시간적으로 늦은, 플라즈마 처리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 파형은, 상기 파형의 상기 주기의 최초의 부분에서 최초의 제로 교차점을 갖고,

상기 파형은, 상기 파형의 상기 주기의 최후의 부분에서 최후의 제로 교차점을 갖는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제1 고주파 전원과 상기 제1 전극 사이 및 상기 제2 고주파 전원과 상기 제1 전극 사이의 전력 공급 경로에 배치된 임피던스 변화 회로를 갖는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 제어부는, 상기 제1 전극에 공급되는 RF 파워의 반사를 감소시키는 상기 임피던스 변화 회로를 어시스트하기 위해 상기 파형의 제1 반주기 중의 제1 HF 주파수로부터 제2 반주기 중의 제2 HF 주파수로 상기 소스 파워를 변화시키도록 상기 제2 고주파 전원을 제어하도록 구성되는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 주파수는, 200 kHz~13.56 MHz의 범위 내인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 가변의 RF 주파수의 최소 주파수는, 적어도 13.56 MHz인, 플라즈마 처리 장치.

청구항 7

제3항에 있어서, 상기 임피던스 변화 회로의 출력 전압을 검출하는 센서를 더 갖는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제1 고주파 전원은, 상기 제2 고주파 전원에 의해 생성되는 상기 소스 파워의

피크 투 피크의 전압보다 높은 레벨의 피크 투 피크의 전압으로 상기 바이어스 파워를 생성하는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 9

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제어부는, 또한 상기 제1 반주기 동안에 상기 제1 HF 주파수를 일정하게 유지하도록 구성되는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 10

플라즈마 처리 장치의 프로세서로서,

상기 프로세서는,

제1 RF 주파수를 갖는 바이어스 파워를 생성하도록 구성되는 제1 고주파 전원을 제어하고, 상기 제1 RF 주파수의 파형은 주기를 갖고, 제로 교차점에서 제1 반주기와 제2 반주기로 분리되고,

상기 제1 RF 주파수보다 높은 주파수인 가변의 RF 주파수를 갖는 소스 파워를 생성하도록 제2 고주파 전원을 제어하고,

상기 바이어스 파워 및 상기 소스 파워는, 기관을 배치하는 제1 전극에 공급되고,

상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제1 반주기 동안, 제1 HF 주파수에서 상기 소스 파워를 공급하고, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제2 반주기 전체에 있어서 변화하는 제2 HF 주파수에서 상기 소스 파워를 공급하도록 상기 제2 고주파 전원을 제어하고,

상기 제로 교차점은, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 주기 중의 점이고, 상기 제로 교차점의 전위는 0 볼트이고,

상기 제2 반주기의 제1 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 증가시키고, 상기 제2 반주기의 제2 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 감소시키고, 상기 제2 반주기의 상기 제2 부분은, 상기 제2 반주기의 상기 제1 부분보다 시간적으로 늦은, 프로세서.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 파형은, 상기 파형의 상기 주기의 최초의 부분에서 최초의 제로 교차점을 갖고,

상기 파형은, 상기 파형의 상기 주기의 최후의 부분에서 최후의 제로 교차점을 갖는, 프로세서.

청구항 12

제10항 또는 제11항에 있어서, 상기 제1 전극에 공급되는 RF 파워의 반사를 감소시키는 임피던스 변화 회로를 어시스트하기 위해 상기 파형의 제1 반주기 중의 제1 HF 주파수로부터 제2 반주기 중의 제2 HF 주파수로 상기 소스 파워를 변화시키도록 상기 제2 고주파 전원을 제어하는, 프로세서.

청구항 13

제10항 또는 제11항에 있어서, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 주파수를, 200 kHz~13.56 MHz의 범위 내로 제어하는, 프로세서.

청구항 14

제10항 또는 제11항에 있어서, 상기 가변의 RF 주파수의 최소 주파수를, 적어도 13.56 MHz로 제어하는, 프로세서.

청구항 15

제10항 또는 제11항에 있어서, 상기 제2 고주파 전원에 의해 생성되는 상기 소스 파워의 피크 투 피크의 전압보다 높은 레벨의 피크 투 피크의 전압으로 상기 바이어스 파워를 생성하도록 상기 제1 고주파 전원을 제어하는, 프로세서.

청구항 16

제10항 또는 제11항에 있어서, 또한 상기 제1 반주기 동안에 상기 제1 HF 주파수를 일정하게 유지하는, 프로세서.

청구항 17

플라즈마 처리 장치의 제어 방법으로서,

제1 고주파 전원을 이용하여 제1 RF 주파수를 갖는 바이어스 파워를 생성하고, 상기 제1 RF 주파수의 파형은 주기를 갖고, 제로 교차점에서 제1 반주기와 제2 반주기로 분리되고,

제2 고주파 전원을 이용하여 상기 제1 RF 주파수보다 높은 주파수인 가변의 RF 주파수를 갖는 소스 파워를 생성하고,

상기 바이어스 파워 및 상기 소스 파워는, 기판을 배치하는 제1 전극에 공급되고,

상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제1 반주기 동안, 제1 HF 주파수에서 상기소스 파워를 공급하고, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제2 반주기 전체에 있어서 변화하는 제2 HF 주파수에서 상기소스 파워를 공급하도록 상기 제2 고주파 전원을 제어하고,

상기 제로 교차점은, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 주기 중의 점이고, 상기 제로 교차점의 전위는 0 볼트이고,

상기 제2 반주기의 제1 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 증가시키고, 상기 제2 반주기의 제2 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 감소시키고, 상기 제2 반주기의 상기 제2 부분은, 상기 제2 반주기의 상기 제1 부분보다 시간적으로 늦은, 제어 방법.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 파형은, 상기 파형의 상기 주기의 최초의 부분에서 최초의 제로 교차점을 갖고,

상기 파형은, 상기 파형의 상기 주기의 최후의 부분에서 최후의 제로 교차점을 갖도록 제어하는 것을 포함하는, 제어 방법.

청구항 19

제17항 또는 제18항에 있어서, 상기 제1 전극에 공급되는 RF 파워의 반사를 감소시키는 임피던스 변화 회로를 어시스트하기 위해 상기 파형의 제1 반주기 중의 제1 HF 주파수로부터 제2 반주기 중의 제2 HF 주파수로 상기 소스 파워를 변화시키도록 상기 제2 고주파 전원을 제어하는 것을 포함하는, 제어 방법.

청구항 20

제17항 또는 제18항에 있어서, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 주파수를, 200 kHz~13.56 MHz의 범위 내로 제어하는 것을 포함하는, 제어 방법.

청구항 21

제17항 또는 제18항에 있어서, 상기 가변의 RF 주파수의 최소 주파수를, 적어도 13.56 MHz로 제어하는 것을 포함하는, 제어 방법.

청구항 22

제17항 또는 제18항에 있어서, 상기 제2 고주파 전원에 의해 생성되는 상기 소스 파워의 피크 투 피크의 전압보다 높은 레벨의 피크 투 피크의 전압으로 상기 바이어스 파워를 생성하도록 상기 제1 고주파 전원을 제어하는 것을 포함하는, 제어 방법.

청구항 23

제17항 또는 제18항에 있어서, 또한 상기 제1 반주기 동안에 상기 제1 HF 주파수를 일정히 유지하는 것을 포함하는, 제어 방법.

청구항 24

플라즈마 처리 장치를 사용하여 소정의 프로세스를 프로세서에 실행시키는 컴퓨터 가독 명령을 내부에 저장한 비일시적 컴퓨터 가독 기록 매체로서,

제1 고주파 전원을 이용하여 제1 RF 주파수를 갖는 바이어스 파워를 생성하고, 상기 제1 RF 주파수의 파형은 주기를 갖고, 제로 교차점에서 제1 반주기와 제2 반주기로 분리되고,

제2 고주파 전원을 이용하여 상기 제1 RF 주파수보다 높은 주파수인 가변의 RF 주파수를 갖는 소스 파워를 생성하고,

상기 바이어스 파워 및 상기 소스 파워는, 기관을 배치하는 제1 전극에 공급되고,

상기 제2 고주파 전원을 이용하여 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제1 반주기 동안, 제1 HF 주파수에서 상기 소스 파워를 공급하고, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제2 반주기 전체에 있어서 변화하는 제2 HF 주파수에서 상기 소스 파워를 공급하고,

상기 제로 교차점은, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 주기 중의 점이고, 상기 제로 교차점의 전위는 0 볼트이고,

상기 제2 반주기의 제1 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 증가시키고, 상기 제2 반주기의 제2 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 감소시키고, 상기 제2 반주기의 상기 제2 부분은, 상기 제2 반주기의 상기 제1 부분보다 시간적으로 늦은, 것을 프로세서에 실행시키는 비일시적 컴퓨터 가독 기록 매체.

청구항 25

제17항 또는 제18항에 기재된 제어 방법을 프로세서에 실행시키는 매체에 저장된 프로그램.

청구항 26

기관을 배치하는 제1 전극과,

플라즈마 처리 공간의 상부 또는 내부에 배치되고, 상기 플라즈마 처리 공간에 있어서 자장을 발생시키는 전자석과,

제1 RF 주파수를 갖는 바이어스 파워를 생성하도록 구성되는 제1 고주파 전원으로서, 상기 제1 RF 주파수의 파형은 주기를 갖고, 제로 교차점에서 제1 반주기와 제2 반주기로 분리되는, 상기 제1 고주파 전원과,

상기 제1 RF 주파수보다 높고, 가변의 RF 주파수를 갖는 소스 파워를 생성하도록 구성된 제2 고주파 전원과,

상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제1 반주기 동안, 제1 HF 주파수에서 상기 소스 파워를 공급하고, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 제2 반주기 전체에 있어서 변화하는 제2 HF 주파수에서 상기 소스 파워를 공급하도록 상기 제2 고주파 전원을 제어하도록 구성된 제어부를 갖고,

상기 바이어스 파워 및 상기 소스 파워는, 상기 제1 전극에 공급되고,

상기 제로 교차점은, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 상기 주기 중의 점이고, 상기 제로 교차점의 전위는 0 볼트이고,

상기 제어부는, 상기 제2 반주기의 제1 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 증가시키고, 상기 제2 반주기의 제2 부분 동안에 상기 제2 HF 주파수를 감소시키도록 구성되고, 상기 제2 반주기의 상기 제2 부분은, 상기 제2 반주기의 상기 제1 부분보다 시간적으로 늦은, 플라즈마 처리 장치.

청구항 27

제26항에 있어서, 상기 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호의 위상, 상기 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 전압, 전류 혹은 전자계의 위상, 상기 제1 RF 주파수의 파형의 위상, 상기 바이어스 파워가 인가되는 상기 제1 전극의 전위, LF Vdc, 또는 상기 소스 파워의 반사파 파워에 따라, 상기 전자석의 제어에 의해, 상기 플라즈마 처리 공간에 있어서의 상기 자장의 특성을 변화시키는, 플라즈마 처리 장치.

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 제어 방법 및 플라즈마 처리 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 에칭 시, 인가하는 이온 인입용의 고주파 전력을 플라즈마 생성용의 고주파 전력의 온·오프에 동기(同期)시킴으로써 이온을 다결정 실리콘층 상에 도달시켜, 다결정 실리콘층의 에칭 레이트를 균일하게 하는 기술이 알려져 있다(예컨대, 특허문헌 1 참조).

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 특허 공개 평성10-64915호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 특허문헌 1에서는 플라즈마 생성용의 고주파 전력인 소스 파워 및 이온 인입용의 고주파 전력인 바이어스 파워의, 상이한 2개의 주파수의 고주파 전력을 처리 용기 내에 인가하여 에칭 레이트를 제어한다.

[0005] 본 개시는 라디칼과 이온의 양과 질을 제어하는 기술을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 개시의 일 양태에 따르면, 피처리체를 배치하는 제1 전극을 갖는 플라즈마 처리 장치의 제어 방법으로서, 바이어스 파워를 상기 제1 전극에 공급하는 공정과, 상기 바이어스 파워보다 높은 주파수를 갖는 소스 파워를 플라즈마 처리 공간에 공급하는 공정을 가지고, 상기 소스 파워는 제1 상태와 제2 상태를 가지고, 상기 제1 상태와 상기 제2 상태를 상기 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호, 또는 상기 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나를 나타내는 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가하는 제1 제어 공정을 포함하는, 제어 방법이 제공된다.

발명의 효과

[0007] 일 양태에 따르면, 라디칼과 이온의 양과 질을 제어할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치의 일례를 나타내는 도면이다.

도 2a는 일 실시형태에 따른 제어부의 구성의 일례를 나타내는 도면이다.

도 2b는 일 실시형태에 따른 급전계에 단 센서의 위상 신호로 제어하는 경우, 또는 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호로 제어하는 경우를 나타내는 도면이다.

도 3은 일 실시형태에 따른 LF의 일주기 내의 위상에 따른 HF의 공급 타이밍의 일례를 나타내는 도면이다.

- 도 4는 일 실시형태에 따른 LF의 일주기 내의 위상에 따른 HF의 공급 타이밍의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 5는 일 실시형태에 따른 LF의 일주기 내의 위상과 플라즈마 밀도(Ne) 및 자기 바이어스(Vdc)의 관계의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 6은 일 실시형태에 따른 반사파 파워의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 7은 일 실시형태에 따른 반사파 파워의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 8은 일 실시형태의 변형예 1에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 9는 일 실시형태의 변형예 2에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 10은 일 실시형태의 변형예 3에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 11은 일 실시형태의 변형예 4에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 12는 일 실시형태에 따른 IMD(상호 변조 왜곡)의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 13a는 일 실시형태의 변형예 5-1에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 13b는 일 실시형태의 변형예 5-2에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 13c는 일 실시형태의 변형예 5-3에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 13d는 일 실시형태의 변형예 5-4에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 14는 일 실시형태의 변형예 6에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 15a는 일 실시형태의 변형예 7-1에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 15b는 일 실시형태의 변형예 7-2에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 15c는 일 실시형태의 변형예 7-3에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 15d는 일 실시형태의 변형예 7-4에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 16은 일 실시형태에 따른 소스 파워의 반사파 파워의 일례를 나타내는 도면이다.
- 도 17은 일 실시형태의 변형예 8에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 타이밍 차트이다.
- 도 18은 일 실시형태의 변형예 9에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 타이밍 차트이다.
- 도 19는 일 실시형태의 변형예 10에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 타이밍 차트이다.
- 도 20은 일 실시형태의 변형예 11에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 타이밍 차트이다.
- 도 21은 일 실시형태의 변형예 12에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- 도 22는 일 실시형태의 변형예 13에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 본 발명을 실시하기 위한 형태에 대해서 도면을 참조하여 설명한다. 또한, 본 명세서 및 도면에 있어서, 실질적으로 동일한 구성에 대해서는, 동일한 부호를 붙임으로써 중복하는 설명을 생략한다.
- [0010] 이하, 소스 파워의 주파수(고주파)를 「HF」(High Frequency)라고도 하고, 소스 파워를 「HF 전력」이라고도 한다. 또한, 소스 파워의 주파수보다 낮은 주파수의 바이어스 파워의 주파수(고주파)를 「LF」(Low Frequency)라고도 하고, 바이어스 파워를 「LF 전력」이라고도 한다.
- [0011] [시작하며]
- [0012] 플라즈마 생성용의 고주파 전력인 소스 파워와 이온 인입용의 고주파 전력인 바이어스 파워의, 상이한 2개 주파수의 고주파 전력을 처리 용기 내에 인가하면, IMD(Intermodulation distortion: 상호 변조 왜곡)가 반사파 파워로서 발생하는 경우가 있다.
- [0013] IMD는, 정합 불량을 발생시킬 뿐만 아니라, 반사 내성 때문에, 또한 플라즈마의 유지를 위해, 본래 필요한 고주파 전력보다 큰 전력을 투입할 수 있는 용량의 고주파 전원이 필요하다. 이 때문에, 종래부터 IMD의 발생을 저

감하기 위해, 고주파 전원의 급전 라인에 사용되는 동축 케이블의 케이블 길이를 최적화하는 것이 행해지고 있다.

- [0014] 그러나, IMD는, HF 전력의 기본파 및/또는 고조파와, LF 전력의 기본파 및/또는 고조파의 합이나 차의 주파수에 생긴다. 이 때문에, 동축 케이블의 케이블 길이를 최적화하는 방법에서는, 특정한 주파수의 고주파 전력의 반사파 파워를 감소시킬 수는 있어도, IMD에 포함되는 HF 전력 및 LF 전력의 기본파 및/또는 고조파의 합이나 차로부터 생기는 다른 주파수의 반사파 파워를 없앨 수는 없다.
- [0015] 또한, LF 전력의 주파수가 낮을수록, HF 전력의 기본파에 가까운 주파수에서 IMD가 발생하기 때문에, 될 수 있는 한 LF 전력의 주파수를 높게 하여, HF 전력의 기본파에 가까운 주파수에 있어서의 IMD의 발생을 억제하는 것이 생각된다. 그러나, 최근, 특히 고에너지비의 에칭 처리에서는, LF 전력의 주파수를 낮게 한 쪽이 프로세스 결과가 좋다. 즉, 고에너지비의 구멍을 깊게 에칭할수록 에칭 레이트가 내려가기 때문에, LF 전력의 주파수를 보다 저주파수로 하고, 또한 파워를 올리는 것이 행해진다. 이에 의해, 고에너지비의 에칭에 있어서 에칭 레이트를 올릴 수 있다. 단, 이 프로세스 조건에서는 IMD가 더욱 증가하기 때문에, 최근의 LF 전력의 고파워 또한 저주파수화에 의해 고주파 전력의 반사파 파워는 높아져 있다. 특히, LF 전력과 HF 전력을 동일 전극에 인가하는 경우에 고주파 전력의 반사파 파워가 증대한다.
- [0016] 예컨대, 도 12는 LF 전력을 인가한 전극에 소정의 주파수의 HF 전력을 인가하였을 때에 발생하는 반사파 파워의 일례를 나타낸다. IMD는 LF의 Vpp(Peak to Peak)의 위상에 동기하여 주기적으로 강도가 변화한다. 예컨대, 도 12의 예에서는, LF의 전위가 정의 최대값 부근에서 IMD는 거의 0 W, 즉 반사가 생기지 않은 상태로 되어 있다. 또한, LF의 전위가 부의 범위에서 IMD는 비교적 낮게 되어 있다. LF의 전위가 정의 최대값을 초과하고나서 부에 걸쳐, 최대의 반사파 파워가 생겨, IMD가 최대로 되어 있다.
- [0017] 그래서, 발명자들은, IMD가 발생하는 타이밍을 고려하여, LF의 위상에 따라 IMD의 발생을 억제하는 제어 방법 및 그 제어 방법을 실행하는 플라즈마 처리 장치를 제안한다. 또한, 발명자들은, LF 및 HF의 상이한 2개의 주파수의 고주파 전력을 제어하여 라디칼과 이온의 양과 질을 제어하는 제어 방법을 제안한다.
- [0018] [플라즈마 처리 장치의 전체 구성]
- [0019] 먼저, 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치(1)의 일례에 대해서, 도 1을 참조하면서 설명한다. 도 1은 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치의 일례를 나타내는 도면이다.
- [0020] 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치(1)는, 용량 결합형의 평행 평판 플라즈마 처리 장치이며, 예컨대 표면이 양극 산화 처리된 알루미늄을 포함하는 원통형의 처리 용기(10)를 가지고 있다. 처리 용기(10)는 접지되어 있다.
- [0021] 처리 용기(10)의 바닥부에는, 세라믹스 등을 포함하는 절연판(12)을 통해 원기둥형의 지지대(14)가 배치되고, 이 지지대(14) 위에 예컨대 알루미늄을 포함하는 배치대(16)가 마련되어 있다. 배치대(16)는 하부 전극을 구성하고, 그 위에 정전 척(18)을 통해 피처리체의 일례인 웨이퍼(W)가 배치된다.
- [0022] 배치대(16)의 상면에는, 웨이퍼(W)를 정전력으로 흡착 유지하는 정전 척(18)이 마련되어 있다. 정전 척(18)은, 도전막을 포함하는 전극(20)을 한 쌍의 절연층 또는 절연 시트로 사이에 끼운 구조를 갖는다. 전극(20)에는 직류 전원(22)이 접속되어 있다. 직류 전원(22)으로부터 출력된 직류 전압은, 전극(20)에 인가된다. 이에 의해 생긴 쿨롱력 등의 정전력에 의해 웨이퍼(W)가 정전 척(18)에 흡착 유지된다.
- [0023] 배치대(16) 상으로서 웨이퍼(W)의 주위에는, 예컨대 실리콘을 포함하는 도전성의 에지 링(24)이 배치되어 있다. 에지 링(24)은 포커스 링이라고도 한다. 배치대(16) 및 지지대(14)의 측면에는, 예컨대 석영을 포함하는 원통형의 내벽 부재(26)가 마련되어 있다.
- [0024] 지지대(14)의 내부에는, 예컨대 환형으로 냉매실(28)이 마련되어 있다. 냉매실(28)에는, 외부에 마련된 칠러 유닛으로부터 배관(30a, 30b)을 통해 소정 온도의 냉매, 예컨대 냉각수가 순환 공급되고, 냉매의 온도에 의해 배치대(16) 상의 웨이퍼(W)의 처리 온도가 제어된다. 또한, 냉매는, 배관(30a, 30b)에 순환 공급되는 온도 조정용의 매체의 일례이며, 온도 조정용의 매체는, 배치대(16) 및 웨이퍼(W)를 냉각할 뿐만 아니라, 가열하는 경우도 있을 수 있다.
- [0025] 또한, 전열 가스 공급 기구로부터의 전열 가스, 예컨대 He 가스가 가스 공급 라인(32)을 통해 정전 척(18)의 상면과 웨이퍼(W)의 이면 사이에 공급된다.

- [0026] 배치대(16)의 상방에는, 배치대(16)와 대향하도록 평행하게 상부 전극(34)이 마련되어 있다. 상부 전극(34)과 하부 전극의 사이는 플라즈마 처리 공간이 된다. 상부 전극(34)은, 배치대(16) 상의 웨이퍼(W)와 대향하여 플라즈마 처리 공간과 접하는 면, 즉 대향면을 형성한다.
- [0027] 상부 전극(34)은, 절연성의 차폐 부재(42)를 통해, 처리 용기(10)의 상부에 지지되어 있다. 상부 전극(34)은, 배치대(16)와의 대향면을 구성하며 또한 다수의 가스 토출 구멍(37)을 갖는 전극판(36)과, 이 전극판(36)을 착탈 가능하게 지지하며, 도전성 재료, 예컨대 표면이 양극 산화 처리된 알루미늄을 포함하는 전극 지지체(38)를 갖는다. 전극판(36)은, 예컨대 실리콘이나 SiC에 의해 형성되어도 좋다. 전극 지지체(38)의 내부에는, 가스 확산실(40)이 마련되고, 이 가스 확산실(40)로부터는 가스 토출 구멍(37)에 연통하는 다수의 가스 통류 구멍(41)이 하방으로 연장되어 있다.
- [0028] 전극 지지체(38)에는 가스 확산실(40)에 처리 가스를 유도하는 가스 도입구(62)가 형성되어 있고, 이 가스 도입구(62)에는 가스 공급관(64)이 접속되고, 가스 공급관(64)에는 처리 가스 공급원(66)이 접속되어 있다. 가스 공급관(64)에는, 상류측으로부터 순서대로 매스 플로우 컨트롤러(MFC)(68) 및 개폐 밸브(70)가 마련되어 있다. 그리고, 처리 가스 공급원(66)으로부터 에칭을 위한 처리 가스가 공급된다. 처리 가스는, 가스 공급관(64)으로부터 가스 확산실(40)에 달하고, 가스 통류 구멍(41)을 통해 가스 토출 구멍(37)으로부터 샤워형으로 플라즈마 처리 공간에 토출된다. 이와 같이 하여 상부 전극(34)은 처리 가스를 공급하기 위한 샤워 헤드로서 기능한다.
- [0029] 상부 전극(34)에는, 가변 직류 전원(50)이 접속되고, 가변 직류 전원(50)으로부터의 직류 전압이 상부 전극(34)에 인가된다. 가변 직류 전원(50)의 극성 및 전류·전압과, 전류나 전압을 온·오프하는 전자 스위치의 제어는, 제어부(200)에 의해 제어된다.
- [0030] 배치대(16)에는, 급전봉(47) 및 정합기(46)를 통해 제1 고주파 전원(48)이 접속되어 있다. 제1 고주파 전원(48)은, 배치대(16)에 LF 전력을 인가한다. 이에 의해, 배치대(16) 상의 웨이퍼(W)에 이온이 인입된다. 제1 고주파 전원(48)은, 200 kHz~13.56 MHz의 범위 내의 주파수의 LF 전력을 출력한다. 정합기(46)는 제1 고주파 전원(48)의 내부 임피던스와 부하 임피던스를 정합시킨다.
- [0031] 배치대(16)에는, 급전봉(89) 및 정합기(88)를 통해 제2 고주파 전원(90)이 접속되어 있다. 제2 고주파 전원(90)은, 배치대(16)에 HF 전력을 인가한다. HF의 주파수는, LF의 주파수보다 높고, 제2 고주파 전원(90)으로부터 13.56 MHz 이상의 주파수의 HF 전력이 출력된다. 예컨대 400 kHz의 LF 전력에 대하여, 주파수가 높은 100 MHz의 HF 전력을 출력하여도 좋다. 정합기(88)는, 제2 고주파 전원(90)의 내부 임피던스와 부하 임피던스를 정합시킨다. 배치대(16)에는, 소정의 고주파를 그라운드로 통하게 하기 위한 필터(94)가 접속되어도 좋다. 또한, 제2 고주파 전원(90)으로부터 공급되는 HF 전력을, 상부 전극(34)에 인가하여도 좋다.
- [0032] 처리 용기(10)의 바닥부에는 배기구(80)가 마련되고, 이 배기구(80)에 배기관(82)을 통해 배기 장치(84)가 접속되어 있다. 배기 장치(84)는, 터보 분자 펌프 등의 진공 펌프를 가지고 있어, 처리 용기(10) 내는 원하는 진공도까지 감압 가능하다. 또한, 처리 용기(10)의 측벽에는 웨이퍼(W)의 반입출구(85)가 마련되어 있고, 이 반입출구(85)는 게이트 밸브(86)에 의해 개폐 가능하다. 또한, 처리 용기(10)의 내벽을 따라 처리 용기(10)에 에칭 부생물(디포지션)이 부착하는 것을 방지하기 위한 디포지션 실드(11)가 착탈 가능하게 마련되어 있다. 즉, 디포지션 실드(11)가 처리 용기의 벽을 구성하고 있다. 또한, 디포지션 실드(11)는, 내벽 부재(26)의 외주에도 마련되어 있다. 처리 용기(10)의 바닥부의 처리 용기의 벽측의 디포지션 실드(11)와 내벽 부재(26)측의 디포지션 실드(11) 사이에는 배기 플레이트(83)가 마련되어 있다. 디포지션 실드(11) 및 배기 플레이트(83)로서는, 알루미늄재에 Y₂O₃ 등의 세라믹스를 피복한 것을 이용할 수 있다.
- [0033] 이러한 구성의 플라즈마 처리 장치(1)로 에칭 처리를 행할 때에는, 먼저, 게이트 밸브(86)를 개방 상태로 하고, 반입출구(85)를 통해 에칭 대상인 웨이퍼(W)를 처리 용기(10) 내에 반입하여, 배치대(16) 상에 배치한다. 그리고, 처리 가스 공급원(66)으로부터 에칭을 위한 처리 가스를 소정의 유량으로 가스 확산실(40)에 공급하여, 가스 통류 구멍(41) 및 가스 토출 구멍(37)을 통해 처리 용기(10) 내에 공급한다. 또한, 배기 장치(84)에 의해 처리 용기(10) 내를 배기하고, 그 안의 압력을 예컨대 0.1~150 Pa의 범위 내의 설정값으로 한다. 여기서, 처리 가스로서는, 종래 이용되고 있는 여러 가지의 것을 채용할 수 있고, 예컨대 C₄F₈ 가스 등의 할로젠 원소를 함유하는 가스를 적합하게 이용할 수 있다. 또한, Ar 가스나 O₂ 가스 등의 다른 가스가 포함되어 있어도 좋다.
- [0034] 이와 같이 처리 용기(10) 내에 에칭 가스를 도입한 상태로, 제2 고주파 전원(90)으로부터 HF 전력을 배치대(16)에 인가한다. 또한, 제1 고주파 전원(48)으로부터 LF 전력을 배치대(16)에 인가한다. 또한, 가변 직류 전원

(50)으로부터 직류 전압을 상부 전극(34)에 인가한다. 또한, 직류 전원(22)으로부터 직류 전압을 전극(20)에 인가하여, 웨이퍼(W)를 배치대(16)에 흡착 유지한다.

- [0035] 상부 전극(34)의 가스 토출 구멍(37)으로부터 토출된 처리 가스는, 주로 HF 전력에 의해 해리 및 전리하여 플라즈마가 생성된다. 플라즈마 중의 라디칼이나 이온에 의해 웨이퍼(W)의 피처리면이 에칭된다. 또한, 배치대(16)에 LF 전력을 인가함으로써, 플라즈마 중의 이온을 제어하여, 고에너지의 홀의 에칭을 가능하게 하는 등, 플라즈마의 제어 마진을 넓게 할 수 있다.
- [0036] 플라즈마 처리 장치(1)에는, 장치 전체의 동작을 제어하는 제어부(200)가 마련되어 있다. 제어부(200)는, ROM(Read Only Memory) 및 RAM(Random Access Memory) 등의 메모리에 저장된 레시피에 따라, 에칭 등의 원하는 플라즈마 처리를 실행한다. 레시피에는, 프로세스 조건에 대한 장치의 제어 정보인 프로세스 시간, 압력(가스의 배기), 고주파 전력이나 전압, 각종 가스 유량, 처리 용기 내 온도[상부 전극 온도, 처리 용기의 측벽 온도, 웨이퍼(W) 온도, 정전 척 온도 등], 칠러로부터 출력되는 냉매의 온도 등이 설정되어 있다. 또한, 이들 프로그램이나 처리 조건을 나타내는 레시피는, 하드 디스크나 반도체 메모리에 기억되어도 좋다. 또한, 레시피는, CD-ROM, DVD 등의 가반성의 컴퓨터에 의해 판독 가능한 기억 매체에 수용된 상태로 소정 위치에 세팅되어, 판독 되도록 하여도 좋다.
- [0037] HF의 전력의 온·오프 또는 High·Low를, 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호, 또는 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나의 일주기 내의 위상에 동기시키도록 제어하여도 좋다. 예컨대, 제어부(200)는, HF의 전력의 온·오프 또는 High·Low를 LF의 전압 또는 전류의 일주기 내의 위상에 동기시키도록 제어하여도 좋다. 이에 의해, 이온과 라디칼의 양과 질을 제어할 수 있다. 또한, IMD의 발생을 저감할 수 있다.
- [0038] 바이어스 파워의 급전계란, 제1 고주파 전원(48)→정합기(46)→급전봉(47)→배치대(16)→(플라즈마)→상부 전극(34)→(그라운드)를 말한다. 바이어스 파워의 급전계에서 측정되는 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나란, 제1 고주파 전원(48)으로부터 정합기(46)의 내부 및 급전봉(47)을 통해 배치대(16)에 이르기까지의 파트와 상부 전극(34)에서 측정되는 전압, 전류 또는 전자계를 말한다.
- [0039] 또한, 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호의 상태, 또는 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나를 「기준 전기 상태」라고도 한다. HF 전력(소스 파워)은, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 후술하는 제1 상태와 제2 상태에 교대로 인가하도록 제어된다.
- [0040] 단, 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나를 「기준 전기 상태」로 하는 경우, 기준 전기 상태는, 배치대(16)로부터 급전봉(47)을 통해 접속되는 정합기의 내부까지 중 어느 하나의 부재에 있어서 측정되는 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나인 것이 바람직하다.
- [0041] 바이어스 파워의 급전계에서 기준 전기 상태를 측정하는 방법으로서, 바이어스 파워의 급전계 중 어느 하나의 파트의 근방에 전압 프로브, 전류 프로브, BZ 프로브(유도 자장을 측정하는 프로브)를 설치함으로써 각 파트의 전압, 전류 또는 유도 자장을 측정하는 방법을 일례로서 들 수 있다.
- [0042] 예컨대, 도 2b의 (a)는 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나를 「기준 전기 상태」로 하는 경우의 일례이다. 예컨대 도 2b의 (a)에서는, 프로세서(100)가 급전계에 부착된 VI 프로브 등의 센서로부터 HF의 전압 또는 전류, LF의 전압 또는 전류, HF의 위상 신호 또는 LF의 위상 신호 중 어느 하나를 입력한다. 프로세서(100)는, 입력한 HF의 전압 또는 전류, LF의 전압 또는 전류, HF의 위상 신호 또는 LF의 위상 신호 중 어느 하나를 나타내는 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 소스 파워를 제1 상태와 제2 상태에 교대로 인가한다.
- [0043] 프로세서(100)는, 센서로부터의 신호에 기초하지 않고 제1 고주파 전원(48)으로부터 출력되는 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호를 생성하여도 좋다. 이 경우, 상기 신호의 상태를 기준 전기 상태로 할 수 있다. 또한, 바이어스 파워의 급전계에서 기준 전기 상태를 측정하는 공정을 생략할 수 있다. 예컨대 도 2b의 (b)에서는, 프로세서(100)가, 제1 고주파 전원(48)으로부터 LF의 위상 신호(소전력 파형) 또는 바이어스 파워의 정보에 관한 신호를 입력하고, 이 입력 신호에 기초하여 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호를 생성한다. 프로세서(100)는, 생성한 신호를 제2 고주파 전원(90)에 출력한다. 제2 고주파 전원(90)은, 이 신호에 기초하여 소스 파워를 제1 상태와 제2 상태에 교대로 인가한다.
- [0044] 또한, 프로세서(100)는, 제1 고주파 전원(48)으로부터의 신호에 기초하지 않고 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호를 생성하여도 좋다. 이 경우, 프로세서(100)는, 예컨대 도 3의 LF로 나타내는 주기를 갖는

신호를 생성하며, 이 신호에 동기하는, 예컨대 도 3의 HF로 나타내는 온·오프 신호를 생성한다. 프로세서(100)는, 생성한 신호를 제1 고주파 전원(48) 및 제2 고주파 전원(90)에 출력한다. 제1 고주파 전원(48)은, 이 신호에 기초하여 바이어스 파워를 출력한다. 제2 고주파 전원(90)은, 이 신호에 기초하여 소스 파워를 제1 상태와 제2 상태에 교대로 인가한다.

[0045] 또한, 배치대(16)는, 웨이퍼(W)를 배치하는 제1 전극의 일레이다. 상부 전극은, 제1 전극과 대향하는 제2 전극의 일레이다. 제1 고주파 전원(48)은, 제1 전극에 LF 전력을 공급하는 바이어스 전원의 일레이다. 제2 고주파 전원(90)은, 제1 전극 또는 제2 전극에 LF 전력보다 높은 주파수의 HF 전력을 공급하는 소스 전원의 일레이다. 제어부(200)는, 바이어스 전원 및 소스 전원을 제어하는 제어부의 일레이다. 바이어스 파워를 인가하는 하부 전극[배치대(16)]의 전위를, 전극 전위라고도 한다.

[0046] [제어부의 구성]

[0047] 제어부(200)의 구체적 구성에 대해서, 도 2a를 참조하여 설명한다. 제어부(200)는, 프로세서(100), 신호 발생 회로(102), 방향성 결합기(105, 108), 반사 검출기(111), 오실로스코프(112)를 갖는다.

[0048] 제1 고주파 전원(48)의 급전 라인에는, 제1 고주파 전원(48)과 정합기(46) 사이에 방향성 결합기(105)가 접속되어 있다. 제2 고주파 전원(90)의 급전 라인에는, 제2 고주파 전원(90)과 정합기(88) 사이에 방향성 결합기(108)가 접속되어 있다.

[0049] 방향성 결합기(105)는, LF의 진행과 파워(Pf)의 일부를 오실로스코프(112)에 부여한다. 또한, 방향성 결합기(108)는, HF의 진행과 파워 및 반사파 파워의 일부를 오실로스코프(112)에 부여한다.

[0050] 일 실시형태에 있어서, 오실로스코프(112)에 표시되는 LF의 주파수는, 예컨대 400 kHz이고, HF의 주파수는, 예컨대 100 MHz이다. 이에 의해, 오실로스코프(112)에서는, LF의 진행과 파워의 파형과, HF의 진행과 파워의 파형 및 HF의 반사파 파워의 파형을 관찰할 수 있다.

[0051] 또한, 방향성 결합기(108)는, HF의 반사파의 일정 비율을 분리하여, 반사 검출기(111)에 부여한다. 반사 검출기(111)는, 예컨대, 스펙트럼 애널라이저, 파워 미터 등으로 구성되고, 어떤 파장의 IMD(Intermodulation distortion: 상호 변조 왜곡)가 어느 정도 발생하였는지나 어느 정도의 반사파 파워인지를 계측한다. IMD는, 플라즈마 처리 장치(1)의 상부 전극 또는 하부 전극에 HF 전력을 인가하고(일 실시형태에서는 하부 전극), 하부 전극에 LF 전력을 인가함으로써 생기는, LF의 기본파 및/또는 고조파와, HF의 기본파 및/또는 고조파의 합이나 차의 주파수에 따라 생기는, 플라즈마층으로부터의 반사파 파워를 말한다.

[0052] 방향성 결합기(105)는, LF의 진행과 파워의 일부를 프로세서(100)에 부여한다. 프로세서(100)는, LF의 진행과 파워에 동기시키는 HF용의 동기 신호를 작성한다. 예컨대, 프로세서(100)는, LF의 진행과 정의 타이밍에 동기시켜 HF용의 동기 신호를 작성하여도 좋다. 또한, 방향성 결합기(105) 대신에, VI 프로브 등의 센서를 이용하여 검출한 LF의 파형을 프로세서(100)에 부여하여도 좋다.

[0053] 프로세서(100)는, 작성한 동기 신호를 신호 발생 회로(102)에 부여한다. 신호 발생 회로(102)는, 부여된 동기 신호로부터 LF의 진행과 파워에 동기하는 제어 신호를 생성하여, 제2 고주파 전원(90) 및 제1 고주파 전원(48)에 부여한다.

[0054] 제어 신호의 생성 방법에는, 이하의 2가지가 있다. 제1 고주파 전원(48)이 일반적인 전원인 경우, 방향성 결합기(105)가 제1 고주파 전원(48)으로부터 출력되는 LF의 전압 또는 전류의 일부를 파형으로서 취출하여, 프로세서(100)에 입력한다. 단, 이에 한정되지 않고, 프로세서(100)가, 제1 고주파 전원(48)으로부터 직접, LF의 전력 등의 일부를 입력하여도 좋다. 프로세서(100)는, 입력한 파형의 신호로부터 임의의 지연과 임의의 폭을 갖는 온 신호를 작성하여, 신호 발생 회로(102)에 송신한다. 온 신호는, 동기 신호의 일레이다.

[0055] 신호 발생 회로(102)는, 온 신호 동안, HF의 전력을 발생시키기 위해 제2 고주파 전원(90)에 지령 신호를 보낸다. 지령 신호에는, 제2 고주파 전원(90)의 입력 형태에 따라, 온 신호 동안, HF의 전력을 발생시키는 제어 신호 또는 온 신호 그 자체가 사용된다.

[0056] 제1 고주파 전원(48)이 LF의 전력, 전압 또는 전류를 증폭하는 증폭기의 경우, 방향성 결합기(105)로부터의 신호는 사용하지 않고, 신호 발생 회로(102)가 제1 고주파 전원(48)으로부터 출력되는 LF의 전력 등의 일부를 파형으로서 취출하고, 그 파형의 신호로부터 임의의 지연과 임의의 폭을 갖는 온 신호를 작성하여도 좋다. 신호 발생 회로(102)는, 상기 파형의 신호 및 온 신호를 제2 고주파 전원(90)에 송신한다.

- [0057] 단, 이상의 제어 신호의 생성 방법은 일레이며, 이에 한정되지 않는다. 부여된 동기 신호로부터 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상(LF의 전압 또는 전류의 일주기 내의 위상, 전극 전위 등)과 동기하여 HF의 전력의 온·오프 또는, High·Low가 교대로 인가되도록 제어하는 제어 신호를 생성할 수 있으면, 도 2a에 나타내는 제어부(200)의 회로에 한정되지 않고, 다른 하드웨어 또는 소프트웨어를 사용할 수 있다.
- [0058] 제1 고주파 전원(48)의 증폭기는, 400 kHz의 LF의 변조 신호의 진폭(AM: amplitude modulation)을 증폭하여, 하부 전극에 공급한다. 제2 고주파 전원(90)의 증폭기는, 100 MHz의 HF의 변조 신호의 진폭을 증폭하여, 하부 전극에 공급한다.
- [0059] 도 3은 LF의 전압 또는 전류의 파형과, LF의 전압 또는 전류가 정의 타이밍에 따라 인가하는 HF의 전압 또는 전류의 일례를 나타내는 도면이다. 밑에서부터 2회째 파형에 나타내는 전극 전위가 정일 때, HF의 전압 또는 전류는 정의 값으로 제어(온)된다. 전극 전위가 부일 때, HF의 전압 또는 전류는 0으로 제어(오프)된다. 기본적으로는, LF의 전압 또는 전류에 따라 전극 전위가 결정되기 때문에, LF의 전압 또는 전류가 부의 타이밍에 HF의 전압 또는 전류는 오프되고, LF의 전압 또는 전류가 정의 타이밍에 HF의 전압 또는 전류는 온된다.
- [0060] 프로세서(100)는, 전극 전위가 정의 타이밍을 포함하는 시간대에 HF의 전력을 제어하는 동기 신호를 작성하여도 좋다. 단, 프로세서(100)는, 이에 한정되지 않고, 전극 전위가 부로 가장 깊어지는 타이밍을 포함하는 단시간에 HF의 전력을 제어하는 동기 신호를 작성하여도 좋다.
- [0061] [HF의 전력의 공급 타이밍]
- [0062] 다음에, 일 실시형태에 있어서의 HF의 전력의 공급 타이밍에 대해서, 도 4를 참조하면서 설명한다. 도 4는 일 실시형태에 따른 HF의 전력의 공급 타이밍의 일례를 나타내는 도면이다.
- [0063] 도 4의 (a)~(c)의 종축은 전극의 전위를 나타낸다. 전극의 전위는 웨이퍼의 전위와 거의 동일하다. 전극의 전위는 LF 및 HF의 전압이 중첩하였을 때의 전위이다. 여기서, LF의 주파수가 400 kHz인 LF 전압의 V_{pp} 는, HF의 주파수가 100 MHz인 HF 전압의 V_{pp} 보다 훨씬 크다. 따라서, 기본적으로는, LF의 전압에 따라 전극 전위가 결정되어, HF의 전압의 V_{pp} 의 폭(진폭)으로 진동한다.
- [0064] 전극 상의 시스에 대해서도, 기본적으로는 LF의 전압에 따라 시스의 두께가 결정된다. LF의 전압이 부일 때의 전극 전위는, 소위 자기 바이어스 전압(V_{dc})에 의해 LF의 전압이 정일 때의 전극 전위보다 부로 깊어진다. 전극 전위가 그라운드 전위에 대하여 정전위에 있을 때에는 플라즈마 전위에 가까워지기 때문에, 고속의 일부의 전자가 전극에 유입 가능해지고, 그라운드 전위에 대하여 부전위에 있을 때에는 이온이 유입된다.
- [0065] 전극은 블로킹 콘텐서(일 실시형태에서는 정합기)에 의해 그라운드로부터 플로우팅하고 있기 때문에, 전극에 유입된 전자는 그라운드에 흐르지 않는다. 따라서, 전극의 표면이 플라즈마에 대하여 정전위에 어떤 주기(반사이클)로 전자가 전극에 유입되어 축적되어 간다. 그러나, 축적된 전자 때문에 전극의 표면은 부에 대전하여 플라즈마에 대하여 부의 바이어스가 발생한다. 그 부의 바이어스에 의해, 이온이 전극의 표면에 유입되게 된다. 이에 의해, 전극의 표면에 시스가 형성된다.
- [0066] 최종적으로는, 전극의 표면은 플라즈마 전위에 접근하고, 그때에 유입되는 전자와, 부의 바이어스에 의해 정상적으로 유입되는 이온이 평형하였을 때의 전극의 전위의 DC 성분이 자기 바이어스 전압(V_{dc})이다.
- [0067] 도 3은 LF의 위상에 대응한 전극 전위, LF의 위상에 대응한 플라즈마 전위, 시스 두께 및 임피던스(Z)를 모식적으로 나타낸다. 플라즈마 전위는, 처리 용기(10) 내의 가장 높은 전위보다 약간 높아진다. 따라서, 플라즈마 전위는, 전극 전위가 정일 때에는 전극 전위보다 약간 높아지고, 전극 전위가 부일 때에는 처리 용기(10)의 벽의 전위를 0으로 하면, 벽면의 전위(0)보다 약간 높아진다.
- [0068] 자기 바이어스 전압(V_{dc})에 의해 LF의 전압이 부일 때에 전극 전위가 부로 깊어지면, 시스의 두께는 전압에 비례하기 때문에, 전극 전위가 부일 때에는 전극에 큰 전압이 걸려, 시스의 두께가 두꺼워진다. 이에 대하여, 전극 전위가 정일 때에는 전극 전위가 부일 때와 비교하여 전극에는 작은 전압이 걸리기 때문에 시스의 두께는 얇아진다.
- [0069] 일 실시형태에서는, 배치대(16)(하부 전극)에 LF 전력과 HF 전력이 인가되기 때문에, 도 4에 나타내는 전극 전위는 하부 전극의 전위가 된다. LF의 위상에 대응하여 배치대(16) 상의 시스의 두께는 거의 플랫폼인 얇은 상태의 타이밍과, 시스가 두꺼운 상태의 타이밍이 있다. 이 때문에, 시스를 콘텐서로 가정하면, 시스가 얇을 때에는 콘텐서의 용량은 커져, 임피던스($Z=1/\omega C$)보다 시스의 임피던스(Z)는 낮아진다. 즉, 전극 전위가 정일 때에는, 시스가 얇기 때문에 임피던스(Z)는 낮고, 또한 거의 일정하다. 한편, 전극 전위가 부일 때에는, 시스가 두

겹기 때문에 임피던스(Z)는 높고, 또한 변화가 커진다. 또한, 임피던스(Z)는, LF의 전압에 따라 거의 결정된다. 이상으로부터, HF 전력의 임피던스 정합은 어려워진다. 특히, 전극 전위가 부일 때, 즉 LF의 전압이 부일 때에는, 임피던스는 높고 또한 변화가 크기 때문에, HF 전력의 임피던스 정합은 어려워진다.

[0070] 이러한 임피던스(Z)의 변동에 대하여, HF 전력에 대한 임피던스 정합을 행하는 정합기(88)는, 모터의 가동에 의해 최대 1 Hz 정도의 주파수까지는 추종할 수 있지만, 그 이상의 주파수가 되면 추종하여 정합을 취하는 것이 곤란해져, LF의 위상에 따라 시시각각 변화하는 임피던스 중 하나의 타이밍에 정합하게 된다. 이 상태에서는, 정합기(88)는, 정합한 하나의 타이밍 이외의 다른 위상에서는 정합되어 있지 않기 때문에, IMD의 반사파 파워는 크다.

[0071] 그래서, 일 실시형태에서는, 도 4의 (a) 및 (b)에 나타내는 바와 같이, 전극 전위가 정일 때에 HF의 전력을 온 또는 High로 제어하고, 전극 전위가 부일 때에 HF의 전력을 오프 또는 Low로 제어한다.

[0072] 일 실시형태에서는, 전극 전위가 정일 때에는, 임피던스(Z)는 거의 일정하기 때문에, 이 타이밍에 HF의 전력을 공급하면 정합을 취하기 쉽다. 이 때문에, 이 타이밍에서는 HF 전력을 온 또는 High로 제어한다. 한편, 전극 전위가 부일 때에는, 임피던스는 높고 또한 변화가 크기 때문에, 이 타이밍에 HF의 전력을 공급하여도 정합을 취하기 어렵다. 이 때문에, 이 타이밍에서는 HF 전력의 공급을 오프 또는 Low로 제어한다. 이에 의해, IMD의 발생을 저감할 수 있다.

[0073] 도 4의 (b)에 나타내는 바와 같이, HF의 전력을 High 또는 Low로 제어하는 경우, 전극 전위가 부인 타이밍에 있어서 HF의 전력을 오프로 하지 않고 Low로 유지하기 때문에, HF의 전력을 온 또는 오프로 제어하는 경우와 비교하여 플라즈마 밀도의 감소를 억제할 수 있다. 또한, 전극 전위가 부인 타이밍에 있어서 인가하는 HF의 전력을, 전극 전위가 정인 타이밍에 있어서 인가하는 HF의 전력보다 작게 함으로써, IMD의 발생을 억제할 수 있다.

[0074] 단, 전극 전위가 정인 타이밍에 일치시켜 HF의 전력을 온 또는 High로 하는 제어 방법은 일례이며, 이에 한정되지 않는다. 기준 전기 상태의 위상 중 적어도 일부가 정일 때에 HF의 전력을 온 또는 High로 제어하여도 좋다. 또한, 기준 전기 상태의 위상 중 적어도 일부가 부인 때에 HF의 전력을 온 또는 High로 제어하여도 좋다. 즉, HF 전력(소스 파워)은 제1 상태와 제1 상태보다 작은 제2 상태를 가지고, 제1 상태의 기간은, 기준 전기 상태의 위상이 피크가 되는 타이밍을 포함하고 있어도 좋다. 이 경우의 피크는, 정의 피크여도 좋고, 부의 피크여도 좋다. 또한, 제1 상태의 기간은, 기준 전기 상태의 위상 중 적어도 일부가 정의 타이밍을 포함하여도 좋다. 또한, 제1 상태의 기간은, 기준 전기 상태의 위상 중 적어도 일부가 부의 타이밍을 포함하여도 좋다. 또한, HF의 전력은, 기준 전기 상태의 위상이 정인 타이밍에 일치시킨 직사각형파뿐만 아니라, 상승의 슬로우 업 또는 하강의 슬로우 다운 중 적어도 어느 하나를 포함하는 대략 직사각형파를 인가하여도 좋다. 또한, HF의 전력은, 기준 전기 상태의 위상이 정인 타이밍으로부터 소정 시간만큼 뒤로 어긋난 타이밍 또는 소정 시간만큼 앞으로 어긋난 타이밍 중 적어도 어느 하나에 인가하여도 좋다.

[0075] HF의 전력을 기준 전기 상태의 위상이 정인 타이밍으로부터 소정 시간만큼 어긋나게 하는 제어 방법의 이용에 의거하여서는 다음의 경우를 들 수 있다. 기준 전기 상태의 위상이 정일 때만 HF의 전력을 인가하면, 이온 에너지가 작아진다. 예칭의 종류에 따라서는, 보다 큰 이온 에너지의 프로세스가 요구되는 경우가 있다. 그 경우에는, LF의 기준 전기 상태가 정으로부터 부가 되고, 원하는 크기의 이온 에너지가 얻어지는 타이밍까지 HF의 전력을 인가한다. 이에 의해, 이온 에너지가 큰 프로세스를 실현시킬 수 있다.

[0076] 또한, 기준 전기 상태의 위상이 정인 타이밍을 기준으로 하여, HF의 전력을 소정 시간만큼 짧게 또는 길게 하도록 HF의 전력을 공급하는 시간폭을 조정하여도 좋다. 예컨대, HF의 전력은, 기준 전기 상태의 위상이 정인 타이밍에 더하여 그 전과 후에 소정 시간을 더하여 공급하여도 좋다.

[0077] 기준 전기 상태의 위상이 부인 타이밍에 HF의 전력을 공급하여도 좋다. 단, 기준 전기 상태의 위상이 부인 타이밍에서는 임피던스가 높고, 또한 시간에 따라 변화한다. 따라서, 이 경우에는 기준 전기 상태의 위상이 부인 타이밍으로서, 보다 짧은 시간폭에 HF의 전력을 온하는 제어가 바람직하다. 예컨대 게이트 기능이나 딜레이 기능을 갖는 회로로 HF의 전력을 인가하는 타이밍이나 폭을 조정하는 것이 바람직하다. 사전에, 기준 전기 상태의 일주기에 있어서의 반사 강도를 계측하고, 계측 결과로부터, LF의 전력의 반사가 적은 타이밍에 HF의 전력을 인가하도록 자동 조정 기능을 갖는 회로를 이용하여 제어하여도 좋다.

[0078] 예컨대, 도 4의 (c)에 나타내는 바와 같이, 전극 전위가 부인 타이밍에, 전극의 자기 바이어스(Vdc)가 부로 가장 커지는 시간을 포함하는 짧은 시간폭에 HF의 전력을 온 또는 High로 하고, 그 이외의 시간대에는 HF의 전력

을 오프 또는 Low로 하여도 좋다. 또한, 반사파 파워를 미리 검출하여 그 크기에 따라, 반사파 파워가 많은 시간대에는 HF의 전력을 오프 또는 Low로 하고, 반사파 파워가 적은 시간대에는 HF의 전력을 온 또는 High로 하여도 좋다. 도 4의 (c)에 나타내는 전극 전위가 부로 가장 커지는 시간을 포함하는 시간폭에 HF의 전력을 단시간 인가함으로써, HARC(High Aspect Ratio Contact) 등의 특정한 에칭에 있어서, 강한 이온의 주입을 실현할 수 있다. 이에 의해, 에칭 속도의 향상이나 에칭 형상의 향상을 실현할 수 있다.

[0079] 이상에 설명한 바와 같이, 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치(1)의 제어 방법에 따르면, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상에 동기하여 HF의 전력의 온·오프 또는 High·Low를 제어한다. 이에 의해, IMD의 발생을 저감할 수 있다. 또한, 이온 에너지를 제어하여, 라디칼과 이온의 양과 질을 제어할 수 있게 된다.

[0080] 또한, 도 3 및 도 4의 (a)~(c)에 일례를 나타내는 바와 같이, HF의 전력을 온 또는 High로 제어하고 있는 상태는, 제1 상태의 일례이며, HF의 전력을 오프 또는 Low로 제어하고 있는 상태는, 제2 상태의 일례이다.

[0081] 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치(1)의 제어 방법에서는, 제1 상태와 제2 상태를 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가하는 제1 제어 공정을 갖는다. 제2 상태는 제1 상태보다 작으면 좋고, 제2 상태의 전력은 0이어도 좋고, 0 이외의 제1 상태보다 작은 값이어도 좋다.

[0082] [효과의 일례]

[0083] 다음에, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상에 동기하여 HF의 전력의 온·오프 또는 High·Low를 제어하는 효과의 일례에 대해서, 도 5~도 7을 참조하여 설명한다. 도 5의 그래프는, 일 실시형태에 따른 LF의 위상과 플라즈마 밀도(Ne)와 자기 바이어스의 절대값(|Vdc|)의 관계의 일례를 나타내는 도면이다. 도 6 및 도 7은 일 실시형태에 따른 반사파 파워의 일례를 나타내는 도면이다.

[0084] 도 5의 그래프는 기준 전기 상태의 일주기에 대하여, HF의 전력을 그 일주기의 약 40%의 시간폭으로, 위상을 바꾸어 주기적으로 인가하여 측정한 실측 결과이고, 그래프의 왼쪽의 종축에 플라즈마 밀도(Ne)(cm⁻³)를 나타내고, 오른쪽의 종축에 자기 바이어스의 절대값(|Vdc|)(V)을 나타낸다. 플라즈마 처리 장치(1)의 하부 전극에 HF의 전력과 LF의 전력을 중첩하여 인가하는 경우, LF의 주기로 하부 전극의 시스가 변동하고, 그 결과, 임피던스(Z)가 변화하여 플라즈마 밀도(Ne) 및 자기 바이어스(Vdc)가 변동한다.

[0085] 전극 전위가 정인 타이밍에 HF의 전력을 온하고, 전극 전위가 부인 타이밍에 HF의 전력을 오프하는 경우(도 5의 왼쪽 위 도면 참조), 도 5의 아래의 그래프의 영역(a)에 나타내는 바와 같이, 플라즈마 밀도(Ne)가 높게 되어 있어, 플라즈마 생성 효율을 높게 할 수 있다. 또한, 영역(a)에서는, 자기 바이어스의 절대값(|Vdc|)이 낮게 되어 있어, IMD의 발생을 효과적으로 억제할 수 있다.

[0086] 또한, 전극 전위가 정인 타이밍에 HF의 전력을 오프하고, 전극 전위가 부로 가장 커질 때를 포함하는 단시간에 HF의 전력을 온하는 경우(도 5의 오른쪽 위 도면 참조), 도 5의 아래의 그래프의 영역(b)에 나타내는 바와 같이, 플라즈마 밀도(Ne)는 중 정도~고 정도가 되고, 플라즈마 생성 효율은 중 정도 이상이 된다. 이것은, 전극 전위가 부일 때에는 전극에 큰 전압이 걸려, 시스의 두께가 두꺼워져, HF의 전력을 온하였을 때의 HF의 전계가 저하하여, 플라즈마의 생성 효율이 저하하기 때문이다.

[0087] 또한, 영역(b)에서는, 자기 바이어스의 절대값(|Vdc|)이 높아져 있어, 이온 에너지의 단색화, 즉 이온 에너지가 갖추어진 이온을 웨이퍼(W)에 인입할 수 있다. 특히 고에너지의 프로세스에 있어서, 단색화된 고에너지의 이온을 웨이퍼(W)에 인입할 수 있다. 이때 IMD의 발생은 높아지지만, 하부 전극의 전위가 부로 가장 커지는 단시간에 HF의 전력을 인가함으로써, 항상 HF의 전력을 인가하는 경우와 비교하여 토달로서 IMD의 발생을 저감할 수 있다.

[0088] 이상, 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치(1)에 의하면, 예컨대 전극 전위가 정인 타이밍을 기준으로 HF의 전력을 온 또는 High로 제어함으로써, IMD의 발생을 저감할 수 있다. 또한, 전극 전위가 부인 타이밍에서는 시스가 두꺼워짐으로써, 플라즈마 생성 효율이 저하하는 것을 과제로 하여, 전극 전위의 정인 타이밍에 HF의 전력을 인가함으로써, 플라즈마 생성 효율을 올릴 수 있다.

[0089] 또한, 전극 전위가 부로서 가장 깊은 타이밍에 단시간만 HF의 전력을 인가함으로써, 단색화된 고에너지의 이온을 웨이퍼(W)에 인입할 수 있다.

[0090] 예컨대, 도 6의 왼쪽의 상하의 그래프 및 도 6의 오른쪽의 (a) 및 (b)의 화면의 파형은, 제어부(200)의 반사 검출기(111)에 의한 검출 결과 및 오실로스코프(112)의 표시 결과의 일례를 나타낸다. 왼쪽의 하측의 그래프는,

LF의 일주기의 V_{pp} 와 V_{dc} 를 나타낸다. V_{dc} 가 부로 깊을수록 시스가 두꺼워져, HF의 전력을 인가하였을 때의 플라즈마 생성 효율이 저하한다. 상측의 그래프는, LF의 일주기의 V_{pp} 와 V_{dc} 에 대한 HF의 진행과 파워(Pf)와 반사파 파워(Pr)를 나타낸다.

[0091] 도 6의 (a)의 오실로스코프(112)의 표시의 일례는, 영역(c)에 나타내는 LF의 위상이 180° 일 때에 측정된 LF의 진행과 파워의 파형(A), 웨이퍼 상의 고주파 전력의 진폭(B)(즉, LF 전력과 HF 전력의 합산값)을 나타낸다. 또한, HF의 진행과 파워의 파형을 C로 나타내고, HF의 반사파 파워의 파형을 D로 나타낸다. 또한, 도 6의 (b)의 오실로스코프(112)의 표시의 일례는, 영역(d)에 나타내는 LF의 위상이 $0^\circ (=360^\circ)$ 일 때에 측정된 LF의 진행과 파워의 파형(A), 웨이퍼 상의 고주파 전력의 진폭(B), HF의 진행과 파워의 파형(C) 및 HF의 반사파 파워의 파형(D)을 나타낸다.

[0092] 이에 따르면, 영역(d)에서는, 영역(c)보다 반사파 파워가 작다. 따라서, LF의 위상이 0° 를 포함하도록 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호, 또는 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여, HF의 전력을 제1 상태(예컨대 온 또는 High 상태)와 제2 상태(예컨대 오프 또는 Low 상태)로 하도록 교대로 인가함으로써, IMD의 발생을 억제할 수 있는 것을 알았다. 예컨대, 전술한 바와 같이, 전극 전위가 정인 타이밍에 맞추어 HF의 전력을 제1 상태로 하고, 전극 전위가 부인 타이밍에 맞추어 HF의 전력을 제2 상태로 함으로써, 자기 바이어스의 절대값($|V_{dc}|$)에 따른 제어를 행하여, IMD를 억제하여, 플라즈마 생성 효율을 높일 수 있다. 또한, 전극 전위에 따라 임의의 타이밍에 HF의 전력을 제1 상태와 제2 상태로 제어함으로써, 플라즈마 밀도(Ne)가 높은 영역과, 자기 바이어스의 절대값($|V_{dc}|$)이 큰 영역을 이용하여 고에너지 이온을 웨이퍼(W)에 인입할 수 있다. 또한, 이 경우, HF의 전력을 펄스형으로 인가함으로써 토달로서 IMD의 발생을 저감할 수 있다.

[0093] 도 7은 LF V_{pp} , LF $|V_{dc}|$, HF의 진행과 파워(Pf), HF의 반사파 파워(Pr)의 일례를 나타낸다. 이에 따르면, HF의 반사파 파워(Pr)는, LF의 전압의 일주기의 위상에 있어서 최대로 약 5배(약 10 W~약 50 W)로 변화한다. 이상으로부터, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 HF의 전력을 제어함으로써, IMD를 1/5 정도로 감소시킬 수 있을 가능성이 있다. 또한, LF V_{pp} , LF $|V_{dc}|$ 에 대해서도, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 HF의 전력을 제어함으로써, 최소값에 대하여 최대로 약 1.6배가 되는 범위에서 변화시킬 수 있는 것을 알았다.

[0094] [변형예]

[0095] 다음에, 일 실시형태의 변형예 1~변형예 4에 따른 제어 방법에 대해서, 도 8~도 11을 참조하여 설명한다. 도 8은 일 실시형태의 변형예 1에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 9는 일 실시형태의 변형예 2에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 10은 일 실시형태의 변형예 3에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다. 도 11은 일 실시형태의 변형예 4에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0096] (변형예 1)

[0097] 상기에 설명한 실시형태에서는, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 HF의 전력을 펄스 변조(도 3의 HF AM 변조 참조)하고자 하면, LF의 주파수와 동일한 주파수로 펄스 변조시키는 HF 전원이 필요해져, 비용이 비싸지는 경우가 있다.

[0098] 그래서, 변형예 1에 따른 플라즈마 처리 장치(1)에서는, 도 8의 (a)에 나타내는 바와 같이, 제1 고주파 전원(48) 및 제2 고주파 전원(90)에 접속되는 급전 라인 또는 하부 전극에, 바이패스 라인을 구성하는 부가 회로(250)가 부착된다. 부가 회로(250)는, 하부 전극에 접속되는 급전봉에 코일(252) 및 가변 콘덴서(251)가 직렬로 접속되고, 가변 콘덴서(251)는, 처리 용기(10)에 접속되어, 접지된다.

[0099] 부가 회로(250)에 의해 플라즈마측의 부하 임피던스에 대한 처리 용기(10)측의 임피던스의 비율을 크게 나타냄으로써, 부가 회로(250)가 없는 경우에 비해서 임피던스가 변화하여도, 부가 회로(250)에 의해, 부가 회로(250) 및 처리 용기(10)측의 임피던스를 합산한 임피던스(Z)가 크게 변화하는 것을 완화할 수 있다. 예컨대, 도 8의 (b)에 나타내는 바와 같이, 부가 회로(250)에 의해, 합산의 임피던스(Z)의 변화를 작게 함으로써, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 HF의 전력을 인가하였을 때에, IMD의 발생을 보다 억제할 수 있다. 또한, 부가 회로(250)를 부착하는 것만으로, IMD를 억제하는 구조를 심플하고 저렴하게 구축할 수 있다. 또한, 부가 회로(250)는, 급전봉의 분기 후의 제2 고주파 전원(90)측에 삽입되면, HF 전력이 LF 전력의 영향을 받기 어려워지기 때문에 바람직하다. 제1 고주파 전원(48)과 제2 고주파 전원(90) 사이에 필터를 마련하면, HF 전력이 LF 전력의 영향을 받기 더욱 어려워져, 합산의 임피던스(Z)의 변동을 작게 할 수 있어, IMD의 발생을 보다 억제할

수 있다. 부가 회로(250)는, 코일, 콘덴서 또는 다이오드 중 적어도 어느 하나의 소자를 포함하여도 좋다.

[0100] (변형예 2)

[0101] 변형예 2에 따른 플라즈마 처리 장치(1)에는, 도 9의 (a)에 나타내는 바와 같이, 제1 고주파 전원(48) 및 제2 고주파 전원(90)에 접속되는 급전 라인 또는 하부 전극에, 임피던스 변화 회로(300)가 부착된다. 임피던스 변화 회로(300)는, 플라즈마측의 부하 임피던스와 임피던스 변화 회로(300)의 임피던스의 합성 임피던스가 일정해 지도록 임피던스를 변화시키도록 기능한다. 또는, 임피던스 변화 회로(300)는, 정합기(88)로부터 본 임피던스의 변화를 억제하도록, LF의 위상에 따라 임피던스를 변화시킨다. 이에 의해, 반사파 파워를 억제하여, IMD의 발생을 저감할 수 있다. 임피던스 변화 회로(300)는, LF의 위상(또는 임피던스), LF의 Vdc 또는 반사파 파워 등에 따라, 임피던스를 기준 전기 상태의 일주기 내에서 변화시키고, 이에 의해 IMD를 억제한다.

[0102] 임피던스 변화 회로(300)의 일례로서는, 콘덴서가 어레이형으로 마련되고, 전자 스위치로 콘덴서의 접속을 전환하는 구성을 들 수 있다. 제어부(200)는, 전자 스위치의 제어를 행하여, 임피던스 변화 회로(300)의 임피던스를 변화시킨다.

[0103] 제어부(200)는, 예컨대 도 9의 (b)에 나타내는 바와 같이, 플라즈마측의 부하 임피던스와 임피던스 변화 회로(300)의 임피던스의 합산의 임피던스(Z)의 변화를 작게 하도록, 임피던스 변화 회로(300)의 콘덴서의 접속을 전환한다. 이에 의해, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 HF의 전력을 인가하였을 때에, 임피던스 정합이 양호해져 IMD의 발생을 더욱 억제할 수 있다.

[0104] 임피던스 변화 회로(300)는, 정합기(88)의 내부에 삽입되어, 정합기(88)와 일체화되어도 좋다. 임피던스 변화 회로(300)는, 급전봉의 분기 후의 제2 고주파 전원(90)측에 삽입되면, HF 전력이 LF 전력의 영향을 받기 어려워지기 때문에 바람직하다. 제1 고주파 전원(48)과 제2 고주파 전원(90) 사이에 필터를 마련하면, HF 전력이 LF 전력의 영향을 받기 더욱 어려워져, 합산의 임피던스(Z)의 변동을 작게 할 수 있어, IMD의 발생을 더욱 억제할 수 있다.

[0105] (변형예 3)

[0106] 변형예 3에서는, 도 10의 (a)에 나타내는 바와 같이, 처리 용기(10)의 상부에 전자석(350)이 마련되어 있다. 전자석(350)의 위치는, 도 10의 (a)의 위치에 한정되지 않고, 처리 용기(10)의 일부이면 좋고, 예컨대 처리 용기(10)의 내부여도 좋다. 제어부(200)는, 기준 전기 상태의 위상(또는 임피던스), LF의 위상, 바이어스 파워가 인가되는 전극 전위, LF Vdc 또는 HF의 반사파 파워 등에 따라 전자석(350)의 강약을 제어함으로써 자장의 특성을 변화시킨다. 예컨대 도 10의 (b)에 나타내는 바와 같이, 시스가 두꺼워지는 LF Vdc가 부일 때에 자장을 강하게 하고, 시스가 얇아지는 LF Vdc가 정일 때에 자장을 약하게 또는 없애어 임피던스(Z)의 변화를 작게 한다. 이에 의해, IMD의 발생을 더욱 억제할 수 있다. 또한, 전자석(350)은, 멀티폴 전자석이나 고정 자석을 이용할 수 있고, 자장을 발생시키는 자장 발생부의 일례이다. 변형예 3에 나타낸 전자석(350)에 의한 제어는, 변형예 1의 부가 회로(250) 또는 변형예 2의 임피던스 변화 회로(300)에 의한 제어와 병용하여도 좋다.

[0107] (변형예 4)

[0108] 시스의 두께가 변하면, 외관상의 정전 용량이 변하여, HF의 공진 주파수가 변화한다. 정합기(88)는, 처리 용기(10) 내의 인덕턴스(예컨대 급전봉 등) 및 컨덕턴스(예컨대 시스 등)의 모든 L 성분과 C 성분을 합산하여, HF의 주파수로 공진하도록 기능하여, 정합을 취한다.

[0109] 따라서, 시스의 두께가 변하면 C 성분이 변하기 때문에, 원래는 정합기(88)가, 시스의 두께의 변화에 따른 C 성분의 변화에 대응하여 재차, 정합을 취하지 않으면 반사파 파워가 커진다. 그러나, 정합기(88)는, 가변 콘덴서를 움직이는 데 1초 정도 걸리기 때문에, 시스의 두께의 변화에 추종할 수 없어, 정확하게 정합을 취할 수 없는 경우가 있다.

[0110] 그래서, 변형예 4에서는, 제어부(200)는, 시스 두께의 변화에 따른 C 성분의 변화분만큼 HF의 주파수를 변화시킨다. 즉, $f(\text{공급 주파수}) \propto 1/\sqrt{LC}$ 의 공급 주파수의 식에 기초하여, 시스의 두께분의 C 성분의 변화에 따라 HF의 주파수(f)를 변화시킨다.

[0111] 예컨대 전극 상의 시스의 용량을 C로 가정하고, 용량(C)이 시스의 두께의 변화에 따라 4배로 변화하면, HF의 주파수를 약 2배 변화시킨다. 이에 의해, 시스의 두께의 변화에 따라 대략 정합이 취해진 상태로 할 수 있다.

[0112] 또한, 용량(C)이 시스의 두께의 변화에 따라 10배로 변화하면, HF의 주파수를 약 3.3배 변화시킨다. 이에

의해, 시스의 두께의 변화에 따라 대략 정합이 취해진 상태로 할 수 있다. 즉, 변형예 4에서는, 도 11의 (a)에 나타내는 바와 같이, LF의 전압의 일주기의 변화에 따른 시스의 두께의 변화에 정합시키도록, HF의 주파수를 상기 공진 주파수의 식에 기초하여 변화시킨다. 이에 의해, 시스의 두께의 변화에 따라 대략 정합이 취해진 상태가 되어, HF의 반사파 파워를 작게 할 수 있어, IMD의 발생을 억제할 수 있다. 또한, 변형예 4에서는, 제2 고주파 전원(90)은, HF의 주파수를 바꾸는 것이 가능한 주파수 가변 전원을 이용한다. 또한, 변형예 4에 나타낸 제어는, 변형예 1의 부가 회로(250), 변형예 2의 임피던스 변화 회로(300) 또는 변형예 3의 전자석(350) 중 적어도 어느 하나와 병용하여도 좋다.

[0113] 또한, 상기 실시형태 및 상기 변형예의 모든 예에 대하여, LF의 위상, 전극 전위, 급전계의 전위, Vdc, 전극의 시스의 두께, 플라즈마의 발광, HF 전력의 반사 강도 등 중 어느 하나의 원신호, 측정 신호에 기초하여, 게이트 기능이나 딜레이 기능을 갖는 회로에 의한 시프트 시간이나 지연폭의 조정을 행하여도 좋다.

[0114] 또한, LF의 전압의 일주기 내의 위상과 동기하여 HF의 전력을 인가하는 타이밍을 제어하는 대신에, 도 11의 (b)에 나타내는 바와 같이, LF의 전압의 피크에 대응하는 펄스형(이하, 「LF 펄스」라고도 함)의 파워를 인가하여, LF 펄스에 따라 HF의 전력을 인가하는 타이밍을 제어하여도 좋다. 즉, 예컨대 400 kHz의 LF에 따른 LF 펄스를 온·오프하여 인가하고, 이에 따라 HF의 전력을 펄스형(HF 펄스)으로 제어하여도 좋다. 기준 전기 상태의 위상의 피크에 대응하는 LF 펄스의 파워를 인가하고, LF 펄스에 따라 HF의 전력을 인가하는 타이밍을 제어하여도 좋다.

[0115] 이상에 설명한 바와 같이, IMD는 LF의 전력에 따라 발생의 강도가 상이하다. 이 때문에, 상기 실시형태 및 상기 각 변형예에 따른 플라즈마 처리 장치(1)의 제어 방법에 따르면, HF의 반사파 파워가 낮은 타이밍을 선택하고, 그 타이밍에 HF의 전력을 인가함으로써, IMD의 발생을 저감할 수 있다. IMD의 발생을 저감함으로써, 프로세스나 플라즈마 처리 장치(1)의 안정성의 향상, 또한 장치 비용의 저감을 도모할 수 있다. 또한, 플라즈마 밀도나 자기 바이어스(Vdc) 등을 제어하는 것이 가능하다.

[0116] 단, HF의 전력을 인가하는 시간이 적어지면, HF의 전력의 절대량이 줄어, 플라즈마 밀도(Ne)가 낮아지는 것이 염려된다. 그래서, 기준 전기 상태가 일주기 내에서 2회 피크가 될 때를 포함하는 2회의 타이밍의 각각에 있어서 LF의 전력 및 HF 전력을 인가하여도 좋다. 그 외에, HF 전력의 인가의 제어 방법을 자유롭게 바꿀 수 있다. 또한, HF 전력의 인가는, 하부 전극에 한정되지 않고, 상부 전극이어도 좋다.

[0117] [제어 방법]

[0118] 이상에 설명한 바와 같이, 일 실시형태에 따른 평행 평판형의 플라즈마 처리 장치(1)의 제어 방법은, 바이어스 파워를, 웨이퍼(W)를 배치하는 하부 전극에 공급하는 공정과, 바이어스 파워보다 높은 주파수를 갖는 소스 파워를 하부 전극 또는 상부 전극에 인가함으로써 플라즈마 처리 공간에 공급하는 공정을 포함한다. 상기 제어 방법에서는, 소스 파워는, 제1 상태와 제2 상태를 가지고, 제1 상태와 제2 상태를 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호, 또는 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나를 나타내는 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가하는 제1 제어 공정을 포함한다.

[0119] 상기 제어 방법은, 평행 평판형의 플라즈마 처리 장치 이외의 플라즈마 처리 장치에 의해서도 실행할 수 있다. 평행 평판형의 플라즈마 처리 장치 이외의 플라즈마 처리 장치의 제어 방법은, 바이어스 파워를 하부 전극에 공급하는 공정과, 바이어스 파워보다 높은 주파수를 갖는 소스 파워를 플라즈마 처리 공간에 공급하는 공정을 포함한다. 상기 제어 방법에 있어서도, 소스 파워는, 제1 상태와 제2 상태를 가지고, 제1 상태와 제2 상태를 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가하는 제1 제어 공정을 포함한다.

[0120] [변형예 5-1~5-4]

[0121] 다음에, 일 실시형태의 변형예 5-1~5-4에 따른 플라즈마 처리 장치(1)의 제어 방법에 대해서 설명한다. 변형예 5-1~5-4에서는, 소스 파워 및/또는 바이어스 파워를 간헐적으로 정지하는 제어를 행한다. 도 13a~도 13d는 일 실시형태의 변형예 5-1~5-4에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.

[0122] 도 13a의 변형예 5-1에서는, 제1 제어 공정에 더하여, 소스 파워를 LF 전압에 의해 일레를 나타내는 기준 전기 상태의 주기와 독립된 주기로 간헐적으로 정지하는 제2 제어 공정을 포함한다. 제1 제어 공정과 제2 제어 공정은 반복해서 실행된다.

[0123] 변형예 5-1에서는, LF 전압은, 제1 제어 공정 및 제2 제어 공정에 있어서 동일한 주기로 인가된다. 한편, 소스 파워는, 제1 제어 공정에 있어서 제1 상태와 제2 상태를 교대로 1회 이상 반복하고, 제2 제어 공정에 있어서 제

1 제어 공정 사이에서 간헐적으로 정지된다.

- [0124] 제1 제어 공정 및 제2 제어 공정에서는, LF의 주파수는, 예컨대 0.1 Hz~100 Hz여도 좋다. 또한, 소스 파워의 Duty비[=제4 상태/(제3 상태+제4 상태)]는, 1%~90%의 범위 내이면 좋다.
- [0125] 제1 제어 공정에 있어서의 기준 전기 상태의 주기와 동기한 소스 파워의 상태는, 제3 상태의 일레이다. 제2 제어 공정에 있어서의 기준 전기 상태의 주기와 독립된 소스 파워의 상태는, 제3 상태와 상이한 제4 상태의 일레이다.
- [0126] 도 13b의 변형예 5-2에 따른 제어 방법은, 변형예 5-1과 동일한 제1 제어 공정에 더하여, 바이어스 파워를 HF의 전압 또는 전류의 주기와는 독립된 주기로 간헐적으로 정지하는 제3 제어 공정을 포함한다. 제3 제어 공정에 있어서의 바이어스 파워의 상태는, 제4 상태의 일레이다.
- [0127] 변형예 5-2에서는, 제1 제어 공정과 제3 제어 공정이 반복해서 실행된다. 변형예 5-2에서는, 제3 제어 공정에 있어서의 소스 파워는, 제1 제어 공정과 동일한 주기로 제1 상태와 제2 상태가 반복된다.
- [0128] 또한, 제1 제어 공정에 있어서 LF의 주파수는, 예컨대 0.1 Hz~100 Hz여도 좋다. 또한, 바이어스 파워의 Duty비[=제4 상태/(제3 상태+제4 상태)]는, 1%~90%의 범위 내이면 좋다.
- [0129] 도 13c의 변형예 5-3에 따른 제어 방법은, 변형예 5-1과 동일한 제1 제어 공정에 더하여, 변형예 5-1의 제2 제어 공정의 소스 파워의 제어와 변형예 5-2의 제3 제어 공정의 바이어스 파워의 제어가 행해진다. 즉, 변형예 5-3에 있어서의 소스 파워 및 바이어스 파워의 양방을 간헐적으로 정지한 상태는, 제4 상태의 일레이다.
- [0130] 바이어스 파워를 간헐적으로 정지하는 주기와 소스 파워를 간헐적으로 정지하는 주기는 동기시켜도 좋다. 이 경우, 소스 파워 및 바이어스 파워를 간헐적으로 정지하는 주기는, 도 13c에 나타내는 바와 같이 일치하여도 좋고, 도 13d에 나타내는 바와 같이, 소스 파워가 바이어스 파워보다 뒤로 어긋나 있어도 좋고, 소스 파워가 바이어스 파워보다 앞으로 어긋나 있어도 좋다. 소스 파워의 정지 시간이 바이어스 파워의 정지 시간보다 길어도 좋고, 짧아도 좋다.
- [0131] [변형예 5-1~5-4에 따른 제어 방법의 효과]
- [0132] 이상에 설명한 바와 같이, 변형예 5-1~변형예 5-4에 따른 제어 방법에서는, 라디칼과 이온의 질과 양을 제어할 수 있다. 구체적으로는, HF를 오프하면 플라스마 중의 이온은 거의 소멸되지만, 라디칼은 수명이 길기 때문에, 어느 정도의 시간 소멸되지 않고 존재한다. 따라서, 예컨대 HF를 오프하는 동안, 라디칼을 균일하게 확산시킬 수 있다. 또한, HF를 오프 또는 Low로 제어하는 동안, 플라스마 중의 이온과 라디칼의 비를 바꿀 수 있다. 이에 의해, 라디칼과 이온의 양을 제어할 수 있다.
- [0133] 또한, 가스의 해리가 진행되면 해리의 진행에 따른 라디칼이 생성된다. 예컨대, C₄F₈ 가스는, C₄F₈→C₄F₇^{*}→...→CF₂로 해리가 진행되고, 해리의 정도에 따라 상이한 라디칼(C₄F₇^{*} 등)이 생성된다. 해리를 진행시키는 파라미터로서는, 이온 에너지나 반응 시간이 있다. 따라서, 바이어스 파워나 소스 파워의 인가 타이밍이나 인가 시간을 제어함으로써 이온 에너지 및/또는 반응 시간을 제어하여, 프로세스에 알맞은 라디칼의 생성을 촉진함으로써 라디칼과 이온의 질을 제어할 수 있다.
- [0134] 또한, 바이어스 파워가 오프인 동안, 이온 에너지가 감소하기 때문에 에칭이 진행되지 않아, 홀 등의 바닥부에 퇴적한 부생성물을 홀 밖으로 제거하여, 마스크 상에 퇴적시킬 수 있다. 또한, 바이어스 파워가 오프인 동안, 웨이퍼(W) 상의 패턴 표면에 라디칼을 부착시킬 수 있다. 이에 의해, 마스크 상에 부착된 라디칼이 마스크를 보호하여, 마스크 선택비를 향상시킬 수 있다. 이에 의해, 에칭을 촉진하여, 에칭 레이트를 높이며, 에칭 형상을 양호하게 할 수 있다.
- [0135] 이상에서는, 소스 파워를 간헐적으로 정지할 때의 효과의 일례를 설명하였지만, 이에 한정되지 않는다. 예컨대, 바이어스 파워에 의해서도 플라스마를 생성할 수 있는 경우가 있어, 바이어스 파워를 간헐적으로 정지할 때에도 동일한 효과가 얻어지는 경우가 있다. 즉, 바이어스 파워를 간헐적으로 정지함으로써, 라디칼과 이온의 질과 양을 제어할 수 있다. 이에 의해, 에칭 레이트를 높이며 에칭형상을 양호하게 할 수 있다.
- [0136] 또한, 도 13a~도 13d에서는, 제3 상태에 있어서, LF Vdc가 부로 깊은 타이밍에, 소스 파워를 온하고 있지만, 이에 한정되지 않고, LF Vdc가 정인 타이밍이나 그 외의 타이밍에, 소스 파워를 온하여도 좋다. 또한, 소스 파워를 주기적으로 온·오프하는 대신에, 주기적으로 High·Low로 제어하여도 좋다.

- [0137] [변형예 6]
- [0138] 다음에, 일 실시형태의 변형예 6에 따른 제어 방법에 대해서, 도 14를 참조하여 설명한다. 도 14는 일 실시형태의 변형예 6에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- [0139] 예컨대, 변형예 6에 따른 제어 방법에서는, 도 14에 나타내는 바와 같이 LF 펄스가 배치대(16)에 인가된다. LF 펄스의 정의 값은, LF 전압의 정의 피크에 일치하고, LF 펄스의 부의 값은, LF 전압의 부의 피크에 일치한다.
- [0140] 이 경우, 변형예 6에 따른 제어 방법에서는, HF의 제1 상태와 제2 상태를 LF 펄스의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가한다. 이에 의해서도, 라디칼과 이온의 양과 질을 제어할 수 있다.
- [0141] 구체적으로는, LF 펄스가 정인 동안의 일부 또는 전부에 있어서 소스 파워를 오프 또는 Low로 제어하고, LF 펄스가 부인 동안의 일부 또는 전부에 있어서 소스 파워를 온 또는 High로 제어하여도 좋다. 이에 따르면, LF 펄스가 2치화되어 있고, 이에 따라 소스 파워를 2치화하여 제어하기 때문에, 제어가 용이해진다. 또한, 도 14는 도 13a의 LF 전압을 펄스화한 LF 펄스에 대응하여 도 13a에 나타내는 HF의 상태를 제어하였지만, 이에 한정되지 않는다. 예컨대, 도 13b~도 13d의 LF 전압을 펄스화한 LF 펄스에 대응하여 도 13b~도 13d에 나타내는 HF의 상태를 제어하여도 좋다.
- [0142] [변형예 7-1~변형예 7-4]
- [0143] 다음에, 일 실시형태의 변형예 7-1~변형예 7-4에 따른 제어 방법에 대해서, 도 15a~도 15d를 참조하여 설명한다. 도 15a는 일 실시형태의 변형예 7-1에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다. 도 15b는 일 실시형태의 변형예 7-2에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다. 도 15c는 일 실시형태의 변형예 7-3에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다. 도 15d는 일 실시형태의 변형예 7-4에 따른 제어 방법을 나타내는 타이밍 차트이다.
- [0144] 도 15a 및 도 15b에 나타내는 변형예 7-1, 변형예 7-2에 따른 제어 방법에서는, 제1 제어 공정에 있어서, 소스 파워의 제1 상태와 제2 상태를 LF 전압이나 전극 전위를 일례로 하는 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가한다. 변형예 7-1에서는, 전극 전위의 부의 타이밍에 동기하여, 소스 파워의 제1 상태가 단계적으로 2개 이상의 상태를 갖는다. 또한, 변형예 7-2에서는, 전극 전위의 부의 타이밍에 동기하여, 소스 파워의 제1 상태가 매끄럽게 2개 이상의 상태를 갖는다. 단, 소스 파워의 제1 상태는, 전극 전위의 정의 타이밍에 동기하여도 좋다.
- [0145] 도 15c 및 도 15d에 나타내는 변형예 7-3, 변형예 7-4에 따른 제어 방법에서는, 제1 제어 공정에 더하여 제2 제어 공정을 가지고, 제1 제어 공정에 있어서 소스 파워의 제1 상태와 제2 상태를 LF 전압을 일례로 하는 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가한다. 변형예 7-3에서는, 전극 전위의 정의 타이밍에 동기하여, 소스 파워의 제1 상태가 단계적으로 2개 이상의 상태를 갖는다. 또한, 변형예 7-4에서는, 전극 전위의 정의 타이밍에 동기하여, 소스 파워의 제1 상태가 매끄럽게 2개 이상의 상태를 갖는다. 단, 소스 파워의 제1 상태는, 전극 전위의 부의 타이밍에 동기하여도 좋다.
- [0146] 변형예 7-1~변형예 7-4에서는, 제1 상태에 있어서의 소스 파워를 복수의 값으로 제어함으로써, 보다 정밀도 좋게 라디칼과 이온의 양과 질을 제어할 수 있다. 또한, 도 15c 및 도 15d에 나타내는 제1 제어 공정에 더하여 도 15c 및 도 15d의 제2 제어 공정 대신에 도 13b에 나타내는 제3 제어 공정을 가져도 좋고, 도 13c 및 도 13d에 나타내는 제2 및 제3 제어 공정을 가져도 좋다.
- [0147] 일 실시형태의 변형예 3에 따른 제어 방법에서는, 기준 전기 상태의 위상(또는 임피던스), LF의 위상, 바이어스 파워가 인가되는 전극 전위, LF Vdc 또는 HF의 반사파 파워 등에 따라 전자석(350)의 강약을 제어한다. 이에 의해, 정합기(46, 88)에서 본 임피던스의 변화를 작게 함으로써, IMD의 발생을 억제할 수 있다. 또한, 일 실시형태의 변형예 4에 따른 제어 방법에서는, 시스 두께의 변화에 따른 C 성분의 변화분만큼 HF의 주파수를 변화시킨다. 즉, $f(\text{공급 주파수}) \propto 1/\sqrt{LC}$ 의 공급 주파수의 식에 기초하여, 시스의 두께분의 C 성분의 변화에 따라 HF의 주파수(f)를 변화시킨다. 이에 의해, 시스의 두께의 변화에 따라 대략 정합이 취해진 상태가 되어, HF의 반사파 파워를 작게 할 수 있고, IMD의 발생을 억제할 수 있다. 또한, 변형예 4에서는, 제2 고주파 전원(90)은, HF의 주파수를 바꾸는 것이 가능한 주파수 가변 전원을 이용한다.
- [0148] 주파수 가변 전원은, 부하 임피던스가 일정한 경우에는, 연속적으로 주파수를 바꾸어, 소스 파워의 반사파 파워가 극력 작아지도록 제어하고 있다. 그런데, LF의 전압 또는 전류의 일주기 내의 위상에 동기시켜 소스 파워를 제어하는 경우에 있어서, LF의 전압 또는 전류의 일주기 내에서 HF의 부하는 주기적으로 크게 변동한다. 따라

서, 제2 고주파 전원(90)은, 일주기 내의 LF의 위상에 따라 주기적으로 크게 변동하는 시스 두께, 보다 바람직하게는 시스 두께에 따른 임피던스에 대응하여 주파수를 변화시킬 필요가 있다.

[0149] 예컨대, 도 16은 일 실시형태에 따른 HF의 반사파 파워(HF-Pr)의 일례를 나타내는 도면이다. HF의 반사파 파워는, 가스종이나 LF의 위상으로 변한다. 예컨대, 도 16의 (a)는, 처리 용기(10) 내에 아르곤 가스를 공급하여, 500 W의 HF의 진행파 파워(HF-Pf)를 인가하고(A 참조), 1000 W의 LF 파워를 인가한 경우의 HF의 반사파 파워(B 참조)의 일례를 나타낸다. 도 16의 (b)는 처리 용기(10) 내에 SF₆ 가스를 공급하여, 500 W의 HF의 진행파 파워를 인가하고(A 참조), 1000 W의 LF 파워를 인가한 경우의 HF의 반사파 파워(B 참조)의 일례를 나타낸다. 또한, C는 배치대(16) 상에 탑재된 웨이퍼의 전위를 나타낸다. 웨이퍼의 전위는, LF의 주파수가 예컨대 400 kHz일 때의 LF 전압의 V_{pp}와 거의 같고, HF의 주파수가 예컨대 100 MHz일 때의 HF의 전압의 V_{pp}의 폭(진폭)이 가산되어, 양방의 전위로 진동한다.

[0150] 도 16의 (a) 및 (b)의 B를 보면, 아르곤 가스를 공급한 경우와, SF₆ 가스를 공급한 경우에서, LF의 일주기 내의 위상에 대한 HF의 반사파 파워의 출력 방식이 상이한 것을 알 수 있다.

[0151] HF의 반사파 파워의 출력 방식의 차이에 따라 제2 고주파 전원(90)으로부터 출력하는 HF의 주파수를, 리얼 타임으로 최적의 주파수로 바꾸는 것은, 제2 고주파 전원(90)이 최적의 주파수를 결정하기 위해서는 시간이 걸리기 때문에, 현실적이지 않다. 예컨대, 통상의 주파수 가변 전원은, 주파수를 어긋나게 하여 반사파 파워를 측정하는 작업을, 최고로 1 kHz~10 kHz에서 행할 수 있다. 한편, 예컨대 400 kHz의 LF에 대하여, 일주기를 10분할하면 4 MHz가 되고, 또한 분할 내에서 10회 파장을 시프트시키기 위해서는, 40 MHz로 파장을 바꾸고, 이것에 동기하여 리얼 타임으로 HF의 반사량 및 주파수의 변화 방향을 결정할 필요가 있다. 이 작업은, 통상의 주파수 가변 전원의 동작 주파수로는 제시간에 맞지 않아, 현실적이지 않다.

[0152] 그래서, 일 실시형태의 변형예 8~변형예 11에 따른 제어 방법에서는, 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상(본 변형예에서는 LF의 위상)과 동기하여 HF의 반사파 파워를 제어할 때에, LF의 일주기를 분할한 각 위상에 있어서 HF의 반사가 적은 주파수를 구하여, HF의 반사파 파워를 최소한으로 억제한다. 변형예 8~변형예 11에 있어서 LF의 각 위상은, LF의 일주기를 최저라도 10분할하였을 때의 각 위상을 나타낸다. 단, LF의 일주기의 분할수는, 이에 한정되지 않고, 10분할~100분할 중 어느 것이어도 좋다. LF의 일주기의 위상의 분할수가 많은 쪽이 제어의 정밀도가 높아져, HF의 반사파 파워를 보다 적게 할 수 있다. 변형예 8~변형예 11의 제어는, 프로세서(100)에 의해 실행된다.

[0153] [변형예 8]

[0154] 먼저, 도 17을 참조하여, 일 실시형태의 변형예 8에 따른 제어 방법에 대해서 설명한다. 도 17은 일 실시형태의 변형예 8에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 타이밍 차트이다. 일 실시형태의 변형예 8에 따른 제어 방법에서는, LF의 일주기 내를 복수로 분할한 각 위상에 동기하여 HF의 주파수를 바꾼다. 그리고, 그때의 HF의 반사파 파워를 모니터하고, 모니터 결과로부터 각각의 위상에 있어서 HF의 반사파 파워가 적어지도록 제2 고주파 전원(90)의 HF의 주파수가 제어된다. 그리고, 이 제2 고주파 전원(90)으로부터 출력하는 HF의 새로운 주파수를 발견하는 시퀀스를, 프로세스 전, 프로세스 도중 등에 소정 시간마다 실시하고, 그 결과에 기초하여 제2 고주파 전원(90)이 제어하는 HF의 주파수를 결정한다.

[0155] 도 17의 횡축은 시간을 나타내고, 종축의 왼쪽은 HF의 진행파 파워(HF-Pf) 및 반사파 파워(HF-Pr)를 나타내고, 종축의 오른쪽은 웨이퍼 전위를 나타낸다.

[0156] 도 17의 1회째의 주기에서는, LF의 최초의 일주기 내(C의 1주기째)에 있어서 제2 고주파 전원(90)이 제어하는 주파수를 초기 주파수로 설정하였을 때의 HF의 반사파 파워(B 참조)를 나타낸다. 초기 주파수는 임의의 값이며, 예컨대 하나의 기본 주파수(예컨대, 40 MHz)로 설정되어 있다.

[0157] 도 17의 2회째의 주기에서는, LF의 2번째의 일주기 내(C의 2주기째)에 있어서 제2 고주파 전원(90)이 제어하는 주파수를 초기 주파수로부터 다른 주파수로 바꾼다. 단, 2회째에서는, LF의 일주기의 위상 중 분할수에 따른 위상마다 주파수를 올렸다 내렸다 하지 않고, 주파수를 증가시키거나 또는 감소시키는 것 중 어느 쪽인가로 설정하여, 반사량의 위상 의존 결과를 취득한다. 도 17의 2회째의 예에서는, 주파수(2회째 주파수)를 올린 예를 나타내고 있지만, 내려도 좋다.

[0158] 이 결과, 도 17의 실선(B)으로 나타내는 HF의 2회째 반사파 파워는, 파선(B)으로 나타내는 HF의 1회째 반사파 파워보다, 위상에 의해 반사가 감소한 곳과 증가한 곳이 있는 것을 알 수 있다. 도 17에서는, LF가 정의 위상

인 경우에 HF의 반사파 파워가 감소하고, LF가 부의 위상인 경우에 HF의 반사파 파워가 증가한 시간대가 있다. 단, 이때의 반사파 파워는 일례를 나타내는 것에 지나지 않아, 이에 한정되지 않는다.

- [0159] 도 17의 3회째의 주기에서는, LF의 3번째의 일주기 내에 있어서 제2 고주파 전원(90)이 제어하는 주파수의 시프트 방향 및 시프트량을, 전회의 위상마다의 HF의 반사파 파워의 증감에 기초하여 결정한다. 도 17에 나타내는 3회째 주파수는, 결정한 시프트 방향 및 시프트량의 일례이다. 또한, 이때의 반사파 파워는 일례를 나타내는 것에 지나지 않아, 이에 한정되지 않는다.
- [0160] 제2 고주파 전원(90)이 한번에 제어하는 주파수의 시프트량 및 최초의 시프트 방향(3회째 주파수의 화살표의 방향)은 과거의 데이터에 기초하여 결정하여도 좋다. 과거의 데이터에 기초하여 제어하는 주파수의 시프트량, 최초의 시프트 방향을 미리 레시피로 설정하고, 레시피에 기초하여 제어하여도 좋다. 과거의 데이터는, 전회의 HF의 반사파 파워여도 좋고, 전전회의 HF의 반사파 파워여도 좋고, 전회 및 그 이전의 HF의 반사파 파워여도 좋다. 예컨대, 전회의 반사파 파워의 상태에 기초하여, LF의 일주기를 분할한 위상마다 각 위상에 있어서의 HF의 반사파 파워가 감소하도록, 다음의 LF의 일주기를 분할한 위상마다의 주파수의 시프트 방향 및 시프트량을 결정하여도 좋다. 전회의 반사파 파워의 상태에 더하여, 또는 전회의 반사파 파워의 상태 대신에 전회보다 전의 과거의 반사파 파워의 상태에 기초하여 시프트 방향 및 시프트량을 결정하여도 좋다.
- [0161] 3회째의 제2 고주파 전원(90)이 제어하는 주파수는 반사가 감소하는 방향으로 시프트시키지만, 그때의 제어 타이밍에서는, 예컨대 LF의 일주기를 10분할하는 경우, LF의 일주기를 10분할한 시간 간격으로 주파수를 바꾼다.
- [0162] 4회째 이후, 제2 고주파 전원(90)은, 3회째의 데이터 또는 그 이전에 사전에 얻어진 데이터에 기초하여, 알맞은 주파수로 HF를 발진시켜 간다. 제2 고주파 전원(90)이 제어하는 주파수는, 허용 주파수의 범위에서, 소정 지정 횟수 또는 HF의 반사파 파워가 소정 지정량이 될 때까지 반복함으로써, LF의 일주기의 각 위상에 있어서 HF의 반사파 파워가 작은 주파수를 집광할 수 있다.
- [0163] 일 실시형태의 변형예 8에 따른 제어 방법에서는, 이상에 설명한 시퀀스를 지정의 타이밍에 행한다. 이에 의해, LF의 위상이나 가스종에 따라 변화하는 HF의 반사파 파워를 극력 작게 할 수 있다. 또한, 지정의 타이밍의 일례로서는, LF의 일주기를 $n(n \geq 10)$ 분할하였을 때의 시간 간격의 싱크로나이즈 펄스 주기, 레시피 내에서 지정된 시간, 소정 시간 간격 등을 들 수 있다.
- [0164] [변형예 9]
- [0165] 다음에, 도 18을 참조하여, 일 실시형태의 변형예 9에 따른 제어 방법에 대해서 설명한다. 도 18은 일 실시형태의 변형예 9에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 타이밍 차트이다. 일 실시형태의 변형예 9에 따른 제어 방법에서는, 변형예 8과 마찬가지로, 제2 고주파 전원(90)이 LF의 일주기 내의 각 위상에 동기하여 HF의 주파수를 제어하는 것에 더하여, 제2 고주파 전원(90)이 출력하는 소스 파워의 값도 제어한다.
- [0166] 예컨대, 도 18에 나타내는 바와 같이, B로 나타내는 HF의 반사파 파워가 작은 B1 부근의 시간대에는, 제2 고주파 전원(90)은, HF의 주파수를 제어하고(도 17 참조), 또한 D로 나타내는 HF 파워(소스 파워)의 출력을 D1로 나타내는 바와 같이 크게 한다. 반대로, HF의 반사파 파워가 큰 B2의 시간대에는, 제2 고주파 전원(90)은, HF의 주파수를 바꾸고, 또한 소스 파워의 출력을 D2로 나타내는 바와 같이 작게 한다.
- [0167] 일 실시형태의 변형예 9에 따른 제어 방법에서는, LF의 위상이나 가스종에 따라 변화하는 HF의 반사파 파워를 극력 작게 할 수 있고, 또한, HF의 반사파 파워가 작을 때에는 소스 파워를 올림으로써, 플라즈마 밀도의 감소를 억제할 수 있다. 또, LF가 정의 위상이면, 제1 소스 파워~제2 소스 파워의 범위에서 소스 파워를 제어하고, LF가 부의 위상이면, 제3 소스 파워~제4 소스 파워의 범위에서 소스 파워를 제어하도록 하여도 좋다. 제1 소스 파워~제2 소스 파워의 범위와 제3 소스 파워~제4 소스 파워의 범위는 상이한 범위여도 좋고, 동일한 범위여도 좋고, 한쪽의 범위가 다른쪽의 범위에 포함되어도 좋고, 일부에 있어서 중복하여도 좋다.
- [0168] [변형예 10]
- [0169] 다음에, 도 19를 참조하여, 일 실시형태의 변형예 10에 따른 제어 방법에 대해서 설명한다. 도 19는 일 실시형태의 변형예 10에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 타이밍 차트이다.
- [0170] 도 19의 횡축에는, LF의 일주기와 RF 펄스의 일주기의 일례가 나타나 있다. RF 펄스의 일주기는 0.1~100 kHz여도 좋고, 이보다 길어도 좋고, 짧아도 좋지만, LF의 일주기보다 긴 시간대로 설정된다. 일 실시형태의 변형예 10에 따른 제어 방법에서는, 제2 고주파 전원(90)은, 예컨대 주파수가 RF 펄스의 일주기의 위상을 복수로 분할한 각 위상에 따라 HF의 주파수를 제어하여도 좋다. RF 펄스의 일주기의 위상을 복수로 분할한 각 위상에 따라

HF의 주파수와 소스 파워를 제어하여도 좋다.

- [0171] 특히, RF 펄스의 온 및 오프의 직후는, 플라즈마 밀도(Ne)의 변화 및 전극 전위의 변화가 커서, HF의 반사파 파워가 RF 펄스의 정상 시와는 상이한 변화가 되기 쉽다. 그래서, 도 19에 나타내는 바와 같이, 일주기마다의 RF 펄스를 온한 시각(V)의 직후는 LF의 상승에 시간이 걸리고, 시스 두께는 얇다(즉, 시스의 용량 대). 이 때문에, RF 펄스를 온한 시각(V)의 직후, 제2 고주파 전원(90)은, HF의 주파수를 높게 제어한다(E 참조).
- [0172] 또한, 도 19에서는, RF 펄스의 후반의 시간에 바이어스 파워가 오프하고 있다(C1 참조). 이 동안, HF의 반사파 파워는, B3으로 나타내는 바와 같이 0에 가깝게 일정하다. 즉, 바이어스 파워가 오프하고, 소스 파워가 온하고 있는 타이밍에는, 바이어스 파워가 오프하고 있기 때문에, 시스의 임피던스는 항상 일정하다. 이 때문에, HF의 반사파 파워는 일정해진다. 따라서, 바이어스 파워가 오프하고 있는 동안, HF의 반사파 파워가 최소한이 되도록 주파수가 결정되고, 제2 고주파 전원(90)은, 결정된 주파수의 소스 파워를 출력한다.
- [0173] 바이어스 파워가 오프하고 있는 동안, 소스 파워는 오프로 제어하여도 좋고, 온으로 제어하여도 좋다. 예컨대, 도 19의 C1에 나타내는 바와 같이, 바이어스 파워가 오프하고 있는 동안, 전반은 HF의 주파수를 E1의 주파수로 설정하고, 또한 소스 파워를 High(또는 온)로 제어하고, 후반은 HF의 주파수를 E2의 주파수로 바꾸고, 또한 소스 파워를 Low(또는 오프)로 제어하여도 좋다. 또한, 소스 파워 및 바이어스 파워를 간헐적으로 정지하는 주기는, 일치하여도 좋고, 소스 파워가 바이어스 파워보다 뒤로 어긋나 있어도 좋고, 소스 파워가 바이어스 파워보다 앞으로 어긋나 있어도 좋다. 소스 파워의 정지 시간은, 바이어스 파워의 정지 시간보다 길어도 좋고, 짧아도 좋다.
- [0174] 또한, 변형예 8~변형예 10에 따른 제어 방법은, 도 2a의 프로세서(100)에 의해 실행되고, 신호 발생 회로(102)를 통해 HF의 주파수 및 HF의 파워를 제어하는 제어 신호가 제2 고주파 전원(90)에 보내진다. 제2 고주파 전원(90)은, 제어 신호에 따라, 출력하는 HF의 주파수나 파워를 바꾼다.
- [0175] [변형예 11]
- [0176] 다음에, 도 20을 참조하여, 일 실시형태의 변형예 11에 따른 제어 방법에 대해서 설명한다. 도 20은 일 실시형태의 변형예 11에 따른 제어 방법을 설명하기 위한 타이밍 차트이다.
- [0177] 변형예 10에 있어서 설명한 바와 같이, RF 펄스를 온한 직후는 LF의 상승에 시간이 걸리고, 시스 두께는 얇다(즉, 시스의 용량 대). 이 때문에, RF 펄스의 상승에서는, 플라즈마 밀도(Ne)가 크게 변화하여, 임피던스의 변동이 크다.
- [0178] 그래서, 변형예 11에 따른 제어 방법에서는, 제2 고주파 전원(90)은, LF의 일주기에 있어서 RF 펄스의 상승의 타이밍, 즉, 도 20의 E3일 때에 복수의 주파수의 합성파를 발진시킨다. 도 2a의 반사 검출기(111)는, 복수의 주파수의 각각에 대한 HF의 반사파 파워를 검출한다. 검출한 주파수마다의 HF의 반사파 파워는, 프로세서(100)에 보내진다.
- [0179] 예컨대, 제2 고주파 전원(90)이, 주파수를 35 MHz~45 MHz까지 증폭할 수 있는 경우로서, 41, 42, 43, 44, 45 MHz의 5개의 주파수의 합성파를 발진시켰다고 한다. 이 중, 반사 검출기(111)는, 5개의 주파수의 소스 파워에 대한 반사파 파워를 각각 검출하여, 프로세서(100)에 보낸다. 프로세서(100)는, 이 중에서 반사파 파워가 가장 적은 주파수를 선택한다.
- [0180] 예컨대, 반사파 파워가 가장 적은 주파수가 41 MHz였던 경우, 다음 LF의 일주기에 있어서 RF 펄스의 상승의 타이밍에는, 41 MHz로 주파수를 결정하고, 제2 고주파 전원(90)으로부터 출력하는 HF의 주파수로 하여도 좋다. 또한, 도 20의 E4에서는, 예컨대 전회 가장 반사파 파워가 적었던 41 MHz의 주파수를 중심으로, 39, 40, 41, 42, 43 MHz의 5개의 주파수의 소스 파워를 출력하여도 좋다.
- [0181] 이에 의해, 제2 고주파 전원(90)으로부터 출력하는 HF의 주파수를, HF의 반사파 파워가 가장 적은, 목표로 하는 주파수에 최고속으로 도달할 수 있다. 이 결과, 제2 고주파 전원(90)으로부터 출력하는 소스 파워를 보다 빠르게 HF의 반사파 파워가 적은 주파수로 가지고 갈 수 있어, 보다 빠르게 플라즈마를 착화시킬 수 있다.
- [0182] 또한, 프로세서(100)가 변형예 11에 따른 제어 방법을 실행하는 경우, 도 2a의 반사 검출기(111)가 검출한 복수의 주파수에 대응하는 HF의 반사파 파워에 기초하여, 신호 발생 회로(102)를 통해 HF의 주파수를 제어하는 제어 신호가 제2 고주파 전원(90)에 보내진다.
- [0183] 단, 이에 한정되지 않고, 제2 고주파 전원(90)이, 상기 프로세서(100)의 기능을 가져도 좋다. 이 경우, 반사

검출기(111)가 검출한 복수의 주파수에 대응하는 HF의 반사파 파워는, 반사 검출기(111)로부터 제2 고주파 전원(90)에 직접 보내진다.

- [0184] 이 경우, 제2 고주파 전원(90)은, 프로세서(100)의 기능을 갖는 제어부를 갖는 가변 주파수 전원으로서 실현 가능하다. 즉, 이 경우, 가변 주파수 전원이 갖는 제어부는, 반사 검출기(111)로부터 복수의 HF의 주파수의 각각에 대응하는 HF의 반사파 파워를 취득하고, 취득한 HF의 반사파 파워에 기초하여, 가장 반사파 파워가 적은 주파수를 선택한다. 그리고, 제어부는, 선택한 주파수의 소스 파워를 가변 주파수 전원으로부터 출력하도록 결정한다. 가변 주파수 전원은, 소스 파워의 주파수를 결정한 주파수로 바꾸고, 또한 소정의 파워로 출력한다. 이에 의해, 제2 고주파 전원(90)은, 프로세서(100) 및 신호 발생 회로(102)를 이용하지 않고, 출력하는 HF의 주파수 및 소스 파워를 제어할 수 있다. 이에 의해, 제2 고주파 전원(90)은, 변형예 8~변형예 11의 제어 방법을, 프로세서(100)를 이용하지 않고 실행할 수 있다.
- [0185] 변형예 11의 제어 방법에서는, 복수의 주파수가 합성된 고주파를 이용하였지만, 변형예 8~10의 제어 방법에 있어서도, 복수의 주파수가 합성된 고주파를 이용할 수 있다. 또한, 복수의 주파수의 고주파의 혼합 비율을 변형예 8~10의 제어 방법으로 자유롭게 바꾸거나, 최적화하는 시퀀스를 가져도 좋다.
- [0186] 이상에 설명한 변형예 8~변형예 11의 제어 방법에서는, 피처리체를 배치하는 제1 전극을 갖는 플라즈마 처리 장치의 제어 방법으로서, 바이어스 파워를 상기 제1 전극에 공급하는 공정과, 상기 바이어스 파워보다 높은 주파수를 갖는 소스 파워를 플라즈마 처리 공간에 공급하는 공정을 가지고, 상기 소스 파워는, 제1 상태와 제2 상태를 가지고, 상기 제1 상태와 상기 제2 상태를 상기 바이어스 파워의 고주파의 주기에 동기하는 신호, 또는 상기 바이어스 파워의 급전계에서 측정된 전압, 전류 또는 전자계 중 어느 하나를 나타내는 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상을 복수로 분할하였을 때의 각 위상에 따라 2 이상의 주파수로 제어하는 제1 제어 공정을 포함하는, 제어 방법이 제공된다.
- [0187] [변형예 12]
- [0188] 변형예 12에서는, HF의 전압의 제1 상태가, 2개 이상의 전압값을 반복하는 펄스형의 전압값을 취한다. 도 21의 예에서는, HF의 전압의 제1 상태는, 정의 전압값과 0의 전압값을 반복한다. 단, 이에 한정되지 않고, 3개의 전압값을 반복하는 등, 2개 이상의 전압값을 반복하여도 좋다.
- [0189] [변형예 13]
- [0190] 바이어스 파워는, 사인 파형 또는 펄스 파형의 파워여도 좋고, 테일러드 파형의 파워여도 좋다. 즉, 바이어스의 전압 또는 전류는, 사인 파형이어도 좋고, LF 펄스 파형이어도 좋고, 도 22에 나타내는 테일러드 파형이어도 좋다. 테일러드 파형에서는, 도 22에 나타내는 HF가 제2 상태일 때에 바이어스의 파워를 변조하여도 좋고, 제1 상태일 때에 바이어스의 파워를 변조하여도 좋다.
- [0191] 또한, 동일하게 하여, HF의 제1 상태가 2개 이상의 전압값을 취하는 경우, HF의 파형은, 도 15a~도 15d, 도 21에 나타내는 파형 외에, 도 22에 나타내는 테일러드 파형이어도 좋다.
- [0192] 이번에 개시된 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치 및 제어 방법은, 모든 점에서 예시로서 제한적인 것이 아니라고 생각되어야 한다. 상기 실시형태는, 첨부된 청구범위 및 그 주지를 일탈하는 일없이, 여러 가지 형태로 변형 및 개량이 가능하다. 상기 복수의 실시형태에 기재된 사항은, 모순하지 않는 범위에서 다른 구성도 취할 수 있다. 또한, 상기 복수의 실시형태에 기재된 사항은, 모순하지 않는 범위에서 조합할 수 있다.
- [0193] 본 개시에 따른 플라즈마 처리 장치는, Capacitively Coupled Plasma(CCP), Inductively Coupled Plasma(ICP), Radial Line Slot Antenna(RLSA), Electron Cyclotron Resonance Plasma(ECR), Helicon Wave Plasma(HWP) 중 어느 타입에도 적용 가능하다.
- [0194] 예컨대, 피처리체를 배치하는 제1 전극과, 상기 제1 전극에 대항하는 제2 전극을 갖는 플라즈마 처리 장치의 제어 방법으로서, 바이어스 파워를 상기 제1 전극에 공급하는 공정과, 상기 바이어스 파워보다 높은 주파수를 갖는 소스 파워를 플라즈마 처리 공간에 공급하는 공정을 가지고, 상기 소스 파워는, 제1 상태와 제2 상태를 가지고, 상기 제1 상태와 상기 제2 상태를 상기 기준 전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가하는 제1 제어 공정을 포함하여도 좋다.
- [0195] 피처리체를 배치하는 제1 전극을 갖는 플라즈마 처리 장치의 제어 방법으로서, 바이어스 파워를 상기 제1 전극에 공급하는 공정과, 상기 바이어스 파워보다 높은 주파수를 갖는 소스 파워를 플라즈마 처리 공간에 공급하는 공정을 가지고, 상기 소스 파워는, 제1 상태와 제2 상태를 가지고, 상기 제1 상태와 상기 제2 상태를 상기 기준

전기 상태의 일주기 내의 위상과 동기하여 교대로 인가하는 제1 제어 공정을 포함하는, 제어 방법을 포함하여도 좋다.

[0196] 상기 바이어스 파워보다 높은 주파수를 갖는 소스 파워를 플라즈마 처리 공간에 공급하는 공정은, 플라즈마를 생성하기 위한 플라즈마 생성원이, 마이크로파원, 고주파 전원 등의 소스 파워를 플라즈마 처리 공간에 공급함으로써 실행되어도 좋다.

[0197] 본 명세서에서는, 피처리체의 일례로서 웨이퍼(W)를 들어 설명하였다. 그러나, 기판은, 이에 한하지 않고, LCD(Liquid Crystal Display), FPD(Flat Panel Display)에 이용되는 각종 기판, CD 기판, 프린트 기판 등이어도 좋다.

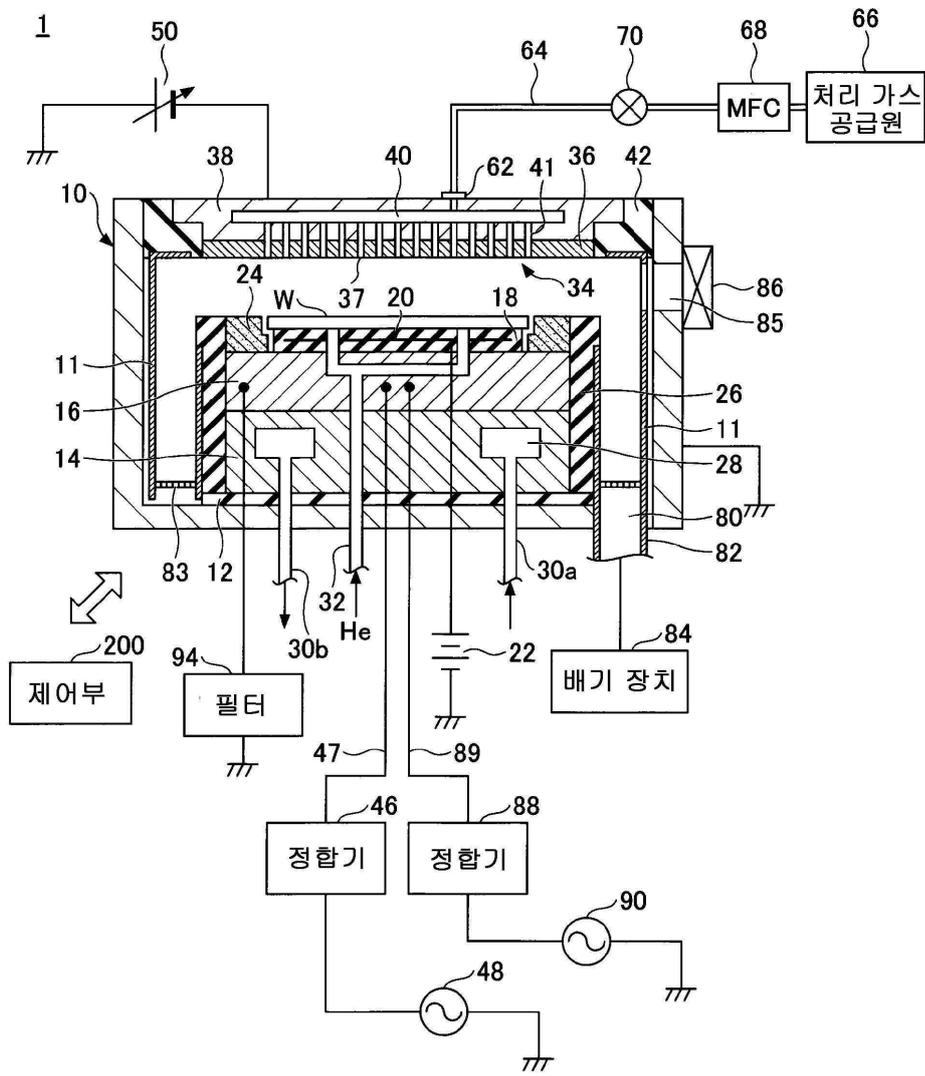
[0198] 본 국제출원은, 2018년 6월 22일에 출원된 일본국 특허 출원 제2018-119344호에 기초한 우선권 및 2019년 6월 5일에 출원된 일본국 특허 출원 제2019-105708호에 기초한 우선권을 주장하는 것이며, 그 전체 내용을 본 국제출원에 원용한다.

부호의 설명

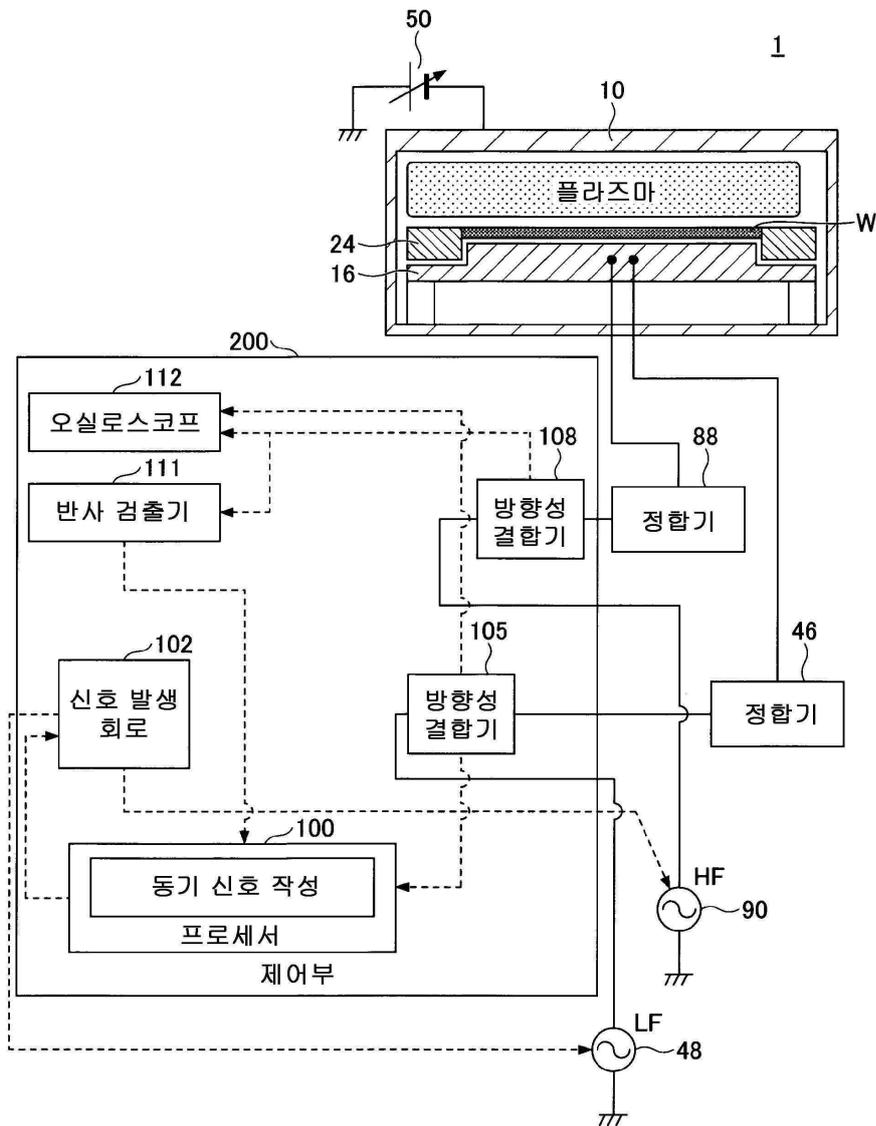
- | | | |
|--------|--------------------|------------------|
| [0199] | 1 : 플라즈마 처리 장치 | 10 : 처리 용기 |
| | 16 : 배치대(하부 전극) | 34 : 상부 전극 |
| | 47 : 급전봉 | 46 : 정합기 |
| | 48 : 제1 고주파 전원 | 50 : 가변 직류 전원 |
| | 66 : 처리 가스 공급원 | 84 : 배기 장치 |
| | 88 : 정합기 | 89 : 급전봉 |
| | 90 : 제2 고주파 전원 | 91 : GND 블록 |
| | 100 : 프로세서 | 102 : 신호 발생 회로 |
| | 105, 108 : 방향성 결합기 | 111 : 반사 검출기 |
| | 112 : 오실로스코프 | 200 : 제어부 |
| | 250 : 부가 회로 | 300 : 임피던스 변화 회로 |
| | 350 : 전자석 | |

도면

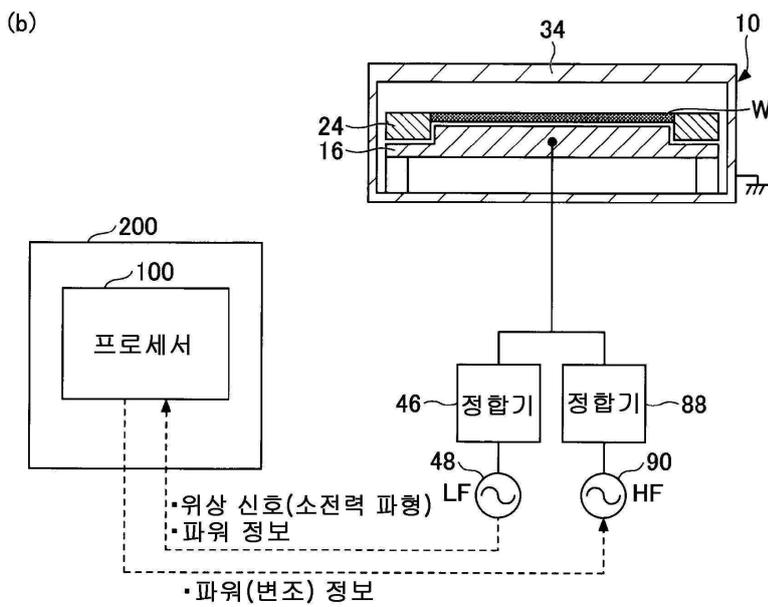
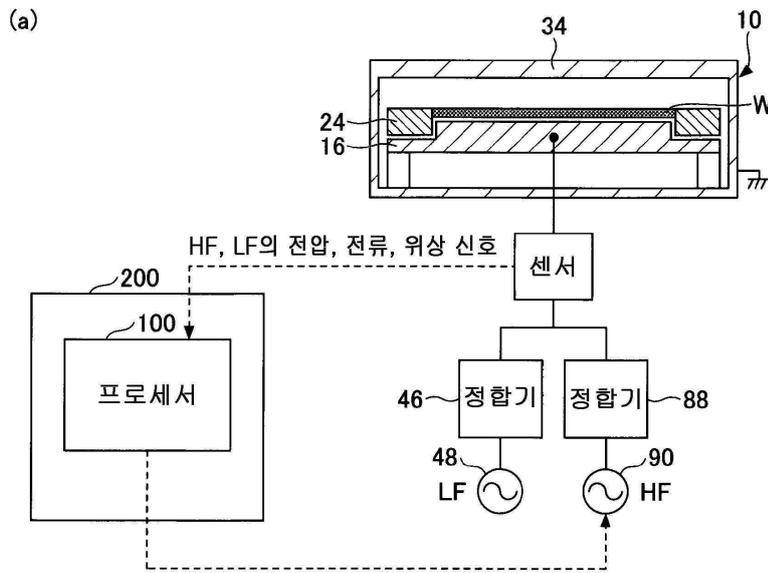
도면1



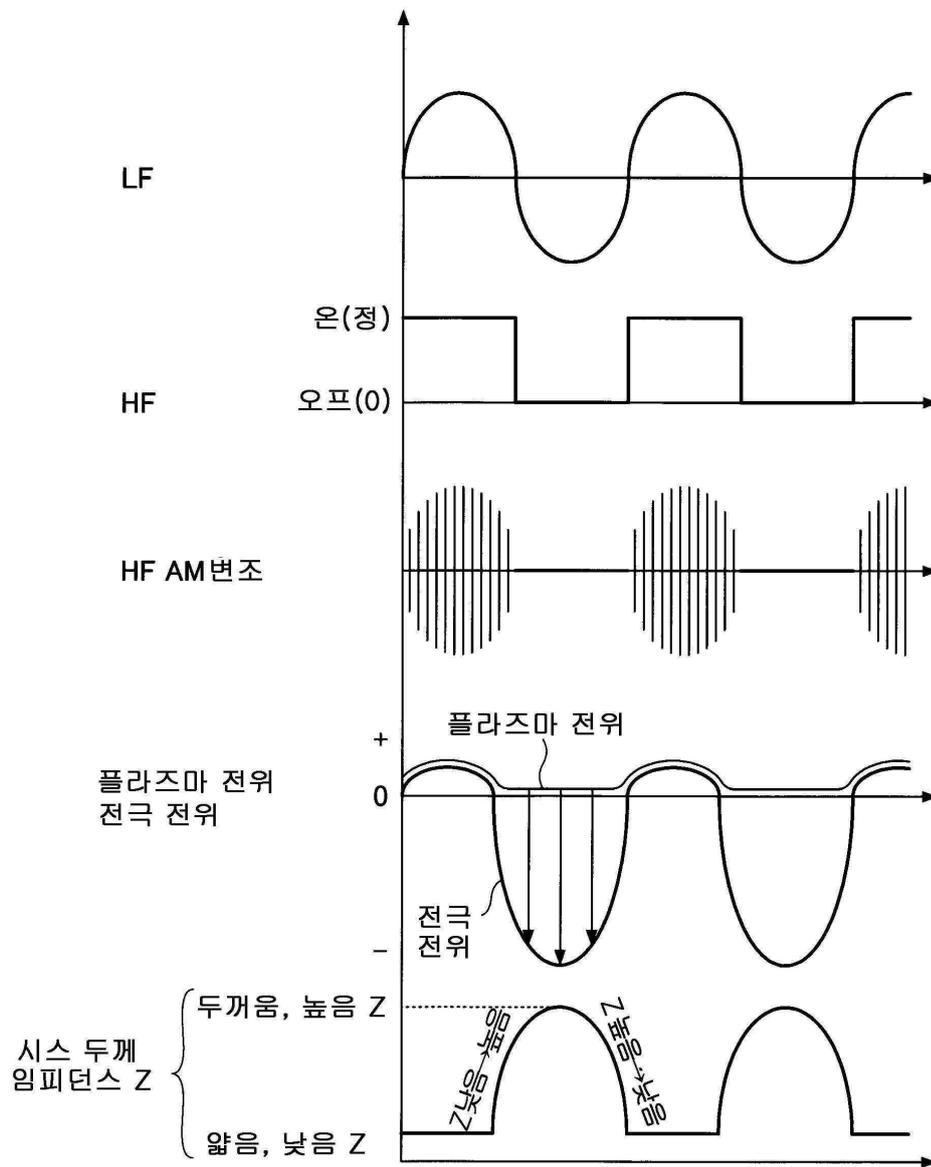
도면2a



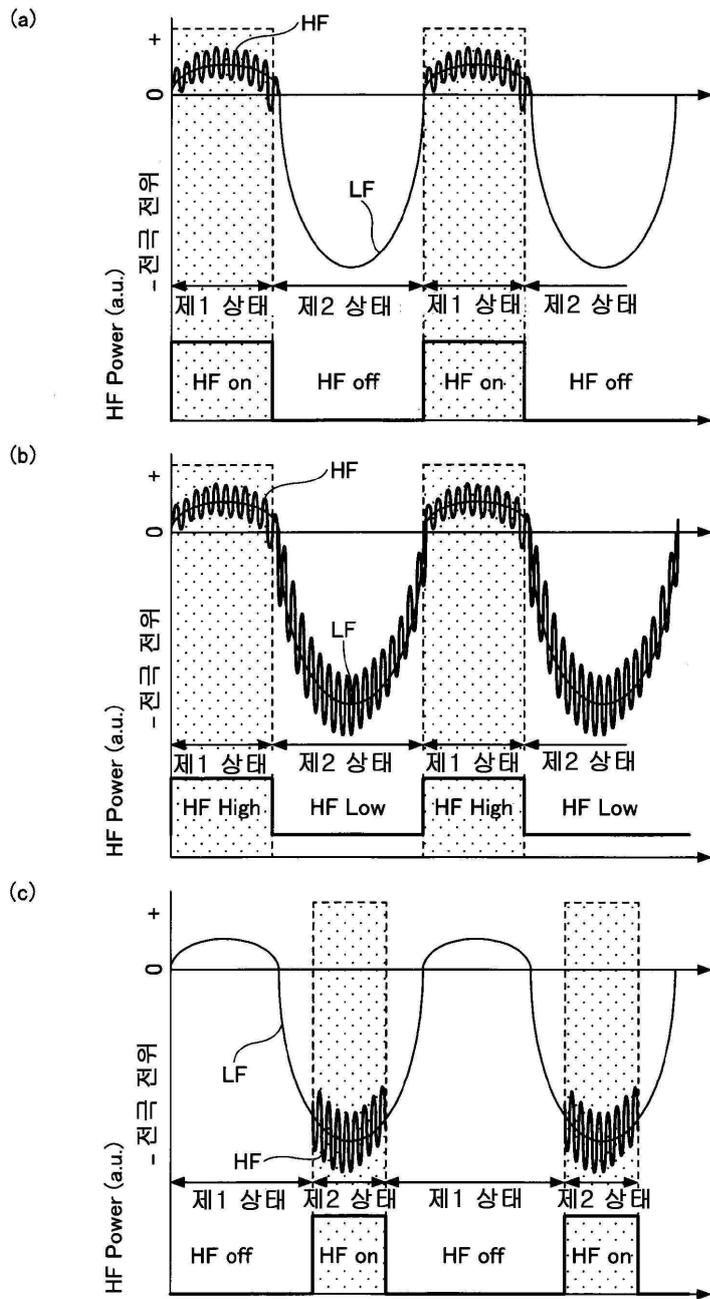
도면2b



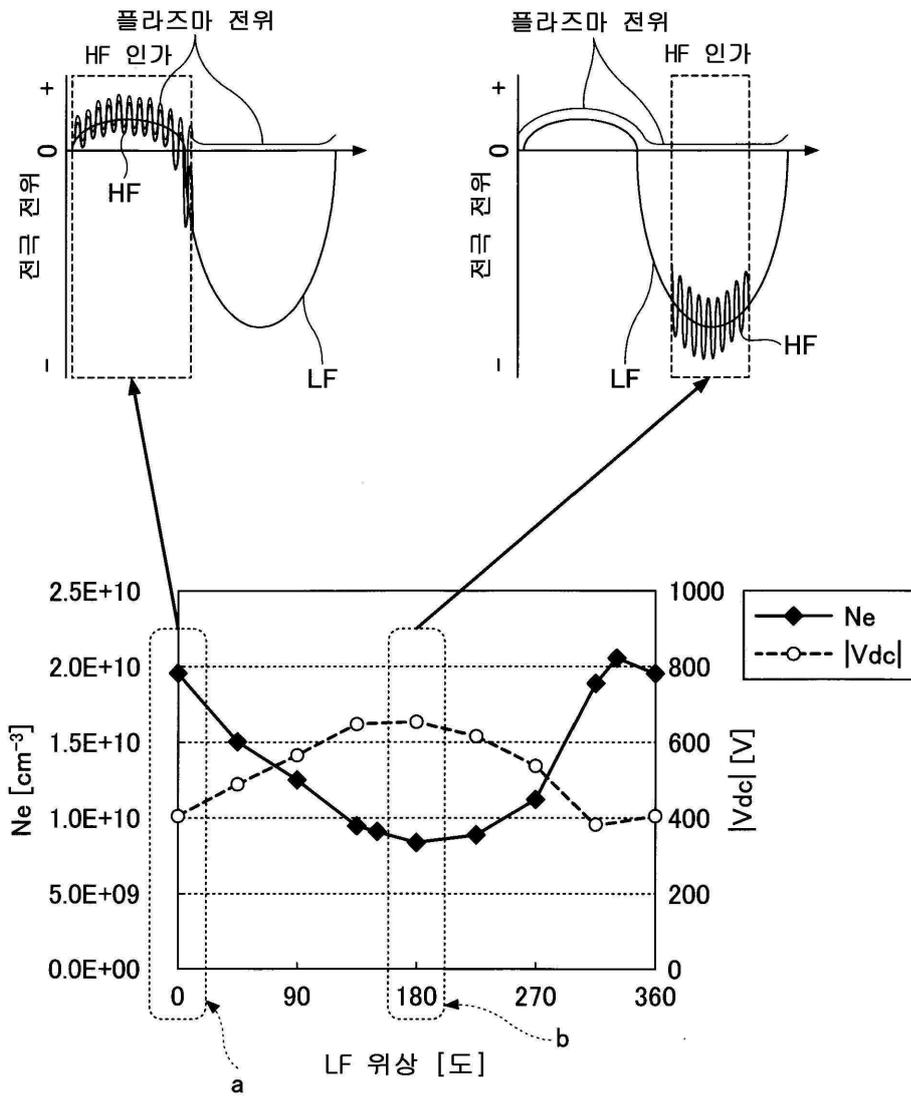
도면3



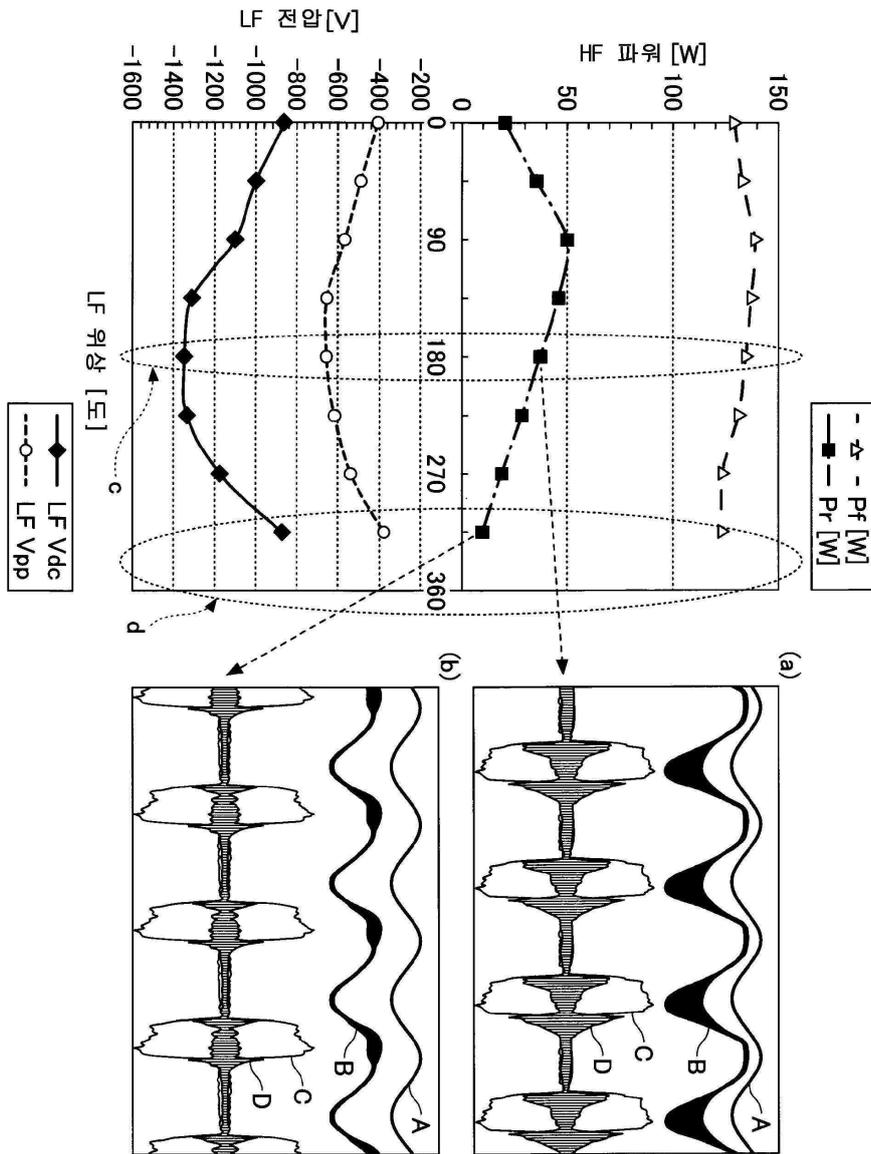
도면4



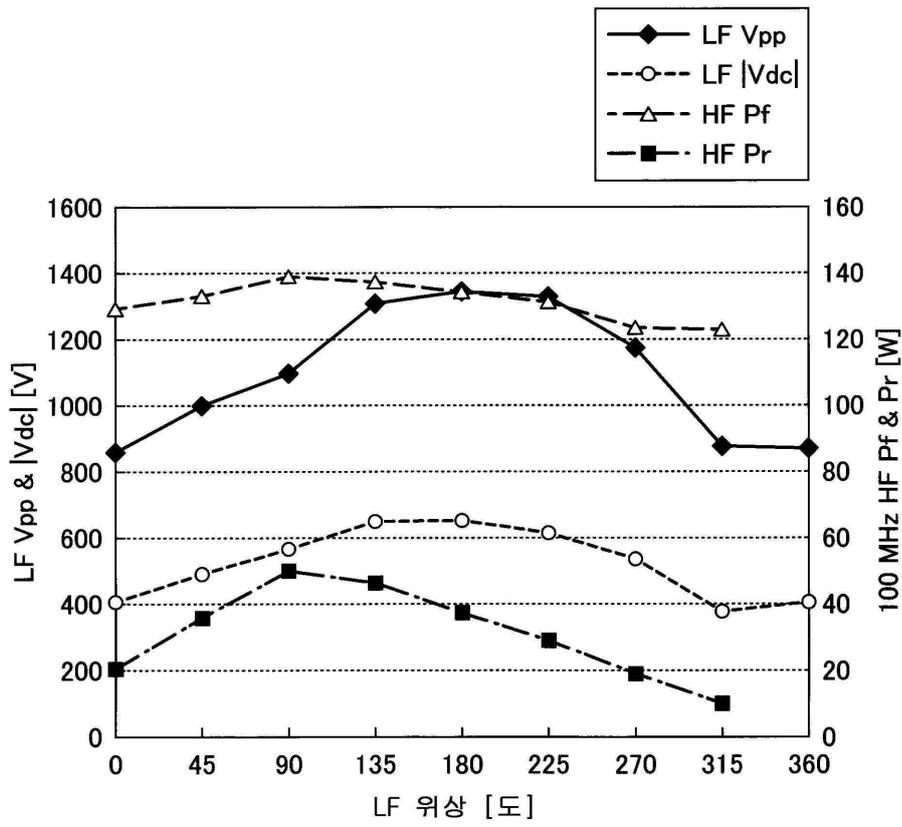
도면5



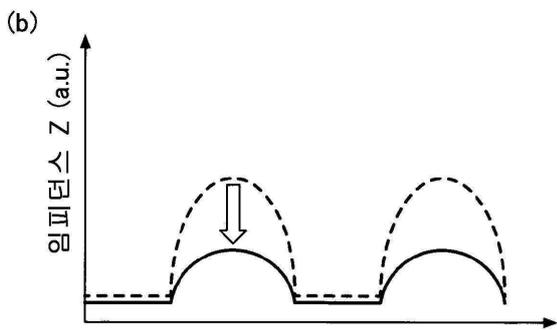
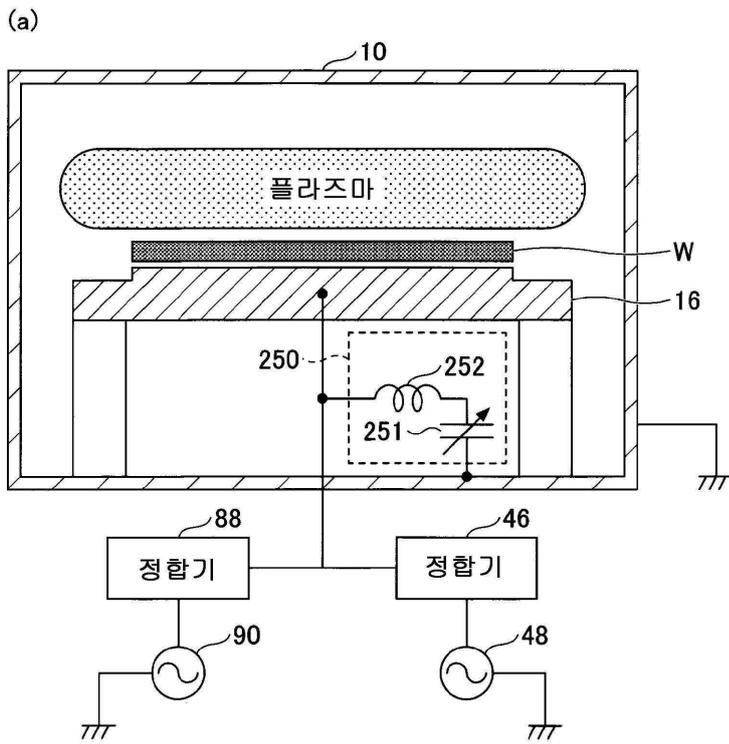
도면6



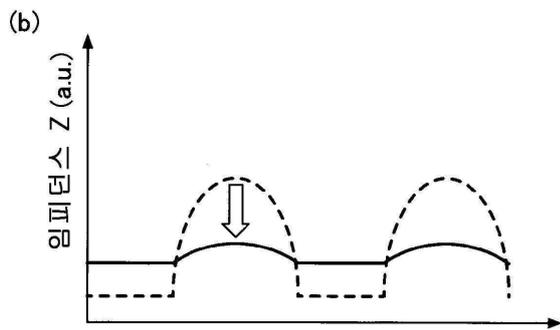
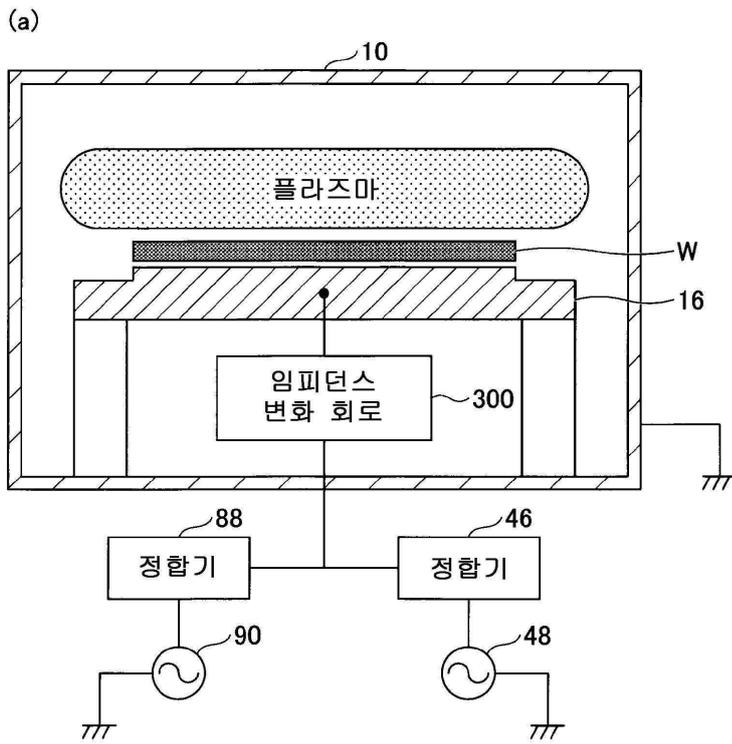
도면7



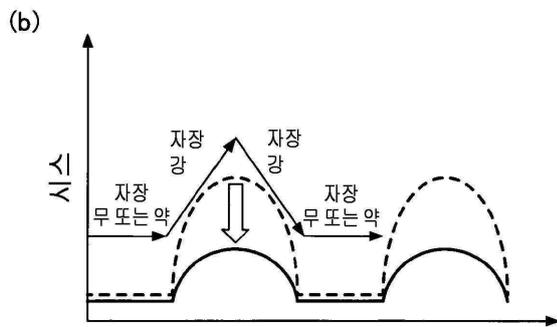
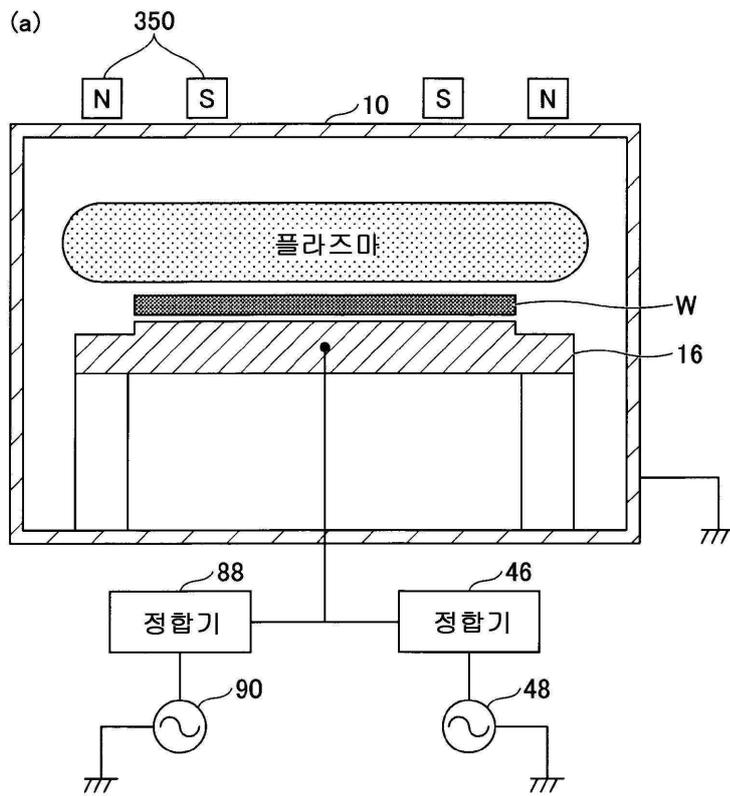
도면8



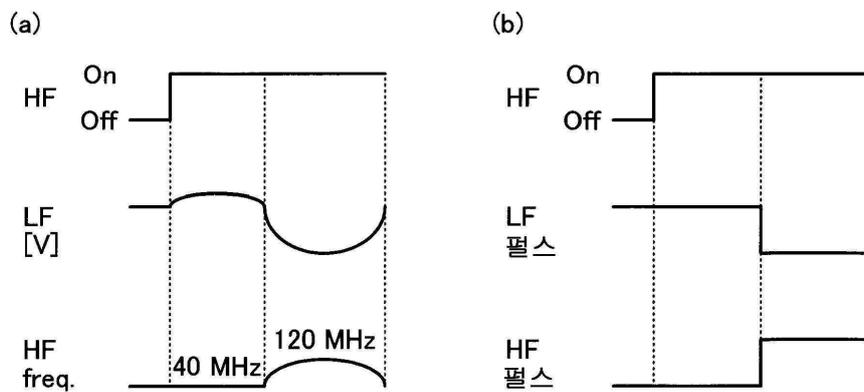
도면9



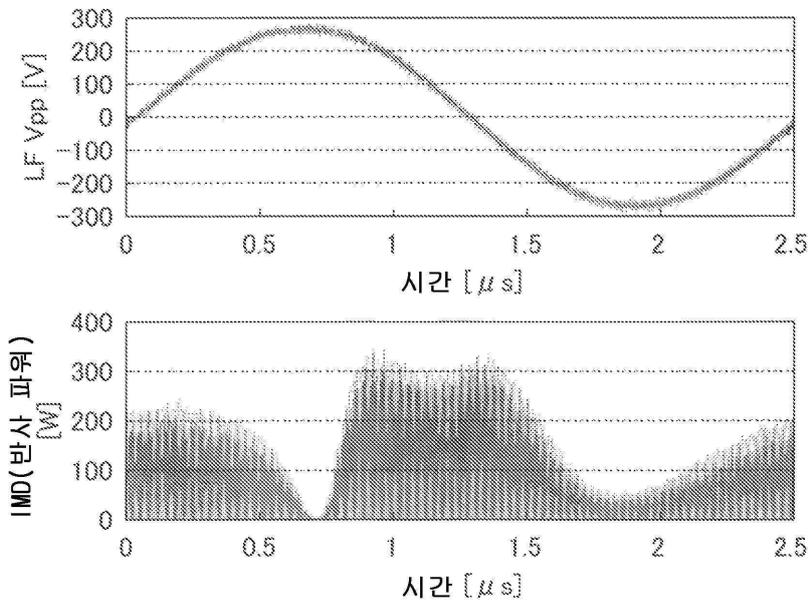
도면10



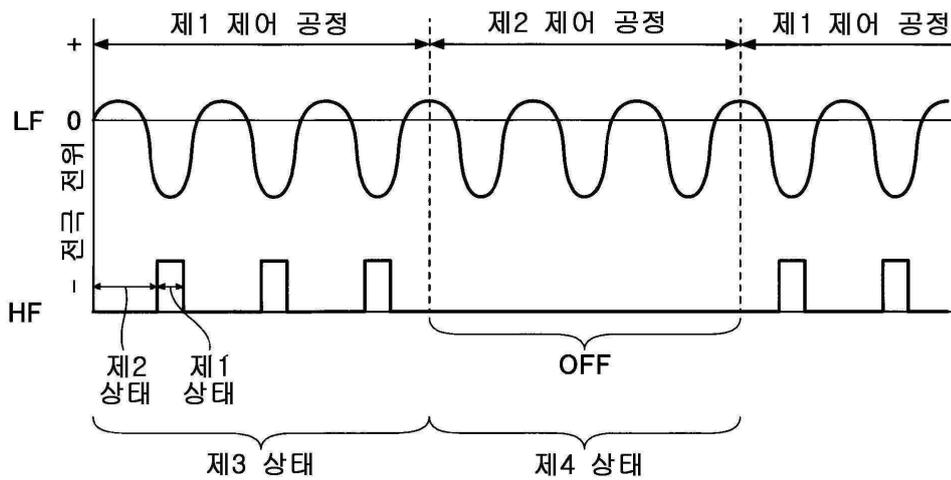
도면11



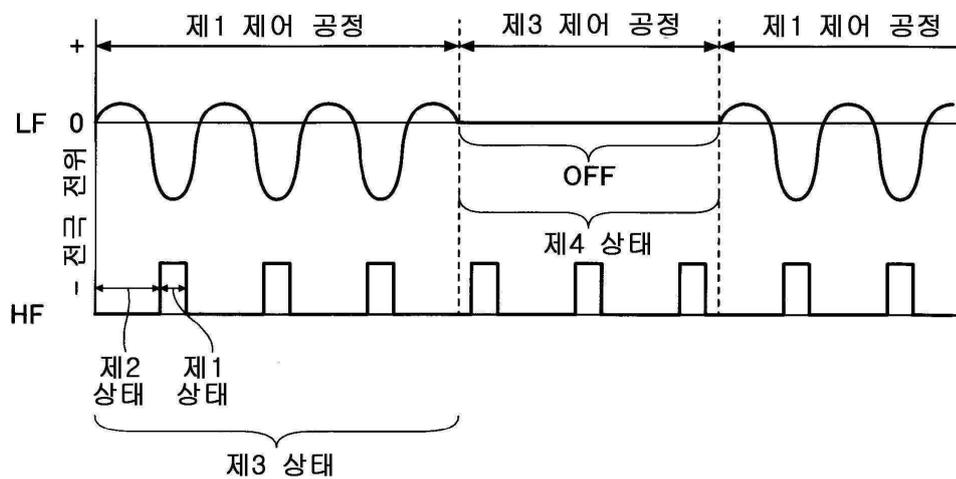
도면12



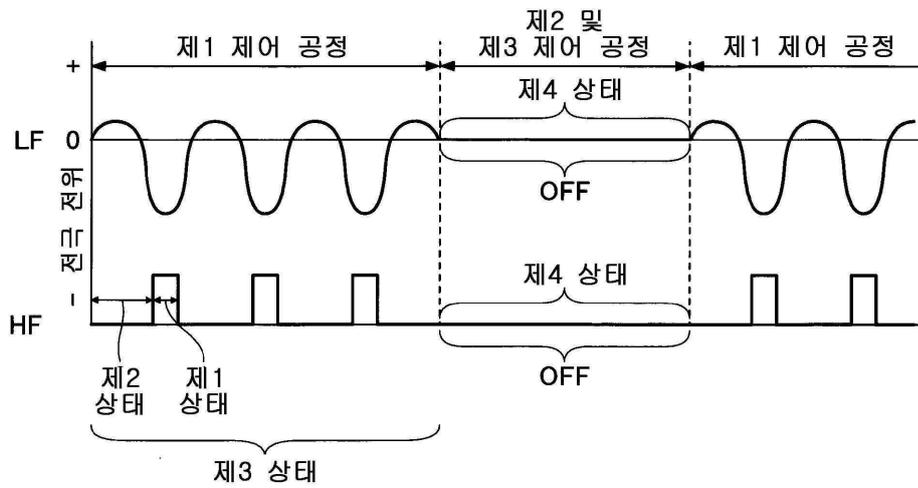
도면13a



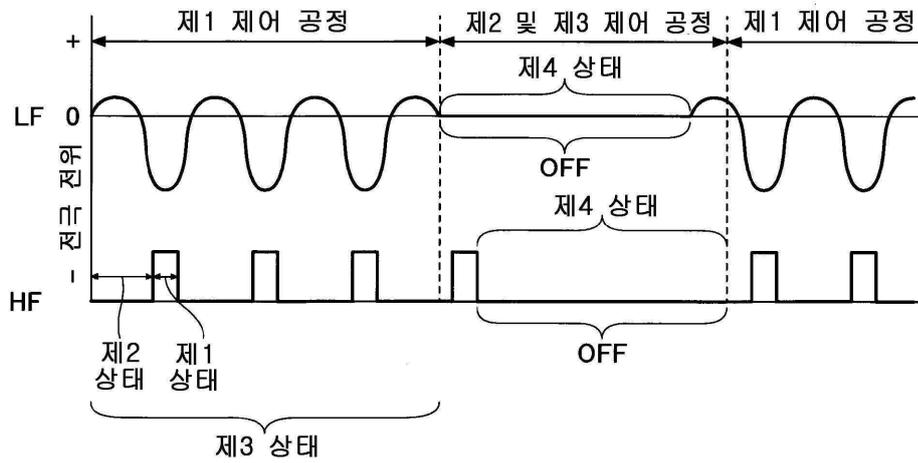
도면13b



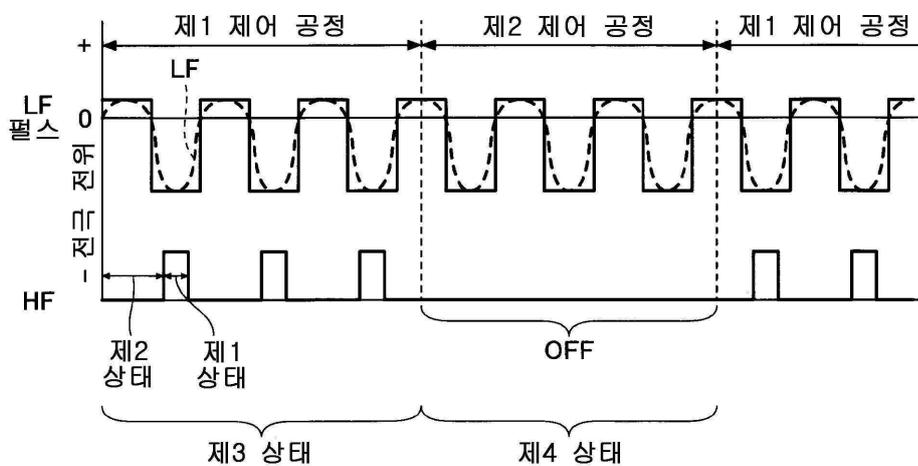
도면13c



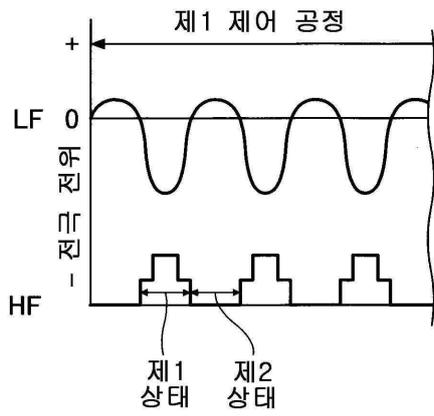
도면13d



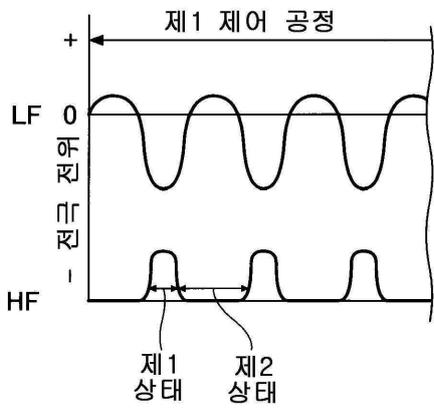
도면14



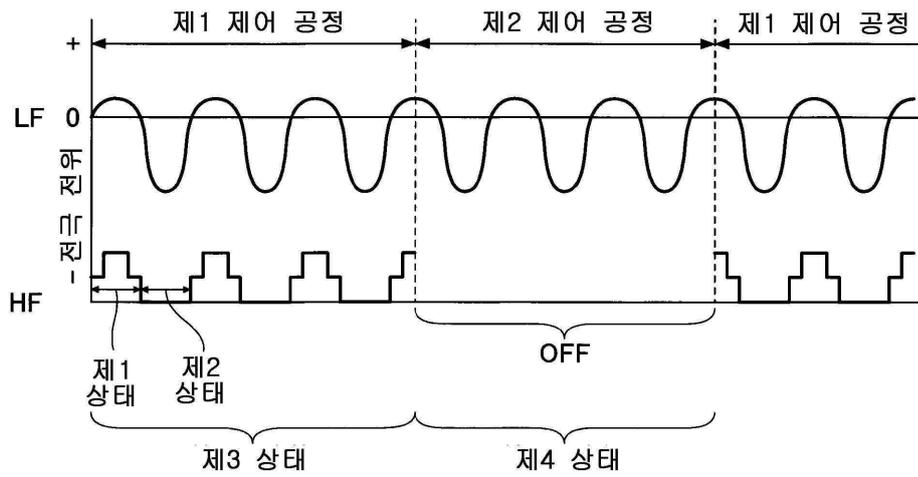
도면15a



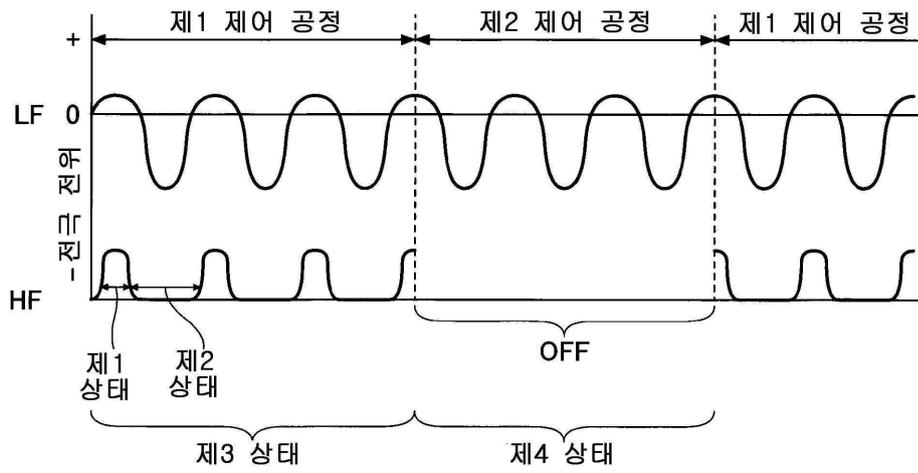
도면15b



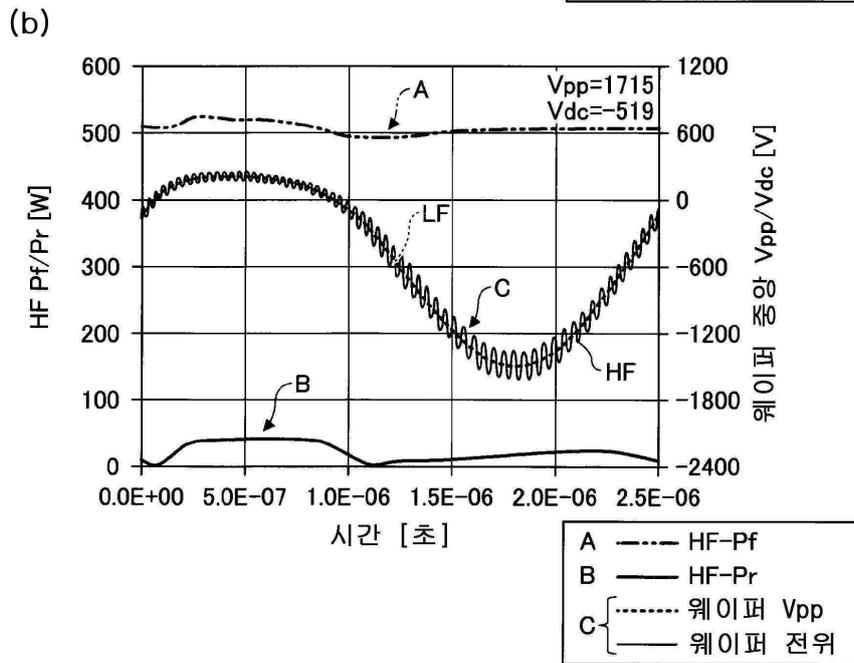
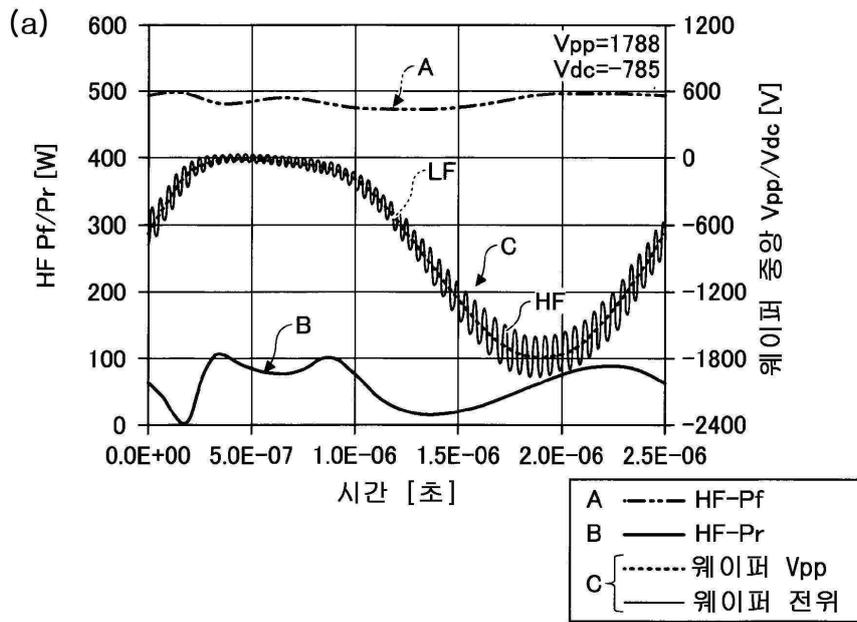
도면15c



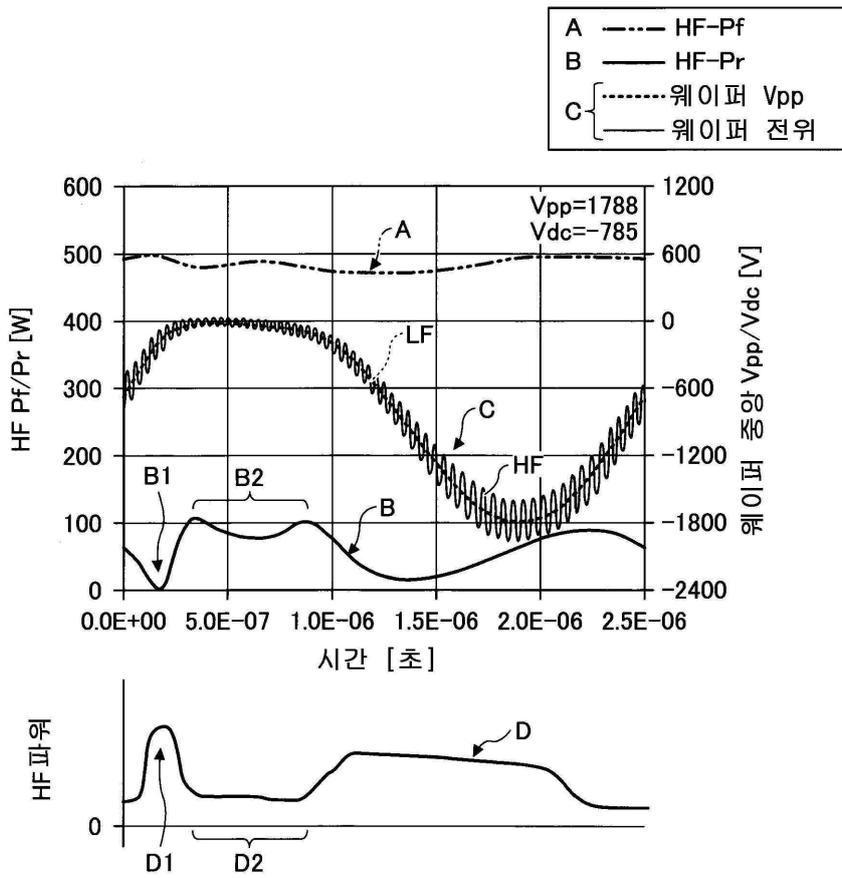
도면15d



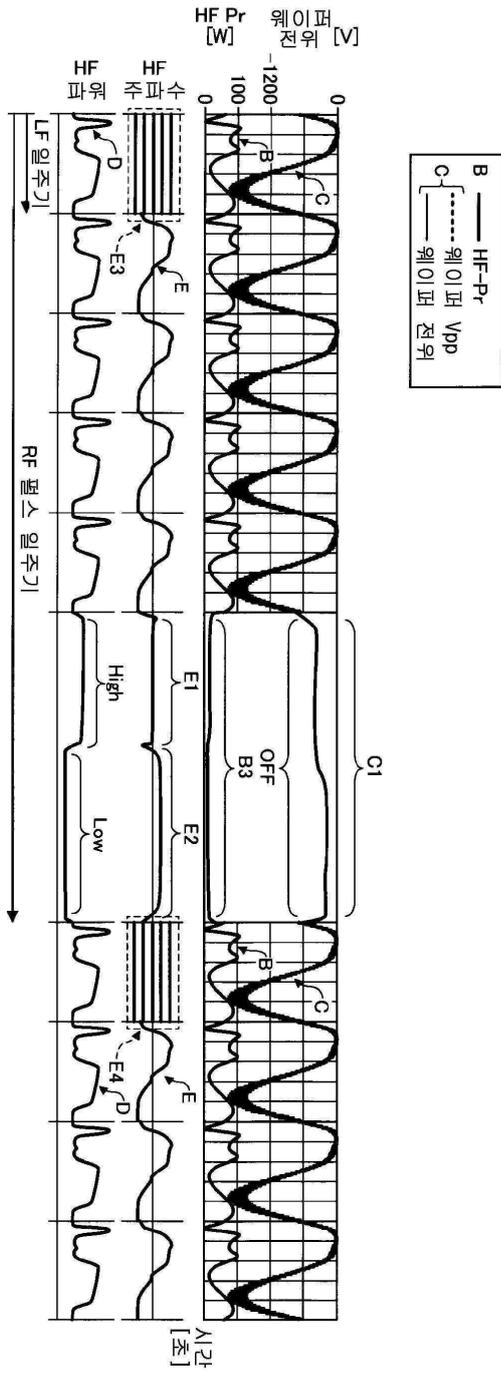
도면16



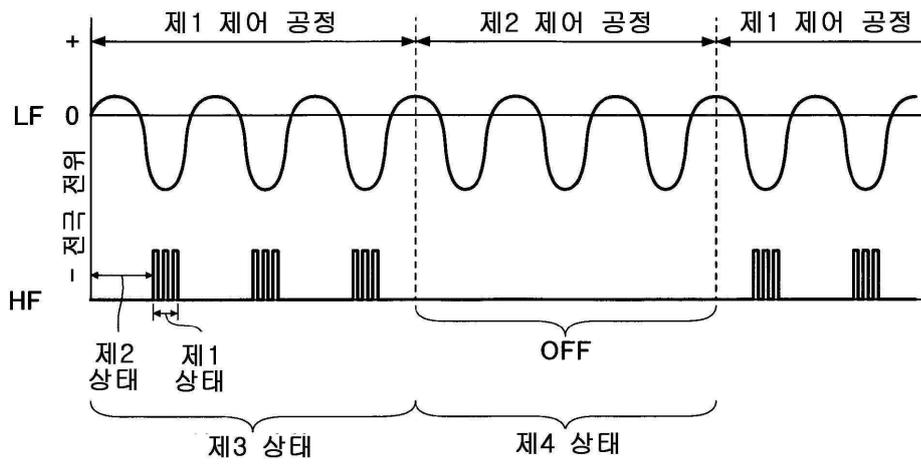
도면18



도면20



도면21



도면22

