



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년06월29일  
(11) 등록번호 10-1872763  
(24) 등록일자 2018년06월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01J 37/32 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H01J 37/32155 (2013.01)  
H01J 37/32174 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-0000145  
(22) 출원일자 2017년01월02일  
심사청구일자 2017년01월02일  
(65) 공개번호 10-2018-0030741  
(43) 공개일자 2018년03월26일  
(30) 우선권주장  
JP-P-2016-181131 2016년09월16일 일본(JP)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2014229751A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈  
일본국 도쿄도 미나토구 니시신바시 1췌메 24-14  
(72) 발명자  
이케다 노리히코  
일본국 도쿄도 미나토구 니시 심바시 1-24-14  
야스이 나오키  
일본국 도쿄도 미나토구 니시 심바시 1-24-14  
(74) 대리인  
문두현

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 김주승

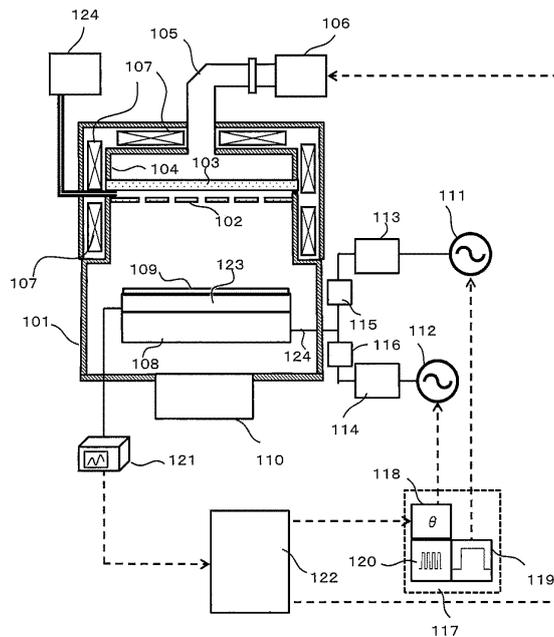
(54) 발명의 명칭 플라즈마 처리 장치 및 플라즈마 처리 방법

(57) 요약

본 발명은, 2주파 바이어스의 기능을 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서, 플라즈마 처리에 관한 웨이퍼 면내의 균일성이나 에칭 레이트 등의 원하는 분포 조정과 높은 선택비를 양립할 수 있는 플라즈마 처리 장치 및 플라즈마 처리 방법을 제공하는 것으로 과제로 한다.

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



이러한 과제를 해결하기 위하여 본 발명은, 플라스마를 이용해서 시료가 처리되는 처리실과, 상기 플라스마를 생성하기 위한 고주파 전력을 공급하는 제 1 고주파 전원과, 상기 시료가 재치(載置)되는 시료대와, 상기 시료대에 제 1 고주파 전압을 인가하는 제 2 고주파 전원을 구비하는 플라스마 처리 장치에 있어서, N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하는 제 3 고주파 전원과, 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 위상차를 제어하는 제어부를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

*H01L 21/3065* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020140040640A\*

JP2008060429A\*

KR102015000028694A

KR1020140040640 A\*

JP2014229751 A\*

JP2008060429 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

플라스마를 이용해서 시료가 처리되는 처리실과, 상기 플라스마를 생성하기 위한 고주파 전력을 공급하는 제 1 고주파 전원과, 상기 시료가 재치(載置)되는 시료대와, 상기 시료대에 제 1 고주파 전압을 인가하는 제 2 고주파 전원을 구비하는 플라스마 처리 장치에 있어서,

N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하는 제 3 고주파 전원과, 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하는 제어부를 더 구비하고,

상기 소정값은, 상기 시료대에 인가된 고주파 전압의 피크 간 전압이 최소로 되는 값인 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

#### 청구항 2

플라스마를 이용해서 시료가 처리되는 처리실과, 상기 플라스마를 생성하기 위한 고주파 전력을 공급하는 제 1 고주파 전원과, 상기 시료가 재치(載置)되는 시료대와, 상기 시료대에 제 1 고주파 전압을 인가하는 제 2 고주파 전원을 구비하는 플라스마 처리 장치에 있어서,

N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하는 제 3 고주파 전원과, 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하는 제어부를 더 구비하고,

상기 소정값은, 상기 시료대에 인가된 고주파 전압의 제 1 피크값보다 작은 상기 고주파 전압의 제 2 피크값이 최대로 되는 값인 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

#### 청구항 3

플라스마를 이용해서 시료가 처리되는 처리실과, 상기 플라스마를 생성하기 위한 고주파 전력을 공급하는 제 1 고주파 전원과, 상기 시료가 재치되는 시료대와, 상기 시료대에 제 1 고주파 전압을 인가하는 제 2 고주파 전원을 구비하는 플라스마 처리 장치에 있어서,

N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하는 제 3 고주파 전원과, 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하는 제어부를 더 구비하고,

상기 소정값은, 기준 위상에 대한 상기 제 1 고주파 전압의 위상 지연과 기준 위상에 대한 상기 제 2 고주파 전압의 위상 지연을 이용해서 구해지는 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

#### 청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 위상차를 시간 변조시키기 위한 펄스를 생성하는 펄스 컨트롤러를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 장치.

#### 청구항 5

플라스마를 이용해서 시료가 처리되는 처리실과, 상기 플라스마를 생성하기 위한 고주파 전력을 공급하는 제 1 고주파 전원과, 상기 시료가 재치되는 시료대와, 상기 시료대에 제 1 고주파 전압을 인가하는 제 2 고주파 전원

을 구비하는 플라즈마 처리 장치에 있어서,

제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하는 제 3 고주파 전원과,

상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차를 시간 변조시키기 위한 펄스를 생성하는 펄스 컨트롤러와, 상기 시료대에 인가된 고주파 전압의 피크 간 전압이 최소로 되도록 상기 펄스 컨트롤러를 제어하는 제어부를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 장치.

**청구항 6**

시료대에 제치된 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리 방법에 있어서,

N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 제 1 고주파 전압과 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하고,

상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하고,

상기 소정값은, 상기 시료대에 인가된 고주파 전압의 피크 간 전압이 최소로 되는 값인 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 방법.

**청구항 7**

시료대에 제치된 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리 방법에 있어서,

N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 제 1 고주파 전압과 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하고,

상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하고,

상기 소정값은, 상기 시료대에 인가된 고주파 전압의 제 1 피크값보다 작은 상기 고주파 전압의 제 2 피크값이 최대로 되는 값인 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 방법.

**청구항 8**

시료대에 제치된 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리 방법에 있어서,

N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 제 1 고주파 전압과 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하고,

상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하고,

상기 소정값은, 기준 위상에 대한 상기 제 1 고주파 전압의 위상 지연과 기준 위상에 대한 상기 제 2 고주파 전압의 위상 지연을 이용해서 구해지는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 방법.

**청구항 9**

제 6 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 위상차가 시간 변조되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리 방법.

**청구항 10**

시료대에 제치된 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리 방법에 있어서,

N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 제 1 고주파 전압과 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하고,

상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하고,

M을 자연수로 하고, N이 4M+1일 경우, 상기 소정값은, 제 1 소정값이고,

M을 자연수로 하고, N이 4M일 경우, 상기 소정값은, 제 2 소정값이고,  
 M을 자연수로 하고, N이 4M-1일 경우, 상기 소정값은, 제 3 소정값이고,  
 M을 자연수로 하고, N이 4M-2일 경우, 상기 소정값은, 제 4 소정값인 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 방법.

**청구항 11**

시료대에 채치된 시료를 플라스마 처리하는 플라스마 처리 방법에 있어서,  
 제 1 고주파 전압과 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하고,  
 상기 시료대에 인가된 고주파 전압의 피크 간 전압이 최소로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차를 시간 변조하는 것을 특징으로 하는 플라스마 처리 방법.

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 플라스마 처리 기술에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 종래의 플라스마 처리 장치는, 에칭 레이트 등에 관한 웨이퍼 면내의 불균일을 개선 또는 제어하기 위하여, 특히 이온 에너지 분포 등을 제어하는 분포 조정 기능을 갖는 것이 있다.

[0003] 플라스마 처리 장치의 처리에 있어서의 웨이퍼 면내의 균일성 향상에 관한 선행 기술예로서 특허문헌 1을 들 수 있다. 특허문헌 1에 기재된 플라스마 처리 장치는, 웨이퍼에 입사하는 에너지 분포를 제어하기 위해, 주파수가 다른 복수의 고주파 바이어스원을 구비하고, 그것을 중첩해서 동일 전극에 인가하고 있다.

[0004] 또한, 평행 평관형 플라스마 처리 장치에 있어서, 기관의 가공에 적합한 이온 에너지를 가지며, 또한 그 이온 에너지 폭을 작게 하여, 가공 형상을 정교하고 치밀하게 제어하는 것이 가능한 기관의 플라스마 처리 장치로서 내부가 진공으로 유지된 챔버 내에서, 대향 전극에 대하여 대향하도록 배치된 RF 전극에 대해, 제 1 주파수의 제 1 RF 전압 및 상기 제 1 주파수의 1/2의 정수배로서, 상기 제 1 주파수와 다른 제 2 주파수의 제 2 RF 전압을, 각각 제 1 RF 전압 인가 수단 및 제 2 RF 전압 인가 수단으로부터 게이트 트리거 장치에 의하여 서로 위상 제어, 중첩해서 인가할 수 있도록 한 플라스마 처리 장치가 특허문헌 2에 개시되어 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0005] (특허문헌 0001) 일본국 특개2008-244429호 공보

(특허문헌 0002) 일본국 특개2008-60429호 공보

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 다른 두 주파수의 고주파 바이어스를 인가해서 두 주파수 바이어스 전력을 조정하면서 웨이퍼 면내 분포의 조정

을 행할 경우, 이하와 같은 과제가 있다. 예를 들면, 웨이퍼 면내의 반경 방향으로 평탄한 분포로 되도록 원하는 분포 조정의 제어를 실행한 경우에도 의도와는 달리 면내 균일한 에칭 형상이나, 혹은 높은 선택비 등이 얻어지지 않는 경우가 있었다.

[0007] 이것은, 두 고주파 바이어스의 중첩에 의해 이온 에너지가 특히 웨이퍼 외주에서 높게 되어 있는 것이 원인이며, 선택비의 웨이퍼 면내 분포 조정을 할 수 없기 때문인 것을 알 수 있었다. 그러나, 특허문헌 1 및 2에 개시된 기술에는, 두 고주파 바이어스의 중첩에 의해 이온 에너지가 특히 웨이퍼 외주에서 높아진다는 과제가 고려되어 있지 않다.

[0008] 또한, 두 주파수나 두 바이어스의 위상이 무조정이면, 이 다른 두 바이어스 전압의 위상은 시간 주기마다 변화해 파형은 일정치 않다. 그 영향에 의해 일정한 에칭 처리가 이루어지지 않아 균일성, 선택비, 에칭 형상이 균일하지 않다는 문제가 발생한다. 특허문헌 2에는 두 고주파 바이어스의 각각의 위상을 제어하는 점은 개시되어 있지만, 에너지 폭의 축소 등이 목적인 위상 제어이기 때문에, 균일성, 선택비, 에칭 형상의 편차를 저감하기 위한 위상 제어에 대해서는 개시 및 시사가 없다.

[0009] 이 때문에 본 발명은, 2주파 바이어스의 기능을 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서, 플라즈마 처리에 관한 웨이퍼 면내의 균일성이나 에칭 레이트 등의 원하는 분포 조정과 높은 선택비를 양립할 수 있는 플라즈마 처리 장치 및 플라즈마 처리 방법을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 본 발명은, 플라즈마를 이용해서 시료가 처리되는 처리실과, 상기 플라즈마를 생성하기 위한 고주파 전력을 공급하는 제 1 고주파 전원과, 상기 시료가 재치(載置)되는 시료대와, 상기 시료대에 제 1 고주파 전압을 인가하는 제 2 고주파 전원을 구비하는 플라즈마 처리 장치에 있어서, N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하는 제 3 고주파 전원과, 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하는 제어부를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0011] 또한, 본 발명은, 플라즈마를 이용해서 시료가 처리되는 처리실과, 상기 플라즈마를 생성하기 위한 고주파 전력을 공급하는 제 1 고주파 전원과, 상기 시료가 재치되는 시료대와, 상기 시료대에 제 1 고주파 전압을 인가하는 제 2 고주파 전원을 구비하는 플라즈마 처리 장치에 있어서, 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하는 제 3 고주파 전원과, 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차를 시간 변조시키기 위한 펄스를 생성하는 펄스 컨트롤러를 더 구비하는 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한, 본 발명은, 시료대에 재치된 시료를 플라즈마를 이용해서 처리하는 플라즈마 처리 방법에 있어서, N을 2 이상의 자연수로 했을 경우, 제 1 고주파 전압과 상기 제 1 고주파 전압의 주파수에 대해서 N배의 주파수인 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하고, 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 제 1 고주파 전압의 위상 및 상기 제 2 고주파 전압의 위상을 제어하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 본 발명은, 시료대에 재치된 시료를 플라즈마를 이용해서 처리하는 플라즈마 처리 방법에 있어서, 제 1 고주파 전압과 제 2 고주파 전압을 상기 시료대에 인가하고, 상기 제 1 고주파 전압의 위상과 상기 제 2 고주파 전압의 위상의 위상차를 시간 변조하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

[0014] 본 발명에 의해, 2주파 바이어스의 기능을 갖는 플라즈마 처리 장치에 있어서, 플라즈마 처리에 관한 웨이퍼 면내의 균일성이나 에칭 레이트 등의 원하는 분포 조정과 높은 선택비를 양립할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 처리 장치의 구성을 나타내는 도면.

도 2는 펄스 컨트롤러에 의한 시료대에의 인가된 전압 파형을 나타내는 도면.

도 3은 중첩되어 시료대에 인가된 두 고주파 바이어스 전압을 나타내는 도면.

도 4는 각각의 두 고주파 바이어스의 주파수비에 대한 중첩된 전압을 나타내는 도면.

- 도 5는 두 고주파 바이어스의 위상차의 제어를 나타내는 흐름도.
- 도 6은 두 고주파 바이어스가 중첩된 전압의  $V_{pp}$  및  $V_{MIN}$ 에 대한 두 고주파 바이어스의 위상차 의존성을 나타내는 도면.
- 도 7은 두 고주파 바이어스의 위상차의 제어를 나타내는 흐름도.
- 도 8은 두 고주파 바이어스가 중첩된 전압의  $V_{pp}$  및  $V_{MIN}$ 에 대한 두 고주파 바이어스의 위상차 의존성을 나타내는 도면.
- 도 9는 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 3일 경우에 대하여 나타내는 도면.
- 도 10은 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4일 경우에 대하여 나타내는 도면.
- 도 11은 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 5일 경우에 있어서의 위상차 어긋남을 나타내는 도면.
- 도 12는 두 고주파 바이어스의 위상차를 시간 제어한 예를 나타내는 도면.
- 도 13은 도 1의 전압 모니터(121)와 다른 전압 모니터(1501)를 나타내는 도면.
- 도 14는 에칭 레이트의 웨이퍼 면내 분포에 대한 고주파 바이어스의 주파수 의존성을 나타내는 도면.
- 도 15는 두 고주파 바이어스에 의한 에칭 레이트 및 선택비의 웨이퍼 면내 분포를 나타내는 도면.
- 도 16은 두 고주파 바이어스에 의한 형상 결과를 나타내는 도면.
- 도 17은 위상차에 대한  $V_{dc}$ 의 특성을 나타내는 도면.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0016] 본 발명의 일 실시형태에 대하여 도면을 참조하면서 이하, 설명한다.
- [0017] 도 1은 본 발명의 일 실시형태의 플라즈마 처리 장치의 구성을 나타낸다. 또한, 도 1에 나타내는 플라즈마 처리 장치는, 마이크로파 전자 사이클론 공명(Electron Cyclotron Resonance : ECR)을 이용해서 플라즈마를 생성하고, 이 생성된 플라즈마에 의해 플라즈마 에칭 처리를 행하는 플라즈마 에칭 장치이다.
- [0018] 처리실(101)에는 진공 배기(110)를 통해서 진공 배기 장치(도시하지 않음)가 접속되어 있다. 또한, 처리실(101)의 상부에는 샤워 플레이트(102) 및 창부(103)가 배치되어 있다. 샤워 플레이트(102)는 구멍을 가지며 재질은 예를 들면 석영이다. 가스 공급 기구(124)로부터 공급되는 플라즈마 에칭 처리용의 가스를 샤워 플레이트의 구멍을 통해서 처리실(101) 내에 도입한다. 샤워 플레이트(102) 위에는 창부(103)가 배치되며, 창부(103)와 의 사이에 가스 공급용의 간극이 설치되어 있다. 창부(103)는 위쪽으로부터의 전자파를 투과시키고 처리실(101)의 위쪽을 기밀(氣密)하게 밀봉한다. 창부(103)는 재질로서 유전체, 예를 들면 석영을 이용한다.
- [0019] 창부(103) 위에는 공동 공진부(104)가 배치되어 있다. 공동 공진부(104)의 상부는 개구되어 있으며, 수직 방향으로 연장되는 수직 도파관과 전자파의 방향을 90도 굽히는 코너를 겸한 도파관 변환기로 이루어지는 도파관(105)이 접속되어 있다. 도파관(105) 등은 전자파를 전파하는 발진 도파관이며, 도파관(105)의 단부에는 제 1 고주파 전원인 플라즈마 생성용 고주파 전원(106)이 접속되어 있다.
- [0020] 플라즈마 생성용 고주파 전원(106)은 플라즈마 생성용 전자파를 발생시키기 위한 전원이며, 제어부(122)로부터의 제어에 의거해서 전자파를 발생시킨다. 전자파의 주파수로서 본 실시예에서는 2.45GHz의 마이크로파를 이용한다. 플라즈마 생성용 고주파 전원(106)으로부터 발생된 전자파는 도파관(105)에서 전파되어 공동 공진부(104), 창부(103), 샤워 플레이트(102)를 경유해서 처리실(101) 내에 전파된다. 처리실(101)의 외주에는 자장 발생 코일(107)이 배치되어 있다. 자장 발생 코일(107)은 처리실(101)에 자장을 형성한다. 플라즈마 생성용 고주파 전원(106)으로부터 발진된 전력은 자장 발생 코일(107)에 의해 형성된 자장과 상호 작용에 의해 처리실(101) 내에 고밀도 플라즈마를 생성한다.
- [0021] 처리실(101)의 아래쪽에는 창부(103)에 대향해서 시료대(108)가 배치되어 있다. 시료대(108)는 시료인 피처리 기관(109)을 상면에 재치해서 유지한다. 또한, 도파관(105), 처리실(101), 시료대(108) 및 피처리 기관(109)의

중심축은 일치해 있다. 시료대(108)는 재질로서는 알루미늄이나 티타늄으로 이루어진다. 시료대(108)의 일부인 상면에는 도전체막(123)을 갖는다. 또, 시료대(108)의 도전체막(123)의 상면에는 알루미늄 세라믹스 등에 의한 도시하지 않는 용사막(溶射膜)이 배치되어 있다.

[0022] 또한, 시료대(108) 내부에는 피처리 기관(109)을 정전 흡착하기 위한 전극이 있으며, 직류 전압을 인가하는 것에 의해 피처리 기관(109)을 정전 흡착한다. 또한 시료대(108)에는 제 1 RF 바이어스 전원(111)과 제 2 RF 바이어스 전원(112)으로부터 각각 고주파 전압이 인가된다. 또, 제 3 고주파 전원인 제 2 RF 바이어스 전원(112)은 제 2 고주파 전원인 제 1 RF 바이어스 전원(111)의 주파수보다 높은 주파수의 고주파 전압을 시료대(108)에 인가하고, 제 2 RF 바이어스 전원(112)의 주파수는 제 1 RF 바이어스 전원(111)의 주파수에 대해서 N(2 이상의 정수)배의 주파수이다. 또, 제 2 RF 바이어스 전원의 주파수는 후술하는 예칭 레이트 면내 분포 제어의 관점에서 1MHz 이상으로 하는 것이 바람직하다.

[0023] 또한 제 1 고주파 바이어스 전원(111) 및 제 2 고주파 바이어스 전원(112)의 각각은, 발진하는 중심의 주파수에 대해서 다소 폭을 가진 주파수 영역으로 발진할 수 있지만, 제 1 고주파 바이어스 전원(111)의 최종적인 주파수는 펄스 컨트롤러(117) 내의 저주파수측 펄서(119)로부터의 신호에 의해 결정되고, 제 2 고주파 바이어스 전원(112)의 최종적인 주파수는 고주파측원 펄서(120)로부터의 신호로 결정된다. 또한, 고주파 바이어스의 최소 주파수는 지나치게 낮으면 데미지가 발생하기 때문에 100kHz 이상으로 하고, 최대 주파수는 플라즈마 생성하는 주파수보다는 낮은 것이 필요하기 때문에 약 13.56MHz 이하로 했다.

[0024] 또한, 제 1 고주파 바이어스 전원(111)은 저주파수측 매칭 박스(113)에 의해 정합이 취해지고, 제 2 고주파 바이어스 전원(112)은 고주파수측 매칭 박스(114)에 의해 정합이 취해져 있다. 또, 저주파수측 매칭 박스(113)의 시료대(108)측에는 로우 패스 필터(115)가 접속되고, 고주파수측 매칭 박스(114)의 시료대(108)측에는 하이 패스 필터(116)가 접속되어 있으며, 제 1 고주파 바이어스 전원(111) 및 제 2 고주파 바이어스 전원(112)의 각각으로부터의 상호 간섭을 필터링하고 있다. 또한 제 1 고주파 바이어스 전원(111) 및 제 2 고주파 바이어스 전원(112)의 각각으로부터 인가되어 중첩된 전압을 모니터링하기 위하여, 시료대(108) 내부의 도전체막(123)의 전압을 전압 모니터(121)로부터 모니터링하고 있다.

[0025] 진술한 플라즈마 처리 장치에 있어서의 플라즈마 처리의 개요는 이하와 같다.

[0026] 웨이퍼 등의 피처리 기관(109)은 처리실(101) 내에 반송되어 시료대(108)의 도전체막(123) 상에 재치된다. 그리고, 재치된 피처리 기관(109)은, 직류 전원에 의해서 인가된 직류 전압에 의해 발생하는 정전기력에 의해서 시료대(108) 상의 소정 위치에 정전 흡착되어 유지된다. 그 후, 내부가 감압된 진공 상태의 처리실(101)에는 가스 공급 기구(124)로부터 플라즈마 예칭 처리용의 가스가 도시하지 않는 매스플로우 컨트롤러를 통해서 공급된다.

[0027] 그리고, 당해 가스는 창부(103)와 샤워 플레이트(102)의 간극을 통과해서 샤워 플레이트(102)의 구멍으로부터 처리실(101) 내에 도입된다. 진공 배기 장치를 제어하면서 처리실(101) 내를 소정의 압력으로 제어한다. 그 후, 플라즈마 생성용 고주파 전원(106)으로부터 전자파를 발진시키고, 진공 상태의 처리실(101) 내에 전송된 전자파와 자장 발생 코일(107)에 의해 형성된 자장의 상호 작용에 의해, 처리실(101) 내에 플라즈마를 생성시킨다.

[0028] 그리고 플라즈마 착화와 동시에 제어부(122)의 제어에 의해, 처리실(101) 내의 시료대(108)에 제 1 고주파 바이어스 전원(111)과 제 2 고주파 바이어스 전원(112)의 각각으로부터 고주파 전압을 인가한다. 이 두 고주파 바이어스 전원으로부터의 각각의 고주파 전압을 중첩시킨 고주파 바이어스 전압에 의해, 플라즈마로부터 피처리 기관(109)으로 이온을 끌어들이는 작용이 생긴다. 이들에 의해 피처리 기관(109)의 상면에 대해서 플라즈마 예칭 처리가 행해진다. 이때, 가스나 예칭에 의해 발생한 반응 생성물은 처리실(101)의 하부의 진공 배기구(110)를 통해서 배기된다.

[0029] 다음으로 고주파측 펄서(120)와 저주파수측 펄서(119)와 위상 쉬프터(118)를 구비하는 펄스 컨트롤러(117)에 의한 시료대(108)에의 고주파 전압의 인가에 대하여 도 2를 이용해서 설명한다.

[0030] 제 1 고주파 바이어스 전원(111) 및 제 2 고주파 바이어스(112)로부터 각각 시료대(108)에 고주파 전압을 인가할 때, 고주파수측 펄서(120)로부터 직사각형 파형의 신호(201)와 저주파수측 펄서(119)로부터 직사각형 파형의 신호(203)가 각각 출력되고 있다. 또한, 신호(201)와 신호(203)의 주파수비는 N(2 이상의 정수)배로 되어 있고, 도 2의 (a)에 나타내는 바와 같이 저주파수측 펄서(119)의 출력과 고주파수측 펄서(120)의 출력의 개시가 동시에 되는 위상차 0도의 상태에서 출력되고 있다.

- [0031] 다음으로 고주파수측 펄서(120)로부터의 점선으로 나타내는 신호(201)는, 도 2의 (a)에 나타내는 바와 같이 위상 쉬프터(118)를 경유하는 것에 의해 저주파측의 신호(203)에 대해서  $\theta$ 의 위상 지연이 생겨, 신호(201)는 고주파측의 신호(202)로 되어 저주파측의 신호(203)와 위상차 $\theta$ 를 형성한다. 또, 위상 쉬프터(118)에 의한 위상차 $\theta$ 는 후술하는 전압 모니터링값에 의해 산출하고 보정 제어한 것이 제어부(122)로부터 출력된다.
- [0032] 저주파측의 신호(203)가 제 1 고주파 바이어스 전원(111)에 송신되고, 제 1 고주파 바이어스 전원(111)은, 도 2의 (b)와 같은 저주파측의 신호(203)의 1펄스의 개시에 대해서 1주기의 대략 정현파의 고주파 전력(205)을 시료대(108)에 인가한다. 또한, 고주파측의 신호(201)가 제 2 고주파 바이어스 전원(112)에 송신되고, 제 2 고주파 바이어스 전원(112)은, 도 2의 (b)와 같은 고주파측의 신호(201)의 1펄스의 개시에 대해서 1주기의 대략 정현파의 고주파 전력(204)을 시료대(108)에 인가한다.
- [0033] 다음으로 제 1 고주파 바이어스 전원(111)으로부터 저주파수측 매칭 박스(113) 및 로우 패스 필터(115)를 경유해서 인가된 고주파 전압과 제 2 고주파 바이어스 전원(112)으로부터 고주파수측 매칭 박스(114) 및 하이 패스 필터(116)를 경유해서 인가된 고주파 전압은 전력 공급 선로(124)에서 결합된다. 이 결합된 고주파 전압이 시료대(108)에 인가되는 것에 의해, 제 1 고주파 바이어스 전원(111)으로부터 인가되는 고주파 전압과 제 2 고주파 바이어스 전원(112)으로부터 인가되는 고주파 전압이 중첩되어, 도 2의 (c)에 나타내는 바와 같은 파형(206)의 고주파 전압이 시료대(108)에 인가된다.
- [0034] 파형(206)이 중첩된 고주파 전압은 전압 모니터(121)에 의해 검출된다. 또, 전압 모니터(121)는 A/D 변환기 등에 의해 구성되며 고시간분해능(高時間分解能)이다. 또한, 전압 모니터(121)는, 중첩된 고주파 바이어스의 전압, 중첩된 고주파 바이어스의 파형(206), 중첩된 고주파 바이어스의 피크 간 전압( $V_{pp}$ )값 및 중첩된 고주파 바이어스의 전압의 최소값( $V_{min}$ ) 등을 검출한다. 또한 전압 모니터(121)는, 중첩된 고주파 바이어스의 파형을 푸리에 변환해서 저주파수측의 주파수 성분의 피크 간 전압( $V_{pp}$ ), 고주파수측의 주파수 성분의 피크 간 전압( $V_p$ )도 출력할 수 있는 것이면 바람직하다. 또한, 본 실시에서는, 특히 고주파수측의 고주파 바이어스 전압을 위상 지연 없이 측정할 필요가 있기 때문에, 전극 공급 선로(124)로부터 피처리 기관(109) 또는 플라스마에 가까운 위치인 시료대(108)의 도전체막(123)에 배치하는 것이 바람직하다.
- [0035] 다음으로 고주파 바이어스의 주파수에 의한 에칭 분포 제어성에 대하여 도 14를 이용하면서 설명한다.
- [0036] 플라스마 중의 임피던스와 자장 코일에서 발생하는 자계의 상호 작용에 의해 에칭 레이트 분포는, 예를 들면 고주파 바이어스 전원의 주파수를 수 100kHz로 했을 경우, 도 14의 (a)에 나타내는 바와 같이 중간이 높은 분포(1401)로 된다. 그리고 고주파 바이어스 전원의 주파수를 1~2MHz로 했을 경우, 도 14의 (b)와 같이 약간 바깥쪽이 높은 분포(1402)로 되고, 고주파 바이어스 전원의 주파수를 4MHz로 했을 경우, 도 14의 (c)와 같이 상당히 강한 바깥쪽이 높은 분포(1403)로 된다. 또한 고주파 바이어스 전원의 주파수를 10MHz보다 높은 주파수로 했을 경우, 도 14의 (d)와 같이 플라스마가 시료대의 외측에 생성되기 시작해 에칭 레이트가 극단적으로 저하한 분포(1404)로 되는 바와 같은 극단적인 분포로 되거나, 혹은 에칭이 진행하지 않게 된다.
- [0037] 이러한 각 주파수의 에칭 레이트 분포 특성을 이용해, 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스를 중첩해서 인가하여 에칭 레이트 분포가 평탄해지도록 저주파수측 고주파 바이어스 및 고주파수측 고주파 바이어스의 각각의 주파수를 조정하면 균일성이 좋은 에칭 처리가 가능하게 되어 있다. 예를 들면, 도 14의 (e)와 같이 저주파수측 고주파 바이어스만을 인가해서 중간이 높은 분포(1405)로 되는 주파수의 저주파수측 고주파 바이어스와 도 14의 (f)와 같이 고주파수측 고주파 바이어스만을 인가해서 바깥쪽이 높은 분포(1406)로 되는 주파수의 고주파수측 고주파 바이어스를 중첩해서 인가하는 것에 의해 도 14의 (g)와 같이 균일한 에칭 레이트 분포(1407)를 얻을 수 있다.
- [0038] 이와 같이 특히 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수를 고정해서 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수만으로 주파수비를 조정하는 편이 원하는 에칭 레이트 분포를 얻기 쉬우므로, 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수를 고정해서 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수만으로 주파수비를 조정하는 편이 바람직하다.
- [0039] 다음으로 에칭 레이트 분포, 선택비 분포 및 형상 분포의 관계에 대하여 도 15를 이용하면서 설명한다. 또, 도 15의 (a)는 에칭 레이트 분포를 나타내고, 도 15의 (b)는 선택비 분포를 나타낸다. 또한, 도 16은 형상 분포를 나타낸다.
- [0040] 저주파수측 고주파 바이어스 단독, 즉 종래의 1개의 고주파 바이어스 전원만으로 인가했을 때의 에칭 레이트 분포는 중간이 높은 분포(1501)로 되고, 선택비는 반대로 바깥쪽이 높은 분포(1503)로 되어 웨이퍼 중심부의 선택비가 나빠지는 경향이 있다. 그 결과, 도 16의 (a)에 나타내는 바와 같이 웨이퍼 중심부와 외주부의 형상은 각

각 1606, 1607과 같아져, 마스크, 피에칭막 모두 면내 균일해지도록 조정할 필요가 있다.

[0041] 이것에 대응해서 저주파수측과 고주파수측의 고주파 바이어스의 주파수를 각각 조정해서 에칭 레이트를 균일한 분포(1502)로 했을 경우, 선택비의 분포는 1504와 같이 중간이 높은 분포로 되어 외주부의 선택비가 크게 악화된다. 그 결과, 도 16의 (b)에 나타내는 바와 같이 웨이퍼 중심부와 외주부의 형상은 각각 1608, 1609로 되어 마스크의 높이를 조정할 필요가 생긴다. 또, 이 경우에 있어서의 두 고주파 바이어스의 위상차는 무조정으로 했다.

[0042] 다음으로 저주파수측과 고주파수측의 고주파 바이어스의 주파수를 각각 조정함과 함께 두 고주파 바이어스의 위상차를 중첩된 전압의 피크 간 전압이 최소로 되도록 조정했을 경우, 외주부의 선택비의 악화를 억제할 수 있어 에칭 레이트 분포(1502)와 선택비의 분포(1505)를 대략 같게 할 수 있었다. 이 때문에, 웨이퍼 중심부와 외주부의 형상은 도 16의 (c)에 나타내는 바와 같이 각각 1610, 1611을 거의 같게 하는 것이 가능해졌다.

[0043] 다음으로 다른 두 주파수의 바이어스를 중첩해서 인가했을 경우에 시료대(108)에 인가된 전압의 피크 간 전압(Vpp)과 시스 전압의 관계를 도 3에 나타낸다. 도 3의 301은, 다른 두 주파수의 바이어스를 중첩해서 인가했을 경우에 시료대(108)에 인가된 고주파 전압의 전압 모니터(121)에 의한 모니터링값을 나타낸다. 여기에서, 전압 모니터(121)에 의해 모니터링된 전압값과 웨이퍼 표면 전위는 시료대(108) 표면의 용사막의 정전 용량의 영향을 받아 조금 다르지만, 모니터링된 전압값으로서 웨이퍼 전위를 대용(代用)해도 문제 없는 레벨이기 때문에, 모니터링된 전압값으로서 웨이퍼 전위를 대용했다. 또한, 도 3의 302는 플라즈마의 공간 전위를 나타낸다.

[0044] 본 발명자들의 실험과 검토의 결과, 각 고주파 바이어스 전원의 주파수가 400kHz~4MHz의 범위이고, 웨이퍼 전위의 변화에 대해서 이온의 에너지가 추수(追隨)할 수 있는 주파수 영역에 있어서는, 전압 모니터(121)의 전압 파형(301)을 이용해서 웨이퍼 전위, 플라즈마 공간 전위(502) 및 시스 전압을 개산(概算)할 수 있고, 그 시스 전압의 크기에 따라 웨이퍼에 입사하는 이온의 에너지를 대략 결정할 수 있다. 또한, 전압 모니터(121)에 의해 모니터링된 전압(501)의 진폭의 최대값으로부터 최소값까지의 차인 Vpp, 혹은 전압 모니터(121)에 의해 모니터링된 전압의 최소값인 VMIN과 선택비 사이에 역상관이 있는 것을 알아냈다. 이것은, 전압 모니터(121)에 의해 모니터링된 전압(301)의 Vpp를 최소로 되도록 위상차를 제어하는 것에 의해 선택비를 개선할 수 있는 것을 의미한다.

[0045] 표 1은 두 고주파 바이어스를 저주파수측 고주파 바이어스와 저주파수의 2 이상의 정수배의 주파수인 고주파수측 고주파 바이어스를 중첩해서 인가했을 경우에 있어서의, 전압 모니터(121)에 의해 모니터링된 전압의 Vpp가 최소로 되는 바람직한 위상차를 나타낸 것이다. 또, 간단히 시뮬레이션하기 위하여 각 고주파 바이어스 파형은 완전한 정현파로 하며, 또한 각각의 Vpp는 같은 것으로 하고 있다.

[표 1]

| 조건 | 고주파 바이어스                |                  | 고주파측/저주파측<br>위상차(도) | 제어 방법               |
|----|-------------------------|------------------|---------------------|---------------------|
|    | 저주파수측<br>주파수(HZ)        | 고주파수측<br>주파수(HZ) |                     |                     |
| 1  | F                       | (4N) × F         | 270                 | VPP 최소이고<br>VMIN 최대 |
|    | 주파수비 1:4, 1:8, 1:12, .. |                  | 고주파측 지연             |                     |
| 2  | F                       | (4N+1) × F       | 180                 | VPP 최소              |
|    | 주파수비 1:5, 1:9, 1:13, .. |                  | 고주파측 지연             |                     |
| 3  | F                       | (4N-2) × F       | 90                  | VPP 최소이고<br>VMIN 최대 |
|    | 주파수비 1:2, 1:6, 1:10, .. |                  | 고주파측 지연             |                     |
| 4  | F                       | (4N-1) × F       | 0                   | VPP 최소              |
|    | 주파수비 1:3, 1:8, 1:12, .. |                  | 위상차 없음              |                     |

[0047]

[0048] 표 1에 나타내는 바와 같이 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N일 경우, Vpp가 최소이며 VMIN이 최대로 되는 위상차는 270도이고, 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N+1일 경우, Vpp가 최소로 되는 위상차는 180이다. 또한, 표 1에 나타내는 바와 같이 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N-2일 경우, Vpp가 최소이며 VMIN이 최대로 되는 위상차는 90도이고, 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N-1일 경우, Vpp가 최소로 되는 위상차는 0도이다. 또, N은 자연수로 한다. 또한, 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N 또는 4N-2, 즉 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 짝수일 경우, Vpp가 최소로 되는 위상차는 0 내지 360도의 범위에 있어서 두 개 존재하기 때문에, 이 두 개 중 VMIN의 절대값(VMIN이 최대)이 작은 쪽을 선택하는 것으로 한다.

- [0049] 다음으로 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N, 4N+1, 4N, 4N-2, 4N-1인 각각의 경우에 있어서의, 저주파수측 고주파 바이어스 전압 파형, 고주파수측 고주파 바이어스 전압 파형 및 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스가 중첩된 전압 파형을 도 4에 나타낸다.
- [0050] 도 4의 (a)는 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N인 경우이고, 파형(401)은 저주파수측 고주파 바이어스 전압 파형을 나타내고, 파형(402 및 403)은 고주파수측 고주파 바이어스 전압 파형을 나타내고, 파형(404)은 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스가 중첩된 전압 파형을 나타낸다. 여기에서, 점선 파형(402)은 고주파수측 바이어스와 저주파수측 바이어스의 초기 위상이 일치해 있는 상태, 이것을 위상차 0도로 한다. 또한, 점선 파형(402)에 대해서 고주파수측 고주파 바이어스를 270도 지연시킨 것이 실선 파형(403)이고 이것을 위상차 270도로 한다.
- [0051] 파형(404)은 저주파수측 고주파 바이어스 전압과 고주파수측 고주파 바이어스 전압의 합과 거의 동등하지만, 자기 바이어스의 효과에 의해 마이너스측으로 쉬프트해 있다. 또한, 이 위상차 270도에서의 파형(404)은, 위상차 0~360도의 범위 내에 있어서 Vpp가 최소로 되는 위상에서 VMIN이 최대로 되어 있으며, 이것이 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4에 있어서 바람직한 파형(404)으로 되어 있다.
- [0052] 도 4의 (b)는, 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N+1인 경우이고, 파형(405)은 고주파수측 고주파 바이어스 전압 파형을 나타내고, 파형(606)은 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스가 중첩된 전압 파형을 나타낸다. 파형(406)은 위상차 180도에 있어서 Vpp가 최소로 되고, 이것이 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 5에 있어서 바람직한 파형(406)으로 되어 있다.
- [0053] 도 4의 (c)는, 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N-2인 경우이고, 파형(407)은 고주파수측 고주파 바이어스 전압 파형을 나타내고, 파형(408)은 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스가 중첩된 전압 파형을 나타낸다. 파형(408)은 위상차 90도에 있어서 Vpp가 최소이며 VMIN이 최대로 되고, 이것이 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 2에 있어서 바람직한 파형(408)으로 되어 있다.
- [0054] 도 4의 (d)는, 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4N-1인 경우이고, 파형(409)은 고주파수측 고주파 바이어스 전압 파형을 나타내고, 파형(410)은 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스가 중첩된 전압 파형을 나타낸다. 파형(410)은 위상차 0도에 있어서 Vpp가 최소로 되고, 이것이 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 3에 있어서 바람직한 파형(410)으로 되어 있다.
- [0055] 도 4의 (a)~(d)에 나타내는 바와 같이 파형(404, 406, 408 및 410)은, 고주파수측 고주파 바이어스의 Vpp와 저주파수측 주파 바이어스의 Vpp의 합에 비해서 작게 되어 있지만, 주파수비가 커질수록 Vpp를 저감하는 효과가 작아진다. 즉, 지나치게 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수비를 크게 하면, 중첩된 전압 파형 및 Vpp는 거의 변하지 않는다. 이 때문에, 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수비는 2 내지 15 이하인 것이 바람직하다.
- [0056] 다음으로 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 5일 경우에 있어서의 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 위상차의 설정 방법에 대하여 도 5를 이용하면서 설명한다. 또한, 도 6은 Vpp 및 VMIN에 대한 위상차 의존성을 나타내며, 곡선(601)은 Vpp에 대한 위상차 의존성을 나타내고, 곡선(602)은 VMIN에 대한 위상차 의존성을 나타낸다.
- [0057] 실제의 예칭에서는, 각각의 매칭 박스에 의한 정합에 따른 고주파 바이어스의 위상의 변화, 로우 패스, 하이 패스 필터 회로에 의한 위상의 변화, 전력 전송 케이블에 의한 지연, 시료대 내부의 구조나 용량에 의한 이송의 변화, 플라스마, 자장의 영향에 의한 위상의 변화 등의 영향을 받는다. 위상 쉬프터(118)로 두 고주파 바이어스의 인가를 제어해도, 위상 쉬프터의 위상 $\theta$ 와 실제의 두 고주파 바이어스의 위상차 사이에 차이가 발생해 있다.
- [0058] 이 때문에, 도 5에 나타내는 바와 같이 위상 쉬프터의 위상차를 제로로 하고, 두 고주파 바이어스의 인가와 함께 위상차를 0도로부터 360도(즉 1주기) 러프하게 스윕해서 도 6에 나타내는 바와 같은 특성 곡선(601)을 얻는다. 또는, 특성 곡선(601)을 미리 데이터베이스화하고 있어도 된다. 그 후, 곡선(603)과 같이 예상되는 위상차(180도)의 -90도로부터 위상차를 플러스로 변화시키면서 전압 모니터의 Vpp가 최소로 될 때까지 Vpp를 조정한다.

- [0059] 도 7은, 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4인 경우에 있어서의 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 위상차의 설정 방법을 나타낸다. 또한, 도 8은, 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4인 경우에 있어서의 Vpp 및 VMIN에 대한 위상차 의존성을 나타내고, 곡선(801)은 Vpp에 대한 위상차 의존성을 나타내고, 곡선(802)은 VMIN에 대한 위상차 의존성을 나타낸다.
- [0060] 도 7에 나타내는 바와 같이 위상 쉬프터의 위상차를 제로로 하고, 두 고주파 바이어스의 인가와 함께 위상차를 0도로부터 360도(즉 1주기) 러프하게 스윙핑해서 도 8에 나타내는 바와 같은 특성 곡선(801)을 얻는다. 또는, 특성 곡선(801)을 미리 데이터베이스화하고 있어도 된다. 그 후, 곡선(803)과 같이 예상되는 위상차(180도)로부터 위상차를 플러스로 변화시키면서 전압 모니터의 Vpp가 최소이며 VMIN이 최대로 될 때까지 Vpp를 조정한다. 또, 도 5의 경우와 달리, Vpp를 조정할 때에 VMIN을 고려한 이유는, 도 8에 나타내는 바와 같이 Vpp가 최소로 되는 위상차가 두 개 존재하기 때문이다. 또한, 주로 Vpp를 최소로 하는 제어를 행한다. 그 종속적인 제어로서 VMIN을 최대로 하는 제어를 가하지만 바람직하다.
- [0061] 도 9는, 플라스마 생성 시에 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스가 중첩되어 인가되고, 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 3인 경우에 대하여 나타낸다. 또한, 도 9의 (a)는, 저주파수측 고주파 바이어스 전압(901 및 902), 고주파수측 고주파 바이어스 전압(903) 및 중첩된 전압(904)을 나타내고, 도 9의 (b)는 Vpp에 대한 위상차 의존성을 나타낸다. 또, 전압 파형(901)은 저주파수측 고주파 바이어스로부터 발진된 전압 파형(정현파)이고, 전압 파형(902)은 플라스마 생성 시의 저주파수측 고주파 바이어스 전압 파형이다. 또한, 곡선(906)은 플라스마가 생성되었을 때의 Vpp에 대한 위상차 의존성을 나타내고, 곡선(905)은 플라스마가 생성되어 있지 않을 때의 Vpp에 대한 위상차 의존성을 나타낸다. 또한 도 9의 (c)는 도 9의 (a)의 파선의 동그라미로 둘러싼 개소를 확대한 도면이다.
- [0062] 도 9의 (a)에 나타내는 바와 같이 플라스마, 시료대 용량, 전송로 등의 영향을 받아서 고주파 바이어스의 파형(902)은 정현파인 파형(901)에 비해서 변형되어 있다. 또, 고주파수측 고주파 바이어스의 파형(903)에 대해서도 변형되지만 변형은 작다. 또한, 그 자신이 두 고주파 바이어스를 중첩시킨 전압 모니터의 파형(904), Vpp 및 Vpp를 최소로 하는 제어에 대해서 영향은 작다.
- [0063] 도 9의 (b)에 나타내는 바와 같이 파형(905)에 있어서의 Vpp가 최소로 되는 위상차는 0도에 대해서 실제의 예칭 조건 시의 특성 곡선인 파형(906)에 있어서의 Vpp가 최소로 되는 위상차는 약 90도이다. 이와 같이 고주파 바이어스의 파형이 어느 정도 변형된 상태에서도 Vpp를 최소로 해서 위상차를 결정할 수 있다.
- [0064] 또한, 도 9의 (c)에 나타내는 바와 같이 저주파수측 고주파 바이어스 전압 파형(907)에 있어서 Vpp가 최소값으로 되는 시간 T1의 전후에 고주파수측 고주파 바이어스 전압 파형(908)에 있어서 Vpp가 최소로 되는 시간 T2 및 T3으로 되도록 위상차를 결정하는 제어가 중요하다.
- [0065] 도 10은 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 4인 경우에 대하여 나타낸다. 또한, 도 10의 (a)는 저주파수측 고주파 바이어스 파형이 정현파인 경우를 나타내고, 도 10의 (b)는 플라스마 생성 시에 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스가 중첩되어 인가된 경우를 나타낸다.
- [0066] 파형(1001 및 1006)은 저주파수측 고주파 바이어스 전압 파형을 나타내고, 파형(1002 및 1007)은 고주파수측 고주파 바이어스 전압 파형을 나타내고, 파형(1003 및 1008)은 저주파수측 고주파 바이어스와 고주파수측 고주파 바이어스가 중첩된 전압 파형을 나타낸다. 또한, 파형(1004 및 1009)은 Vpp에 대한 위상차 의존성을 나타내고, 파형(1005 및 1010)은 VMIN에 대한 위상차 의존성을 나타낸다.
- [0067] 도 10의 (a)와 (b)를 비교하면 Vpp가 최소로 되는 위상차가 다르다. 또한, 파형(1004)에 있어서는 Vpp가 최소로 되는 피크가 두 개이고, 파형(1009)에 있어서는 Vpp가 최소로 되는 피크가 한 개로 되고, 플라스마 생성 시 쪽이 Vpp가 최소로 되는 위상차를 심플하게 개략 제어할 수 있다. 또한, 이 경우에 있어서도 Vpp가 최소로 되는 제어를 주로 함과 함께 종속적으로는 VMIN을 최대로 하는 제어도 필요하다.
- [0068] 전술한 실시예에 있어서 위상 쉬프터(118)가 상시 Vpp가 최소로 되도록 위상차 $\theta$ 를 제어하는 것에 대해서 위상차 $\theta$ 를 시간적으로 변동하는 주기 함수로서 제어하는 방법에 대하여 도 11 및 12를 참조하면서 설명한다. 또한, 도 11은 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수비가 5인 경우이고, 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수가 정수 N배에서 약간 벗어난 경우에 있어서의 중첩된 고주파 바이어스 전압 파형(1101)을 나타낸 것이다. 또한, 고주파수측 고주파 바이어스와 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수가 정수 N배에서 약간 벗어난 경우란, 위상차 $\theta$ 가 시간적으로 변동하는 경우로 환언할

수 있다.

- [0069] 위상차가 시간에 따라 변동하기 때문에, 중첩된 고주파 바이어스 전압 파형은 도 11에 나타내는 바와 같이 시간마다 변화하고, Vpp가 최대 시의 파형(1104)과 Vpp 최소 시의 파형(1105)을 주기적으로 반복한다. 전압 모니터의 Vpp 및 VMIN도 시간적으로 각각 1102, 1103으로 주기적으로 변동한다. 이 주기적인 변동을 제어하지 않으면 피처리 기관(109)의 에칭 처리에 있어서의 선택비의 변동이 생겨, 불안정성이나 기차(機差)를 발생시킬 가능성이 있다. 이 때문에, 이 위상차 변동을 시간적으로 제어하는 것에 의해, 에칭의 면내 분포를 유지한채로 선택비만을 시간적으로 제어하는 것이다.
- [0070] 도 12의 (a), (b)에 나타내는 바와 같이 함수 파형이 파형(1201)인 식 1과 같이 위상차를 제어하는 것에 의해, 초(秒) 오더의 주기로 도 12의 (c)의 파형(1202)의 Vpp, 도 12의 (d)의 파형(1203)의 선택비를 제어할 수 있다.
- [0071]  $\theta(t)=2\pi \times t/T(\text{초}) \cdots (\text{식 } 1)$ , T:(주기)
- [0072] 저주파수측 고주파 바이어스의 주파수가 400kHz, 고주파수측 고주파 바이어스의 주파수가 2MHz+100Hz와 같이 주파수비가 N에서 약간 벗어난 경우, 이때의 Vpp의 변동 주기는 100Hz로도 된다. 이 때문에, 이 변동을 제어하는데 비해서 위상차 $\theta$ 를 시간적으로 변동하는 주기 함수로서 제어하는 편이 제어하기 쉽다.
- [0073] 또한 이 Vpp 및 선택비의 변화에 따라서 도 12의 (f)의 파형(1204)으로 나타내는 바와 같이 처리용 가스에 포함되는 데포 가스의 양이나 비율을 변화시키면 에칭 분포를 유지한 상태에서 선택비 혹은 마스크 귀퉁이 떨어짐을 보정하면서 에칭 처리를 진행할 수 있기 때문에, 도 12의 (g)의 파형(1205)으로 나타내는 바와 같이 CD를 유지하면서, 형상 에칭에 있어서 수직인 형상을 가능하게 하는 효과가 있다. 에칭 처리용 가스 유량이나 처리 압력의 변동을 제어할 경우의 응답 속도는 초 오더이기 때문에, 도 12에 나타내는 제어에 충분히 대응해서 에칭을 실현할 수 있다.
- [0074] 본 실시예에 있어서 전압 모니터(121)는, 시료대(108) 내부 도전체막(123)의 전압을 모니터링하는 예로서 설명했지만, 다른 기능을 갖는 전압 모니터(1301)에 대하여 도 13을 이용하면서 설명한다. 전압 모니터(1301)는, 시료대(108) 내부 도전체막(123)의 전압뿐만 아니라, 저주파수측 매칭(113)의 출구의 전압, 고주파수측 매칭(114)의 출구의 전압을 모니터링할 수 있어, 양 매칭의 출구에 있어서의 위상차를 검출할 수 있는 시스템으로 되어 있다. 또, 도 13에 있어서, 도 1과 같은 부호의 구성은 도 1의 같은 부호의 구성의 기능과 동등하기 때문에 설명을 생략한다.
- [0075] 또한 도 13에 도시되는 플라스마 처리 장치는, 저주파수측 위상 쉬프터(1304), 고주파수측 위상 쉬프터(1303)를 구비하고 있으며, 두 주파수측 고주파 바이어스 전원의 발진 시에서의 위상의 어긋남, 각 매칭 박스에 의한 위상 변화, 전송 선로에 의한 특히 지연 등의 영향에 의거해서 위상차를 제어부(1302)에 의해 제어하는 시스템으로 되어 있다. 이 시스템에 의해, 예를 들면, 도 5에 나타내는 위상차 제어 방법에 있어서, 러프하게 위상차를 스위핑해서 개략의 위상차와 Vpp 특성 등의 데이터를 얻지 않고, 정밀도 높은 위상차 제어가 가능해져, 위상차 제어에 요하는 시간도 단축할 수 있다는 효과가 있다.
- [0076] 이상, 본 발명을 본 실시예에 따라 구체적으로 설명했지만, 본 발명은 본 실시예로 한정되지 않으며, 그 요지를 일탈하지 않는 범위에서 각종 변경이 가능하다. 예를 들면, 고주파 바이어스 전원에 있어서, 저주파수측과 고주파수측의 주파수비를 어느 하나의 고정값으로 할 필요는 없으며, 고주파수측 고주파 바이어스 전원의 발진 가능한 주파수 영역이 광대역이어도 된다. 그때, 주파수비를 예를 들면 1:3뿐만 아니라, 1:4, 1:5 등도 가능해진다. 고주파 바이어스의 주파수에 의해 웨이퍼 면내의 에칭 레이트의 분포를 크게 제어할 수 있는 만큼, 두 고주파 바이어스를 중첩해서 인가했을 경우에 있어서의 균일성의 제어성도 향상된다.
- [0077] 본 실시예의 「Vpp를 최소로 하는 위상차의 제어」에 있어서의 「Vpp의 최소」는, Vpp의 최소값의 일점뿐만 아니라 Vpp의 최소값을 중심으로 해서 전후의 소정의 범위 내의 값도 포함하는 것으로 한다. 또한, 본 실시예의 「VMIN을 최대로 하는 위상차의 제어」에 있어서의 「VMIN의 최대」는, VMIN의 최대값의 일점뿐만 아니라 VMIN의 최대값을 중심으로 해서 전후의 소정의 범위 내의 값도 포함하는 것으로 한다.
- [0078] 또한, 본 발명에 따른 피처리 기관으로 되는 피처리체는 실리콘 산화막에 한하지 않으며, 폴리실리콘막, 포토레지스트막, 반사방지막, 질화실리콘 산화막, 질화실리콘막, Low-k 재료, High-k 재료, 아모퍼스 카본막, 실리콘 기관 등도 적용 가능하다. 또한 본 발명에 따른 처리용의 가스로서는 염소 가스, 브롬화수소 가스, 사불화메탄 가스, 삼불화메탄 가스, 이불화메탄 가스, 아르곤 가스, 헬륨 가스, 산소 가스, 질소 가스, 이산화탄소 가스, 일산화탄소 가스, 수소 가스, 암모니아 가스, 팔불화프로판 가스, 삼불화질소 가스, 육불화황 가스, 메탄 가스,

사불화실리콘 가스, 사염화실리콘 가스 등을 적용 가능할 수 있다.

[0079] 또한, 본 실시예는, 마이크로파 ECR 방전을 이용한 에칭 장치를 이용한 예였지만, 본 발명은 유자장(有磁場) UHF 방전, 용량 결합형 방전, 유도 결합형 방전, 마그네트론 방전 등을 이용한 드라이 에칭 장치도 적용 가능하다. 또한, 본 발명은 마이크로파 ECR 방전을 이용한 에칭 장치 및 그 처리의 경우에 바람직하지만 본 발명은 그에 한하지 않으며, 이온 인입용의 고주파 바이어스 전원을 복수개 구비하고, 다른 두 주파수의 고주파 바이어스를 인가하는 처리 장치에 있어서, 이온 에너지에 의한 선택비와 레이트 분포를 제어하는 처리에 관해서 적용 가능하다.

[0080] 또한, 본 실시예에서는, 위상차를 Vpp가 최소로 되는 위상차로서 규정했지만, 본 발명으로서 위상차를 Vpp가 최대로 되는 위상차로서 규정하거나, 위상차를 Vdc의 절대값이 최대로 되는 위상차로서 규정해도 된다. 또, Vdc는 고주파 바이어스 전압의 0V로부터의 실질적인 침강량이다.

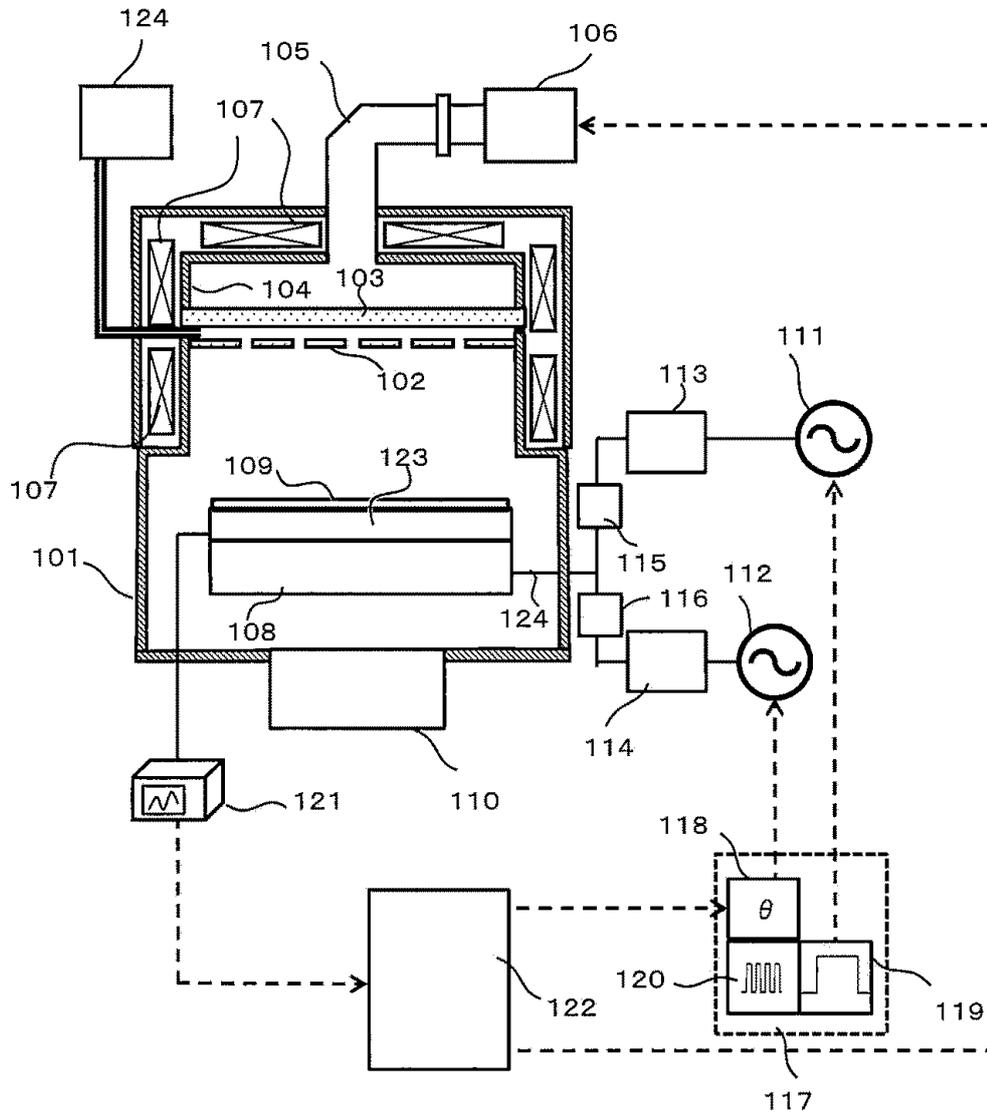
[0081] 예를 들면, 위상차를 Vpp가 최대로 되는 위상차로 규정했을 경우, 에칭 레이트를 빠르게 할 수 있다. 또한, 도 17에 나타내는 바와 같은 특성에 의거해서 위상차를 Vdc의 절대값이 최대로 되는 위상차로서 규정했을 경우, 피처리 기관에 입사하는 이온 에너지의 평균값이 최대로 되기 때문에, 구멍 가공 등의 빠짐성을 향상시킬 수 있다. 즉, 본 발명은, 저주파수측 고주파 바이어스의 위상과 고주파수측 고주파 바이어스의 위상의 위상차가 소정값으로 되도록 상기 위상차를 제어하는 것을 특징으로 한다.

**부호의 설명**

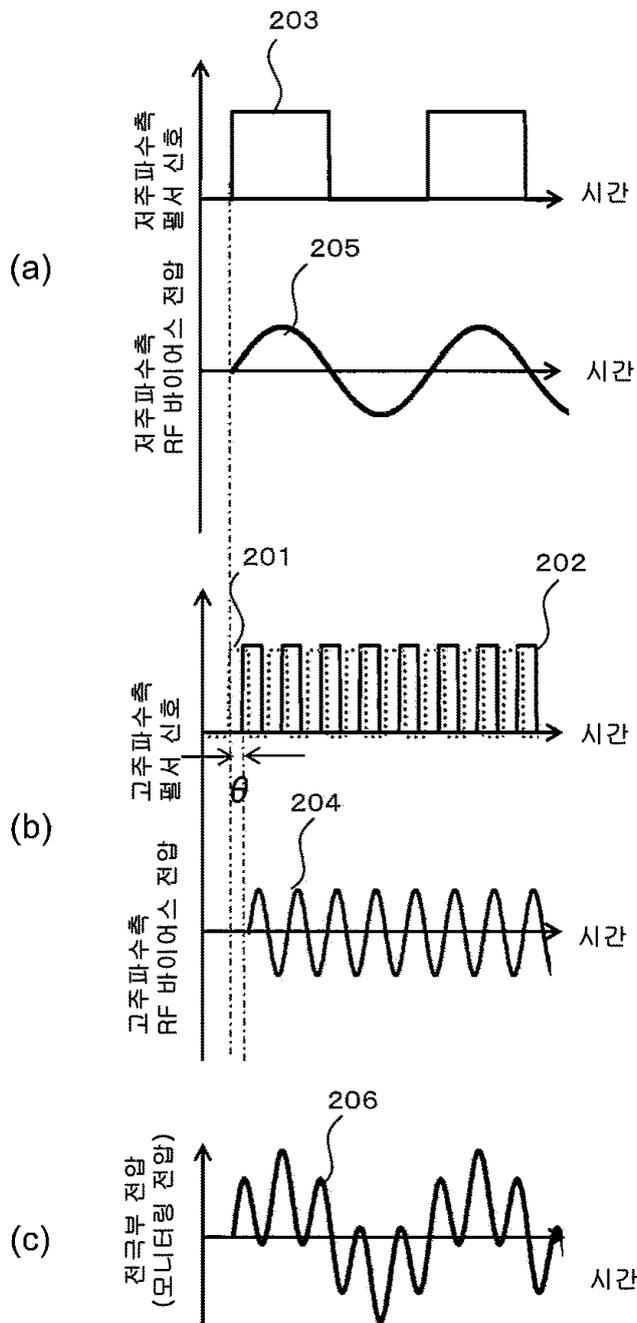
- |        |                       |                       |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| [0082] | 101 : 처리실             | 102 : 샤워 플레이트         |
|        | 103 : 창부              | 104 : 공동 공진부          |
|        | 105 : 도파관             | 106 : 플라스마 생성용 고주파 전원 |
|        | 107 : 자장 발생 코일        | 108 : 시료대             |
|        | 109 : 피처리 기관          | 110 : 진공 배기구          |
|        | 111 : 제 1 고주파 바이어스 전원 | 112 : 제 2 고주파 바이어스 전원 |
|        | 113 : 저주파수측 매칭 박스     | 114 : 고주파수측 매칭 박스     |
|        | 115 : 로우 패스 필터        | 116 : 하이 패스 필터        |
|        | 117 : 펄스 컨트롤러         | 118 : 위상 쉬프터          |
|        | 119 : 저주파수측 펄서        | 120 : 고주파수측 펄서        |
|        | 121 : 전압 모니터          | 122 : 제어부             |
|        | 123 : 도전체막            | 124 : 전력 공급 선로        |
|        | 1501 : 전압 모니터         | 1502 : 제어부            |
|        | 1503 : 고주파수측 위상 쉬프터   | 1504 : 저주파수측 위상 쉬프터   |

도면

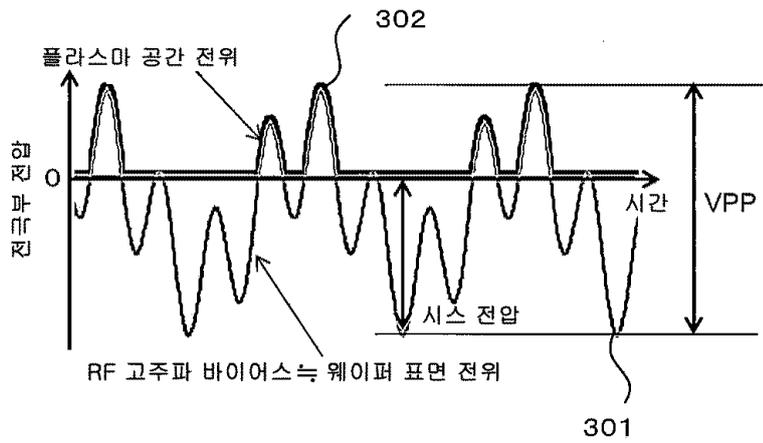
도면1



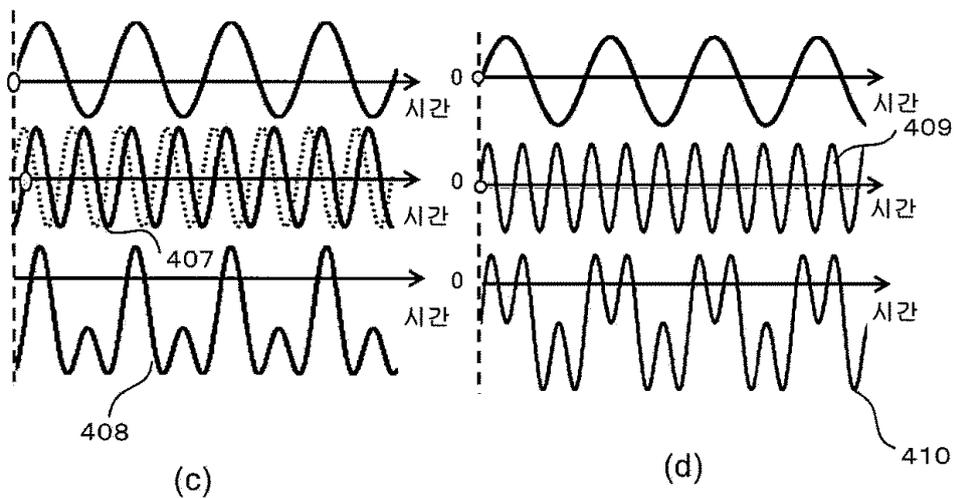
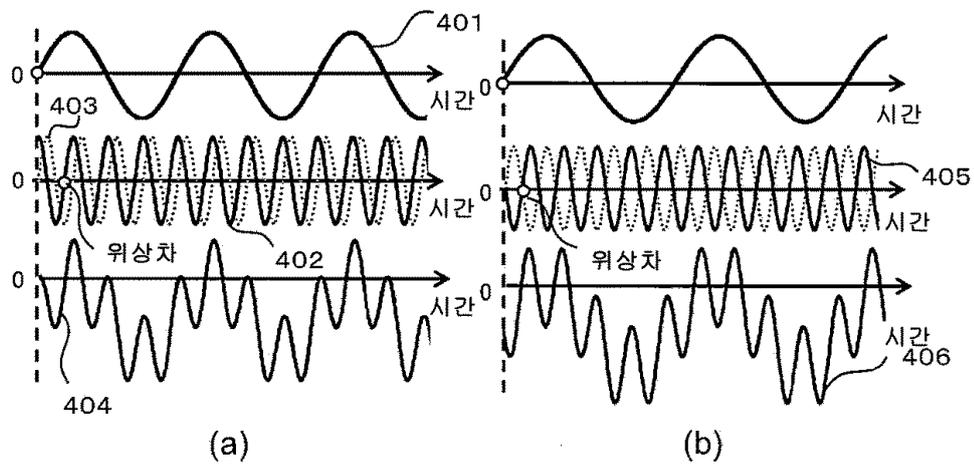
도면2



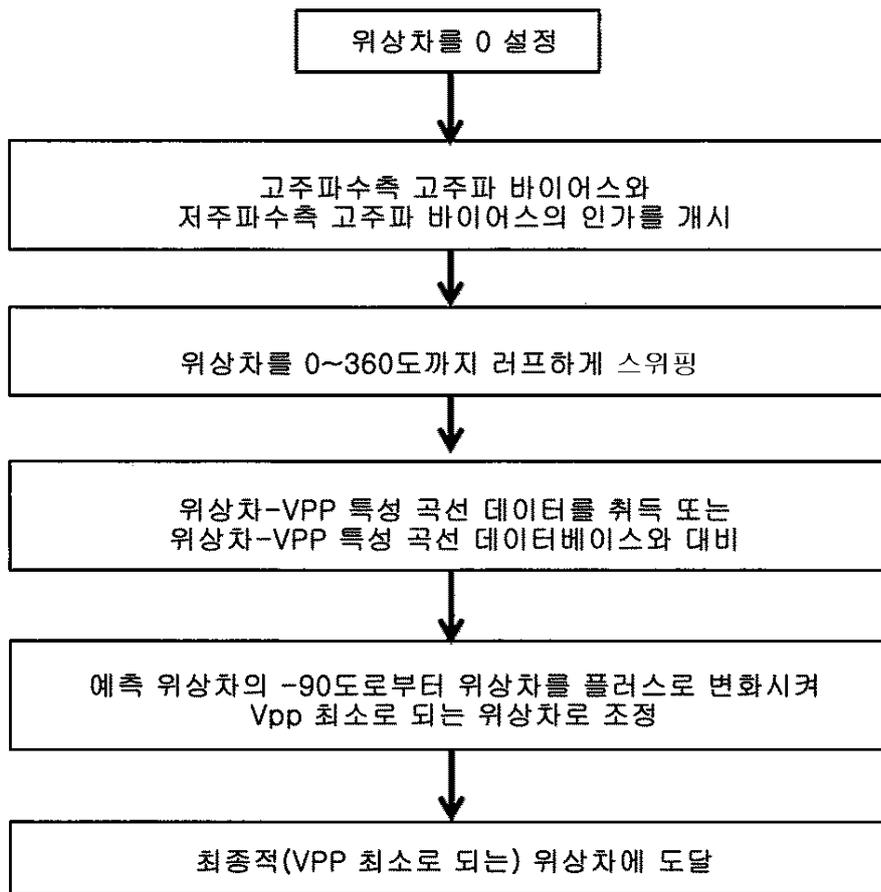
도면3



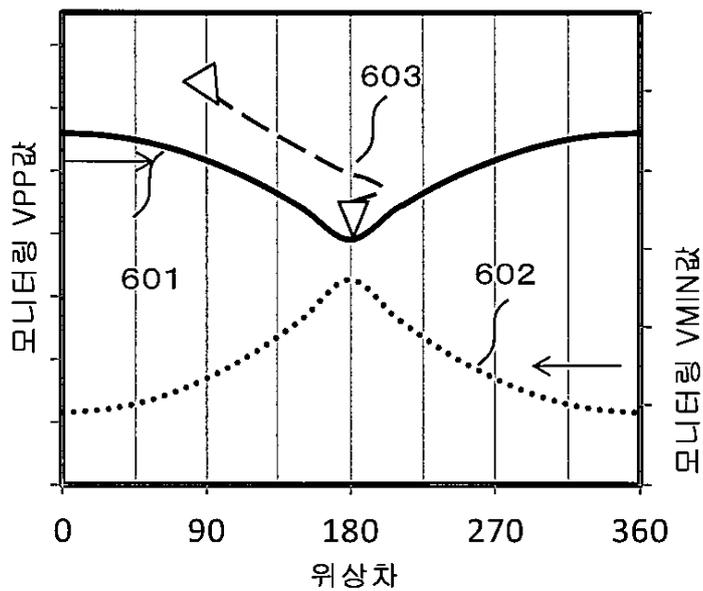
도면4



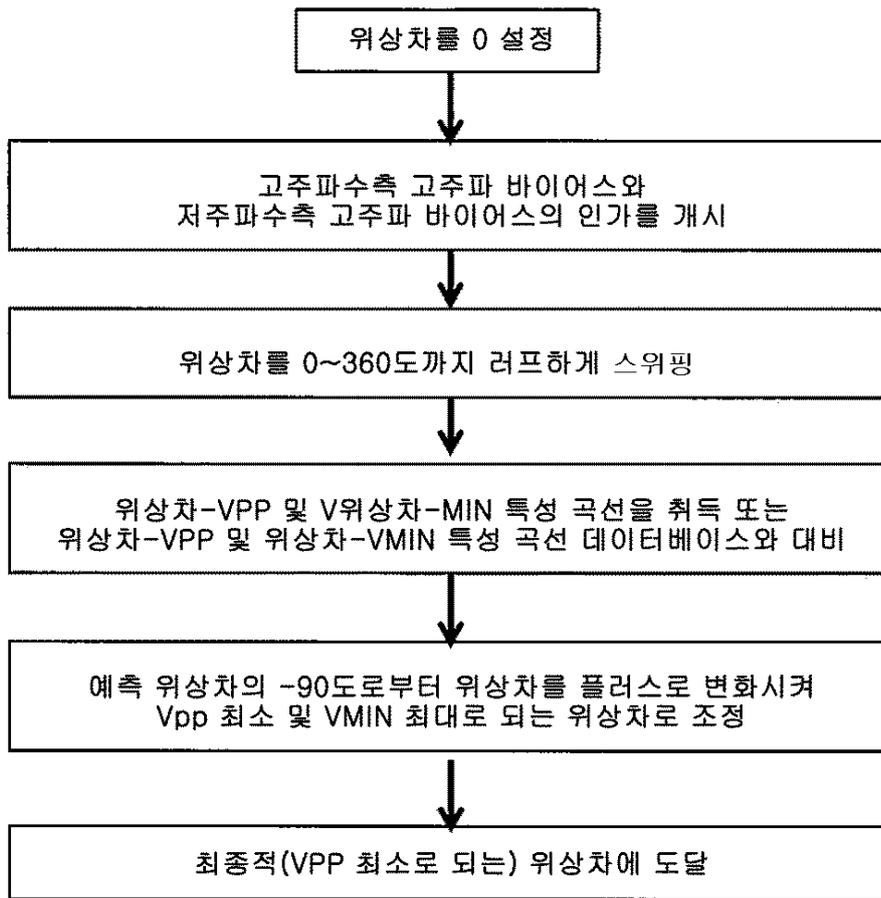
도면5



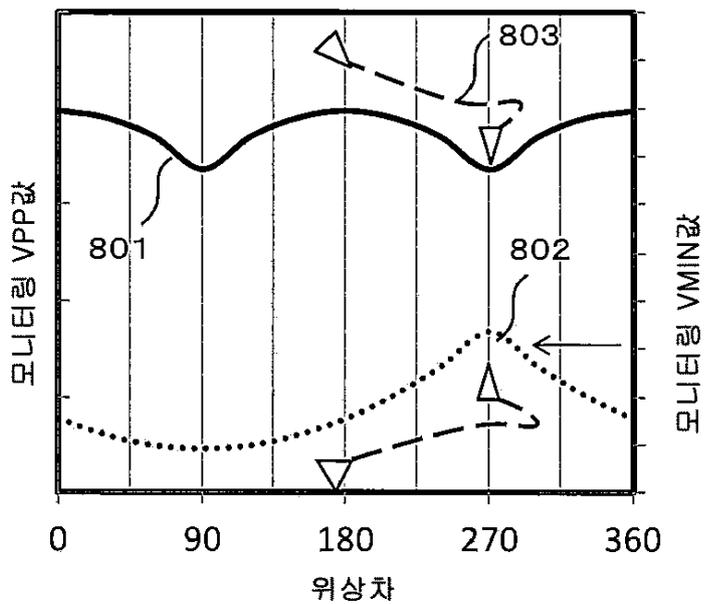
도면6



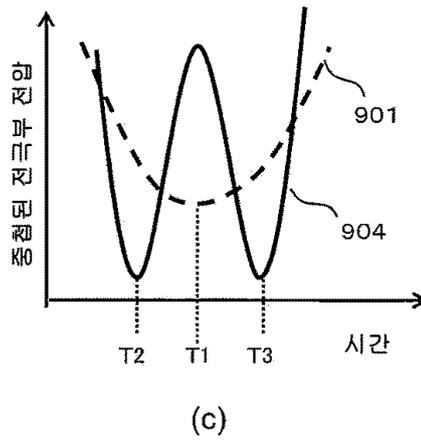
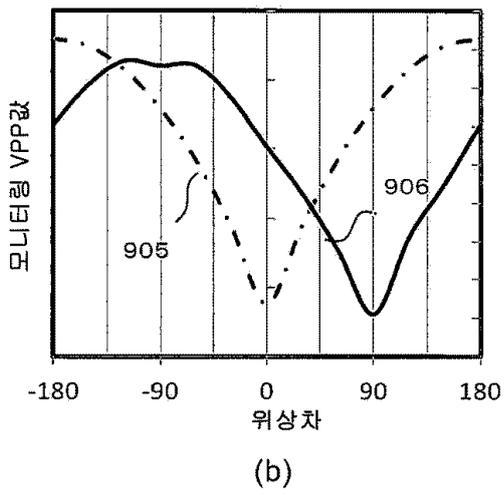
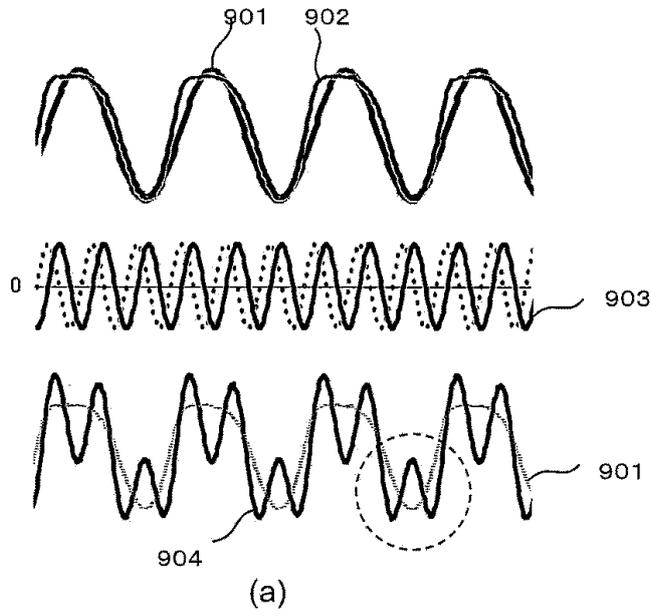
도면7



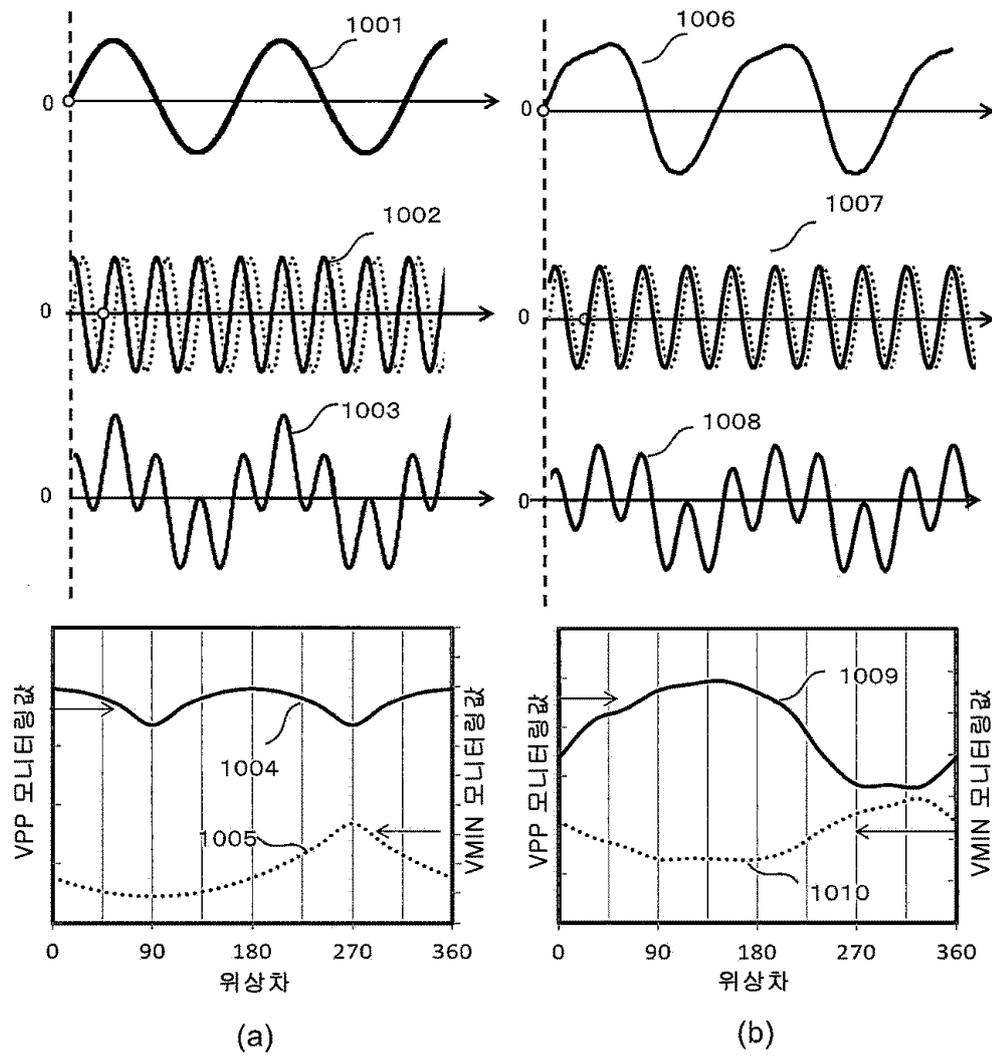
도면8



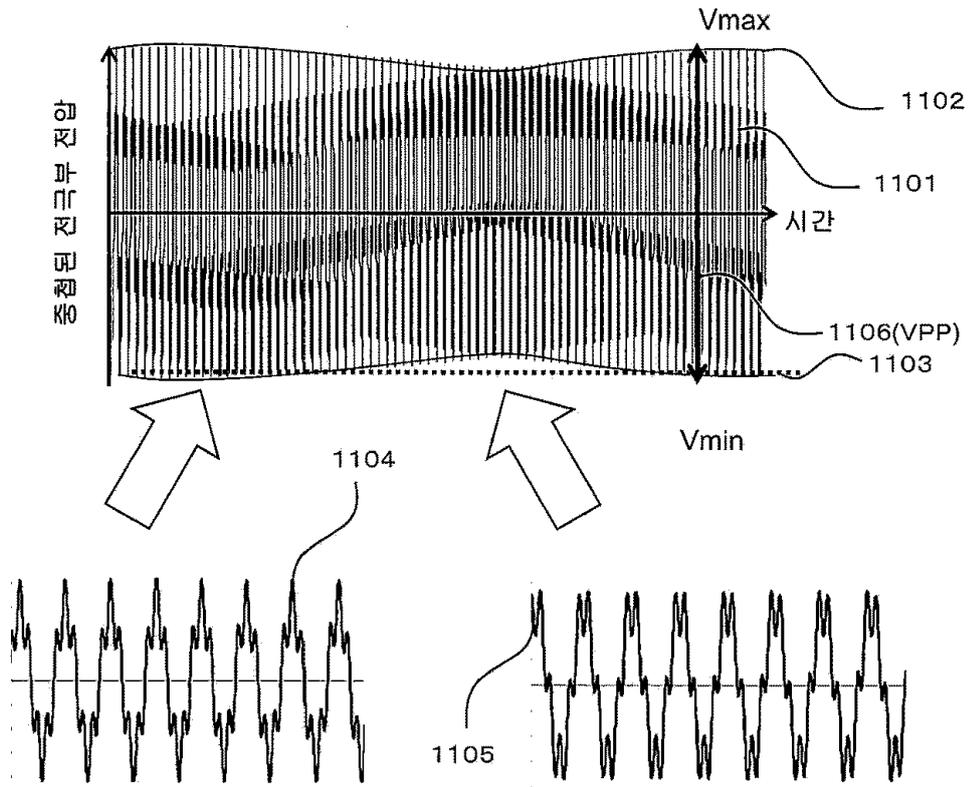
도면9



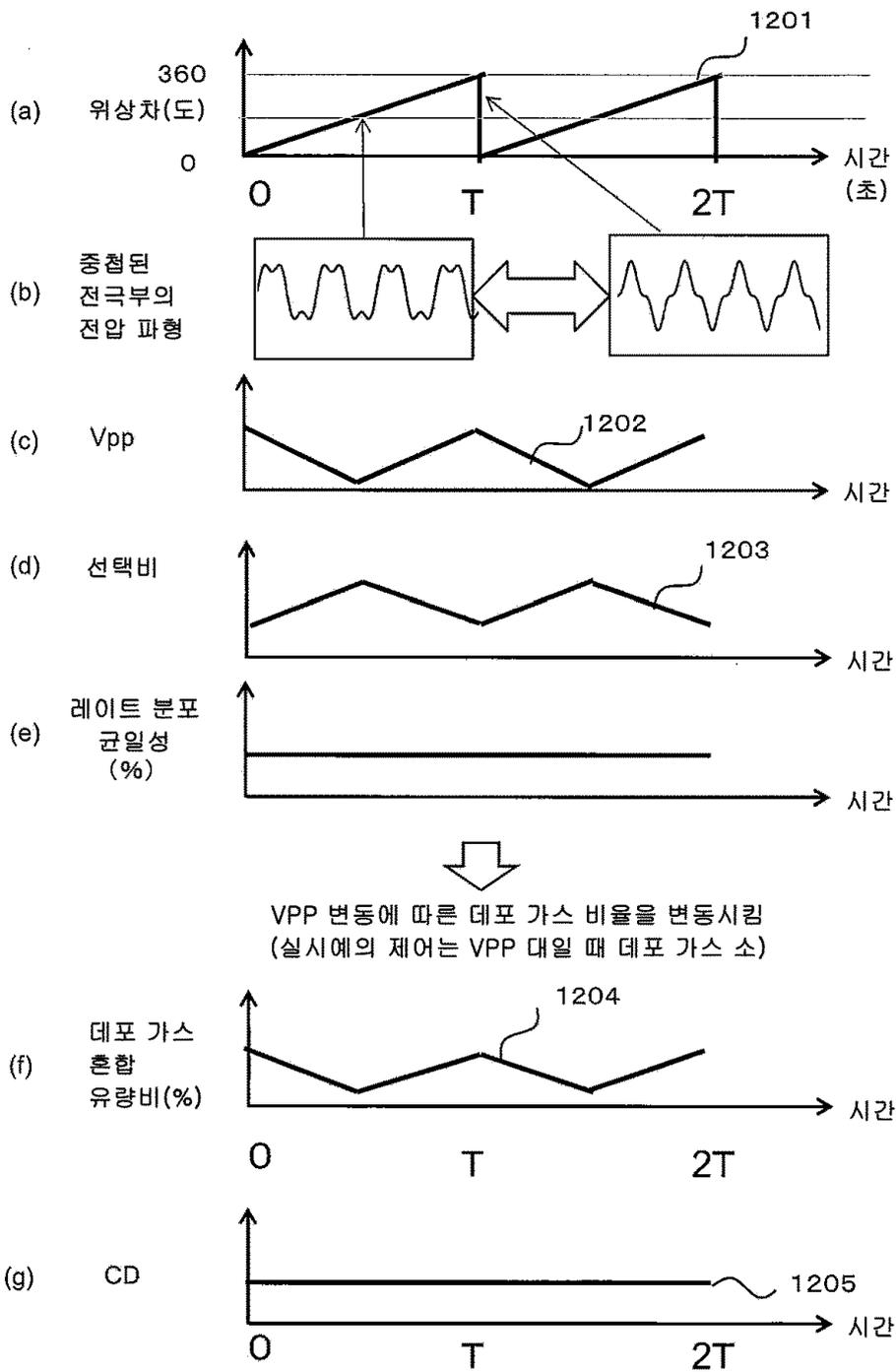
도면10



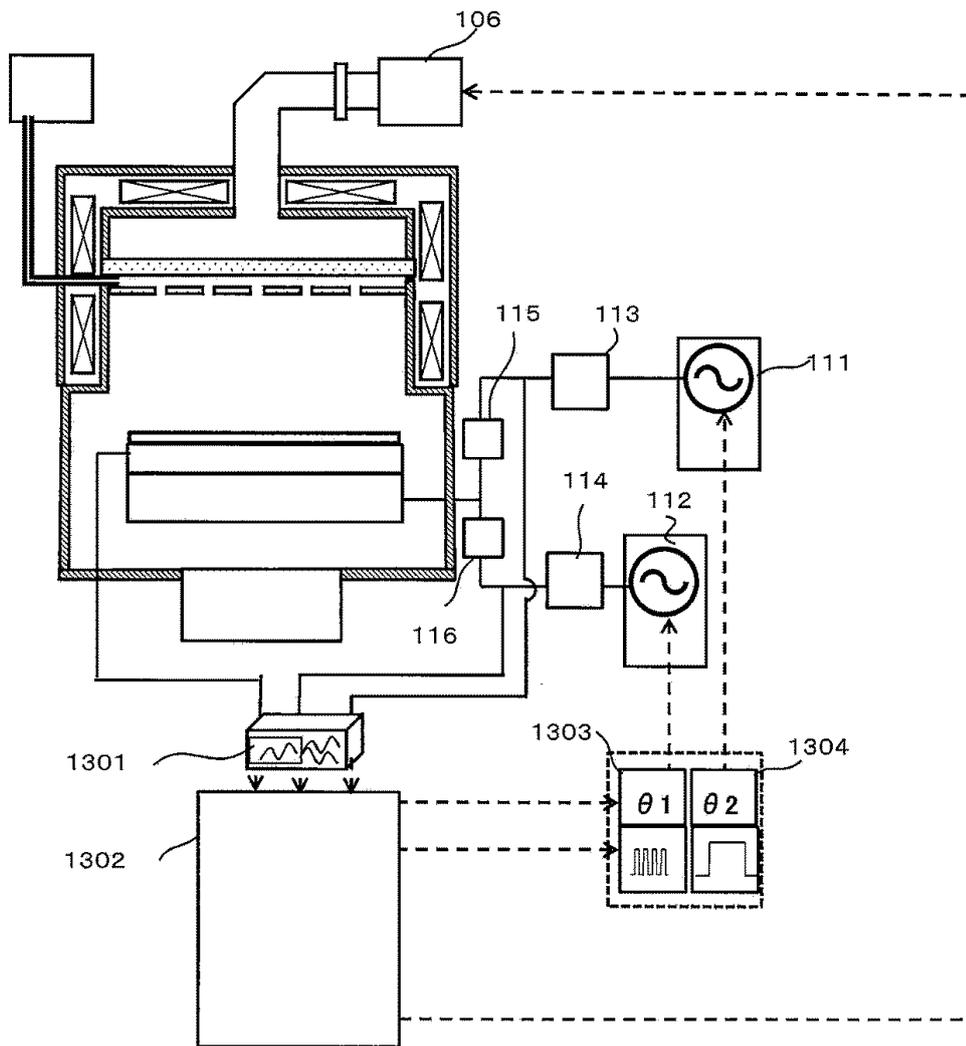
도면11



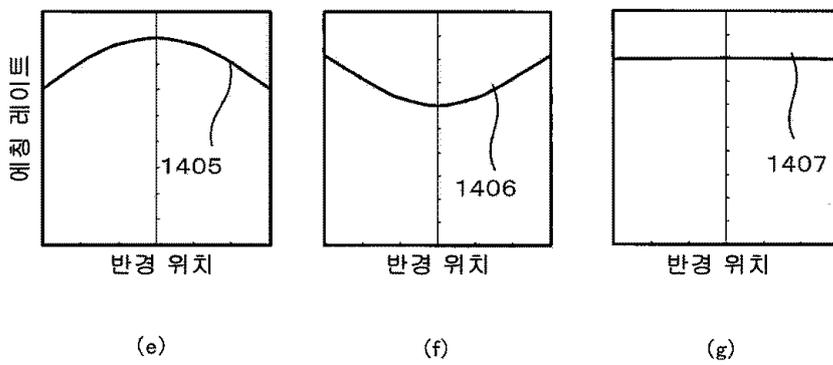
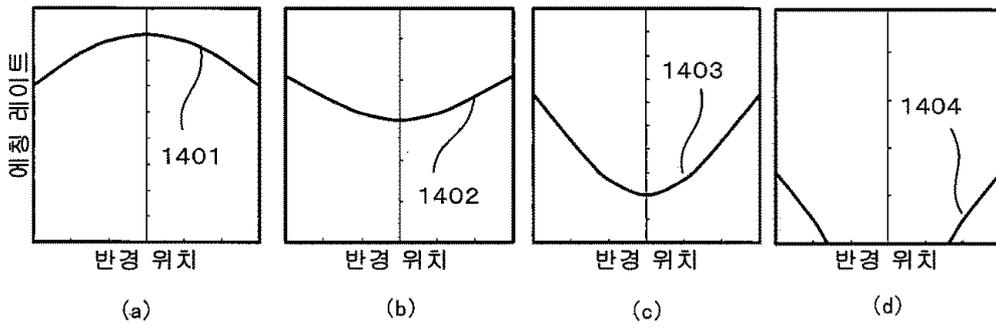
도면12



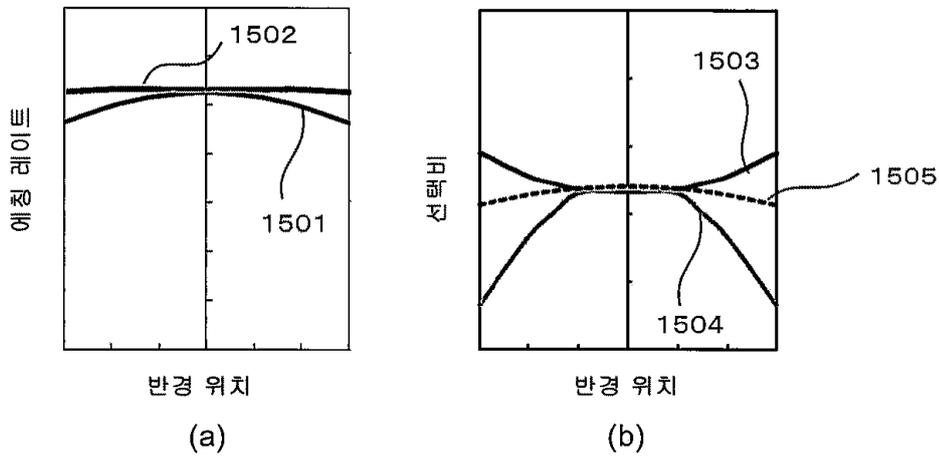
도면13



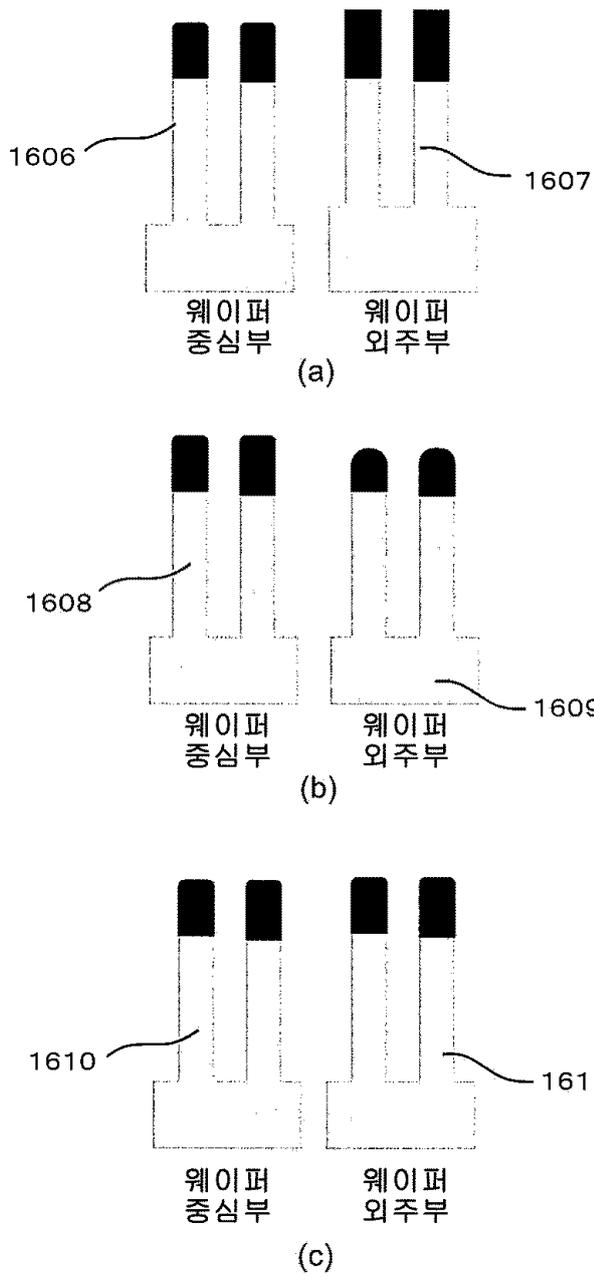
도면14



도면15



도면16



도면17

