



(52) CPC특허분류

*H01J 37/32256* (2013.01)  
*H05H 1/46* (2013.01)  
*H05H 2001/4622* (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

US20080231380 A1\*  
JP2007082172 A  
JP05299024 A  
JP05144381 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

플라즈마를 이용하여 피처리 대상물에 처리를 행하는 플라즈마 처리 장치로서,

그 내부에서 플라즈마에 의한 처리를 행하는 처리 용기와,

상기 처리 용기 밖에 배치되어 고주파를 발생시키는 고주파 발생기를 포함하고, 상기 고주파 발생기에 의해 발생시킨 고주파를 이용하여 상기 처리 용기 내에 플라즈마를 발생시키는 플라즈마 발생 기구를 구비하며,

상기 고주파 발생기는, 고주파를 발진하는 고주파 발진기와, 상기 고주파 발진기에 전력을 공급하는 전원부와, 상기 고주파 발진기에 의해 발진된 고주파를 부하측이 되는 상기 처리 용기측에 전파하는 도파로와, 고주파에 의해 상기 도파로 내에 형성되는 전압 정재파의 전압 정재파비를 상기 전원부로부터 공급되는 전력에 따라 가변으로 하는 전압 정재파비 가변 기구를 포함하고,

상기 전압 정재파비 가변 기구는 또한, 상기 전원부로부터 상기 고주파 발진기에 공급되는 전력이 미리 정해진 값보다 낮으면, 상기 전압 정재파비를 높게 하도록 제어를 수행하도록 구성되어, 상기 고주파 발진기의 기본 주파수 파형에서, 상기 기본 주파수 파형의 피크(peak)의 경사가 증가되고 상기 기본 주파수 파형의 피크의 스커트(skirt) 영역이 감소되는 것인, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 2**

제1항에 있어서, 상기 전압 정재파비 가변 기구는, 상기 도파로에 설치되며, 직경 방향으로 가동하는 막대형 부재를 갖는 스테브 기구와, 상기 막대형 부재를 가동시키는 드라이버와, 상기 막대형 부재의 가동을 제어하는 제어 기구를 구비하는 것인 플라즈마 처리 장치.

**청구항 3**

제2항에 있어서, 상기 막대형 부재는, 상기 고주파가 진행되는 방향으로 간격을 두고 복수 설치되는 것인 플라즈마 처리 장치.

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

제2항 또는 제3항에 있어서, 상기 고주파 발생기는, 상기 도파로 내에 설치되며, 상기 도파로 내를 진행하는 진행파 및 상기 부하측으로부터의 반사파의 일부를 분기하는 방향성 결합기를 포함하고,

상기 제어 기구는, 상기 방향성 결합기로부터 얻어진 진행파 전력 신호 및 반사파 전력 신호를 기초로, 상기 스테브 기구의 가동을 제어하는 것인 플라즈마 처리 장치.

**청구항 6**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 플라즈마 발생 기구는, 고주파의 진행 방향을 향하여 간격을 두고 4개 설치되는 가동 단락관을 구비하는 4E 튜너를 포함하는 것인 플라즈마 처리 장치.

**청구항 7**

제2항 또는 제3항에 있어서, 상기 도파로는, 상기 고주파 발진기에 의해 발진된 고주파가 도출되는 론치와, 상기 론치의 하류측에 설치되며, 상기 고주파 발진기로부터 부하측에 주파수 신호를 일방향으로 전송하는 아이솔레이터를 포함하고,

상기 스테브 기구는, 상기 론치 또는 상기 론치의 하류측이며 상기 아이솔레이터의 상류측에 설치되는 것인 플라즈마 처리 장치.

**청구항 8**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 플라즈마 발생 기구는, 상기 고주파 발진기에 의해 발생시킨 고주파를 상기 처리 용기 내에 투과시키는 유전체창과, 복수의 슬롯 구멍이 형성되어 있고, 상기 고주파를 상기 유전체창에 방사하는 슬롯 안테나판을 포함하는 것인 플라즈마 처리 장치.

**청구항 9**

제8항에 있어서, 상기 플라즈마 발생 기구에 의해 발생시키는 플라즈마는, 레이디얼 라인 슬롯 안테나에 의해 생성되는 것인 플라즈마 처리 장치.

**청구항 10**

고주파 발생기에 있어서,

고주파를 발진하는 고주파 발진기와, 상기 고주파 발진기에 전력을 공급하는 전원부와, 상기 고주파 발진기에 의해 발진된 고주파를 부하측이 되는 처리 용기측에 전파하는 도파로와, 고주파에 의해 상기 도파로 내에 형성되는 전압 정재파의 전압 정재파비를 상기 전원부로부터 공급되는 전력에 따라 가변으로 하는 전압 정재파비 가변 기구를 포함하고,

상기 전압 정재파비 가변 기구는 상기 전원부로부터 상기 고주파 발진기에 공급되는 전력이 미리 정해진 값보다 낮으면, 상기 전압 정재파비를 높게 하도록 제어를 수행하도록 구성되어, 상기 고주파 발진기의 기본 주파수 파형에서, 상기 기본 주파수 파형의 피크(peak)의 경사가 증가되고 상기 기본 주파수 파형의 피크의 스킨(skirt) 영역이 감소되는 것인, 고주파 발생기.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은, 플라즈마 처리 장치, 및 고주파 발생기에 관한 것으로, 특히, 마이크로파를 발생시키는 고주파 발생기, 및 마이크로파를 이용하여 플라즈마를 발생시키는 플라즈마 처리 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] LSI(Large Scale Integrated circuit)나 MOS(Metal Oxide Semiconductor) 트랜지스터 등의 반도체 소자, 액정 디스플레이(LCD: Liquid Crystal Display), 유기 EL(Electro Luminescence) 소자 등은, 처리 대상이 되는 피처리 기판에 대하여, 에칭이나 CVD(Chemical Vapor Deposition), 스퍼터링 등의 처리를 실시하여 제조된다. 에칭이나 CVD, 스퍼터링 등의 처리에 대해서는, 그 에너지 공급원으로서 플라즈마를 이용한 처리 방법, 즉, 플라즈마 에칭이나 플라즈마 CVD, 플라즈마 스퍼터링 등이 있다.

[0003] 여기서, 마이크로파에 의한 플라즈마를 이용하여 처리를 행하는 플라즈마 처리 장치에 있어서, 마이크로파를 발생시킬 때의 고주파의 발생원으로서, 마그네트론을 이용하는 경우가 있다. 마그네트론은, 비교적 저렴하게 구성할 수 있고, 또한, 하이 파워를 출력할 수 있기 때문에, 마이크로파를 발생하는 발생원으로서 유효하게 이용되고 있다. 마그네트론에 관한 기술에 대해서는, 일본 특허 공개 제2006-94214호 공보(특허문헌 1), 일본 특허 공개 제2007-82172호 공보(특허문헌 2), 및 일본 특허 공개 제2010-283678호 공보(특허문헌 3)에 개시되어 있다.

[0004] 특허문헌 1에 의하면, 마그네트론 발진 장치에 있어서, 기준 신호 공급부, 및 임피던스 발생기를 구비하는 것으로 하여, 마그네트론의 부하 임피던스를 조정하는 것으로 하고 있다. 또한, 특허문헌 2에 의하면, 마그네트론 발진 장치에 비가역 부재를 설치하는 구성으로 하고 있다. 또한, 특허문헌 3에 의하면, 마그네트론 발진 장치에 있어서, 원하는 발진 주파수로부터의 어긋남을 검출하여 어긋남 신호를 생성하고, 어긋남 신호에 기초해서 마그네트론의 발진 주파수가 원하는 주파수가 되는 구동 전압을 생성하여, 임피던스 발생기에 출력하는 것으로 하고 있다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0005] (특허문헌 0001) 특허문헌 1: 일본 특허 공개 제2006-94214호 공보

(특허문헌 0002) 특허문헌 2: 일본 특허 공개 제2007-82172호 공보

(특허문헌 0003) 특허문헌 3: 일본 특허 공개 제2010-283678호 공보

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 마이크로파의 발생원으로서의 마그네트론에 대해서는, 필라멘트나, 양극축을 구성하는 양극 베인, 공동 공진부 등과 같은 기계 가공품으로 구성되어 있다. 그러면, 이러한 기계 가공품을 조립하여 제조되는 마그네트론에는, 제조된 복수의 마그네트론 사이에 있어서의 변동, 이른바 기차(機差)가 발생해 버린다. 여기서, 이러한 복수의 마그네트론 사이에 있어서의 기차, 그리고, 그 기차에 기초한 마그네트론의 특성에의 영향에 대해서는, 물론 가능한 한 작은 것이 바람직하다.

[0007] 여기서, 마이크로파를 발생시키기 위한 설정 전력의 값이 높은 범위이면, 각 마그네트론 사이에서, 기본 주파수의 파형, 즉, 형성되는 스펙트럼의 형상에 있어서의 피크의 위치나, 이른바 피크의 스킵트의 영역의 좁음에 대해서, 다소 상이하지만 크게 다른 일은 없다. 즉, 각 마그네트론의 기본 주파수의 파형에 있어서, 피크가 급준하고, 스킵트의 영역이 좁은 이상적인 파형이 얻어지며, 각 마그네트론에 있어서의 기차의 허용 범위 내에 들어가는 것이다. 그러나, 마이크로파를 발생시키기 위한 설정 전력의 값이 낮아지면, 각 마그네트론 사이에 있어서의 기본 주파수의 파형의 변동 정도가 커지는 경향이 있다. 즉, 각 마그네트론 사이에 있어서의 기본 주파수의 파형에 있어서, 피크의 위치나, 피크의 스킵트의 영역의 확대 방식이 크게 상이해 버리는 경우가 있다. 이것은, 캐소드 전극으로부터의 일렉트론의 방사(이미션)가 적어지는 것의 영향이라고 생각된다. 이와 같이, 마이크로파를 발생시키기 위한 설정 전력의 값이 낮아지면, 각 마그네트론 사이에 있어서의 기차가 현저히 나타나고, 이상적인 파형이 얻어지지 않을 우려가 있다.

[0008] 이러한 상황하에 있어서, 마그네트론에 공급하는 전력을 낮게 하면, 플라즈마 처리 장치에 있어서 부하측이 되는 안테나측에의 주파수 특성에 대한 영향을 미치게 된다. 그러면, 생성되는 플라즈마가 변화하고, 이에 따라 안테나에 투입되는 실효 전력이 변화하게 된다. 그 결과, 안정되고 균일한 플라즈마를 생성할 수 없고, 피처리 기판에 대한 플라즈마 처리에 영향을 줄 우려가 있다.

[0009] 나아가서는, 기계 가공품을 조립하여 제조되는 마그네트론에 대해서는, 조립 직후, 이른바 초기의 상태와 비교하여, 사용함에 따라 마그네트론의 상태가 변화한다. 예컨대, 필라멘트를 구성하는 재료인 토륨 텅스텐 합금의 표면 탄화층의 소모에 기인한 발전의 상태의 변화 등이다. 마그네트론의 상태가 변화하면, 설정 전력이 낮은 범위에서의 사용에서는, 기본 주파수의 파형에 대한 영향이 더욱 현저해져, 플라즈마 처리에 영향을 미칠 우려가 있다.

[0010] 이와 같이, 마그네트론에 공급하는 전력이 낮으면, 결과적으로 플라즈마 처리에 영향을 줄 우려가 있기 때문에, 이러한 낮은 설정 전력에서의 사용을 피하여 프로세스 조건을 구축하는 것도 고려된다. 그러나, 최근의 플라즈마 처리에 있어서의 프로세스 조건의 유연성의 관점에서 보면, 보다 넓은 범위에서의 설정 전력의 사용이 요구된다. 그리고, 상기한 특허문헌 1~특허문헌 3에 개시된 기술에서는, 이러한 상황에 대응할 수 없다.

**과제의 해결 수단**

[0011] 본 발명의 하나의 국면에 있어서는, 플라즈마 처리 장치는, 플라즈마를 이용하여 피처리 대상물에 처리를 행하는 플라즈마 처리 장치로서, 그 내부에서 플라즈마에 의한 처리를 행하는 처리 용기와, 처리 용기 밖에 배치되어 고주파를 발생시키는 고주파 발생기를 포함하고, 고주파 발생기에 의해 발생시킨 고주파를 이용하여 처리 용기 내에 플라즈마를 발생시키는 플라즈마 발생 기구를 구비한다. 고주파 발생기는, 고주파를 발전하는 고주파 발전기와, 고주파 발전기에 전력을 공급하는 전원부와, 고주파 발전기에 의해 발전된 고주파를 부하측이 되는 처리 용기측에 전파하는 도파로와, 고주파에 의해 도파로 내에 형성되는 전압 정재파의 전압 정재파비(Voltage Standing Wave Ratio: 이하 「VSWR」 이라고 간단히 적는 경우가 있음)를 전원부로부터 공급되는 전력에 따라 가변으로 하는 전압 정재파비 가변 기구를 포함한다.

[0012] 이와 같이 구성함으로써, 고주파 발생기에 포함되는 전압 정재파비 가변 기구에 의해, 도파로에 형성되는 전압 정재파의 전압 정재파비를 전원부로부터 공급되는 전력에 따라 변경할 수 있다. 그러면, 예컨대, 전원부로부터 공급되는 전력이 저전력인 경우에는, 전압 정재파비를 상대적으로 높게 하여, 기본 주파수의 파형에 있어서, 피

크의 스킨의 형상을 좁게 하고, 급준한 피크로 할 수 있다. 즉, 저전력이어도, 이상적인 기본 주파수의 파형으로 할 수 있다. 이 경우, 급준한 피크를 가지며, 피크의 스킨의 영역이 좁은 기본 주파수의 파형이면, 다소 피크의 위치가 상이했다고 해도, 이후의 플라즈마 부하와의 정합 공정 등에 있어서, 안정된 정재파나 안정된 정재파의 형성에 기초한 전자계의 형성을 행할 수 있다. 그러면, 결과적으로 처리 용기 내에 있어서 안정되고 균일한 플라즈마를 생성할 수 있고, 나아가서는, 기차에 의한 프로세스에의 영향을 작게 할 수 있다. 따라서, 플라즈마 처리를 행할 때에, 고주파 발생기의 설정 전력을 낮은 전력으로 해도, 안정된 플라즈마의 생성을 행할 수 있다. 그 결과, 저전력으로부터 고전력에 걸친 넓은 영역에서의 보다 안정된 플라즈마의 생성을 행할 수 있고, 넓은 프로세스 조건의 구축을 행할 수 있다. 즉, 플라즈마 처리 장치에 구비되는 고주파 발생기에 있어서, 하이 파워 뿐만 아니라, 로우 파워에 있어서의 프로세스 구축을 가능하게 하는 것이다. 한편, 전압 정재파비란, 전압의 정재파의 최대값을 최소값으로 나눈 것이며, 반사파가 없는 경우에는, VSWR=1이 된다.

- [0013] 또한, 전압 정재파비 가변 기구는, 도파로에 설치되며, 직경 방향으로 가동하는 막대형 부재를 갖는 스테브 기구와, 막대형 부재를 가동시키는 드라이버와, 막대형 부재의 가동을 제어하는 제어 기구를 구비하도록 구성해도 좋다.
- [0014] 또한, 막대형 부재는, 고주파가 진행되는 방향으로 간격을 두고 복수 설치되도록 구성해도 좋다.
- [0015] 또한, 전압 정재파비 가변 기구는, 전원부로부터 고주파 발전기에 공급되는 전력이 소정의 값보다 낮으면, 전압 정재파비를 높게 하도록 제어하도록 구성해도 좋다.
- [0016] 또한, 고주파 발생기는, 도파로 내에 설치되며, 도파로 내를 진행하는 진행파 및 부하측으로부터의 반사파의 일부를 분기하는 방향성 결합기를 포함하고, 제어 기구는, 방향성 결합기로부터 얻어진 진행파 전력 신호 및 반사파 전력 신호를 기초로, 스테브 부재의 가동을 제어하도록 구성해도 좋다.
- [0017] 또한, 플라즈마 발생 기구는, 고주파의 진행 방향을 향하여 간격을 두고 4개 설치되는 가동 단락판을 구비하는 4E 튜너를 포함하도록 구성해도 좋다.
- [0018] 또한, 도파로는, 고주파 발전기에 의해 발전된 고주파가 도출되는 론처(launcher)와, 론처의 하류측에 설치되며, 고주파 발전기로부터 부하측에 주파수 신호를 일방향으로 전송하는 아이솔레이터를 포함하고, 스테브 기구는, 론처 또는 론처의 하류측이며 아이솔레이터의 상류측에 설치되도록 구성해도 좋다.
- [0019] 또한, 플라즈마 발생 기구는, 고주파 발전기에 의해 발생시킨 고주파를 처리 용기 내에 투과시키는 유전체창과, 복수의 슬롯 구멍이 형성되어 있고, 고주파를 유전체창에 방사하는 슬롯 안테나판을 포함하도록 구성해도 좋다.
- [0020] 또한, 플라즈마 발생 기구에 의해 발생시키는 플라즈마는, 레이디얼 라인 슬롯 안테나에 의해 생성되도록 구성해도 좋다.
- [0021] 본 발명의 다른 국면에 있어서는, 고주파 발생기는, 고주파를 발전하는 고주파 발전기와, 고주파 발전기에 전력을 공급하는 전원부와, 고주파 발전기에 의해 발전된 고주파를 부하측이 되는 처리 용기측에 전파하는 도파로와, 고주파에 의해 도파로 내에 형성되는 전압 정재파의 전압 정재파비를 전원부로부터 공급되는 전력에 따라 가변으로 하는 전압 정재파비 가변 기구를 포함한다.

**발명의 효과**

- [0022] 이러한 플라즈마 처리 장치 및 고주파 발생기에 의하면, 고주파 발생기에 포함되는 전압 정재파비 가변 기구에 의해, 도파로에 형성되는 전압 정재파의 전압 정재파비를 전원부로부터 공급되는 전력에 따라 변경할 수 있다. 그러면, 예컨대, 전원부로부터 공급되는 전력이 저전력인 경우에는, 전압 정재파비를 상대적으로 높게 하여, 기본 주파수의 파형에 있어서, 피크의 스킨의 형상을 좁게 하고, 급준한 피크로 할 수 있다. 즉, 저전력이어도, 이상적인 기본 주파수의 파형으로 할 수 있다. 이 경우, 급준한 피크를 가지며, 피크의 스킨의 영역이 좁은 기본 주파수의 파형이면, 다소 피크의 위치가 상이했다고 해도, 이후의 플라즈마 부하와의 정합 공정 등에 있어서, 안정된 정재파나 안정된 정재파의 형성에 기초한 전자계의 형성을 행할 수 있다. 그러면, 결과적으로 처리 용기 내에 있어서 안정되고 균일한 플라즈마를 생성할 수 있고, 나아가서는, 기차에 의한 영향을 작게 할 수 있다. 따라서, 플라즈마 처리를 행할 때에, 고주파 발생기의 설정 전력을 낮은 전력으로 해도, 안정된 플라즈마의 생성을 행할 수 있다. 그 결과, 저전력으로부터 고전력에 걸친 넓은 영역에서의 보다 안정된 플라즈마의 생성을 행할 수 있고, 넓은 프로세스 조건의 구축을 행할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0023]

- 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치의 주요부를 도시한 개략 단면도이다.
- 도 2는 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 포함되는 슬롯 안테나관을, 도 1 중의 화살표 II의 방향에서 본 개략도이다.
- 도 3은 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 포함되는 마이크로파 발생기의 개략적인 구성을 도시한 블록도이다.
- 도 4는 마이크로파 발생기에 포함되는 4E 튜너의 주변의 구성을 도시한 모식도이다.
- 도 5는 마이크로파 발생기에 포함되는 마그네트론의 주변의 구성을 도시한 모식도이다.
- 도 6은 어느 마그네트론에 있어서, VSWR을 1.5로 했을 때와 VSWR을 7.0으로 했을 때의 애노드 전류와 마이크로파의 출력 전력과의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 7은 마이크로파의 설정 전력과 마이크로파의 출력 전력의 정밀도와의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 8은 방향성 결합기의 결합도의 주파수 의존성을 도시한 그래프이다.
- 도 9는 어느 마그네트론의 리케 선도이다.
- 도 10은 애노드 전류와 효율과의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 11은 VSWR을 변경한 경우의 애노드 전류와 마이크로파의 출력 전력과의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 12는 VSWR과 애노드 손실과의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 13은 애노드 전류와 설정할 수 있는 VSWR의 범위를 도시한 그래프이다.
- 도 14는 VSWR과 안정된 마이크로파의 출력 전력의 범위와 가능한 저출력과의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 15는 복수의 마그네트론 사이의 차이에 기초한 마이크로파의 설정 전력과 애노드 전류와의 관계를 도시한 그래프이며, 마이크로파의 설정 전력(W)의 범위가 0~3500(W)인 경우를 도시한다.
- 도 16은 복수의 마그네트론 사이의 차이에 기초한 마이크로파의 설정 전력과 애노드 전류와의 관계를 도시한 그래프이며, 도 15의 그래프에 대하여 마이크로파의 설정 전력(W)의 범위를 400(W)~1000(W)으로 확대하여 도시한다.
- 도 17은 VSWR을 1.5로 했을 때와, VSWR을 2.0으로 했을 때의 스펙트럼의 형상을 도시한 그래프이며, 마이크로파의 설정 전력을 700(W)으로 한 경우이다.
- 도 18은 VSWR을 1.5로 했을 때와, VSWR을 2.0으로 했을 때의 스펙트럼의 형상을 도시한 그래프이며, 마이크로파의 설정 전력을 2500(W)으로 한 경우이다.
- 도 19는 VSWR을 1.5로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 스퓨리어스 강도와의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 20은 VSWR을 2.0으로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 스퓨리어스 강도와의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 21은 마이크로파의 설정 전력과, VSWR을 1.5로 한 경우로부터 VSWR을 2.0으로 한 경우를 뺀 스퓨리어스 강도의 차분과의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 22는 VSWR을 1.5로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 피크 강도와의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 23은 VSWR을 2.0으로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 피크 강도와의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 24는 마이크로파의 설정 전력과, VSWR을 1.5로 한 경우로부터 VSWR을 2.0으로 한 경우를 뺀 피크 강도의 차분과의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 25는 VSWR을 1.5로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 주파수와의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 26은 VSWR을 2.0으로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 주파수와의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 27은 VSWR을 1.5로 한 경우, VSWR을 2.0으로 한 경우에 있어서의 마이크로파의 설정 전력과 주파수의 차분과의 관계를 도시한 그래프이다.
- 도 28은 VSWR을 1.5로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 마이크로파의 출력 전력의 정밀도와의 관계를 도시

한 그래프이다.

도 29는 VSWR을 2.0으로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 마이크로파의 출력 전력의 정밀도와의 관계를 도시한 그래프이다.

도 30은 VSWR을 1.5로 했을 때, VSWR을 2.0으로 했을 때에 있어서의 마이크로파의 설정 전력과 모니터 전압값과의 관계를 도시한 그래프이다.

도 31은 마이크로파의 설정 전력과 효율과의 관계를 도시한 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0024] 이하, 본 발명의 실시형태를, 도면을 참조하여 설명한다. 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 장치의 주요부를 도시한 개략 단면도이다. 도 2는 도 1에 도시한 플라즈마 처리 장치에 포함되는 슬롯 안테나판을 하방측, 즉, 도 1 중의 화살표 II의 방향에서 본 도면이다. 한편, 도 1에 있어서, 이해의 용이의 관점에서, 부재의 일부의 해칭을 생략하고 있다. 또한, 이 실시형태에서는, 도 1 중의 화살표 II로 나타내는 방향 또는 그 반대 방향으로 나타나는 도 1에 있어서의 지면 상하 방향을, 플라즈마 처리 장치에 있어서의 상하 방향으로 하고 있다.
- [0025] 도 1 및 도 2를 참조하여, 플라즈마 처리 장치(11)는, 피처리 대상물인 피처리 기판(W)에 대하여, 플라즈마를 이용하여 처리를 행한다. 구체적으로는, 에칭이나 CVD, 스퍼터링 등의 처리를 행한다. 피처리 기판(W)으로서는, 예컨대, 반도체 소자의 제조에 이용되는 실리콘 기판을 들 수 있다.
- [0026] 플라즈마 처리 장치(11)는, 그 내부에서 피처리 기판(W)에 대하여 플라즈마에 의해 처리를 행하는 처리 용기(12)와, 처리 용기(12) 내에 플라즈마 여기용의 가스나 플라즈마 처리용의 가스를 공급하는 가스 공급부(13)와, 처리 용기(12) 내에 설치되며, 그 위에서 피처리 기판(W)을 유지하는 원판형의 유지대(14)와, 마이크로파를 이용하여, 처리 용기(12) 내에 플라즈마를 발생시키는 플라즈마 발생 기구(19)와, 플라즈마 처리 장치(11) 전체의 동작을 제어하는 제어부(15)를 구비한다. 제어부(15)는, 가스 공급부(13)에 있어서의 가스 유량, 처리 용기(12) 내의 압력 등, 플라즈마 처리 장치(11) 전체의 제어를 행한다.
- [0027] 처리 용기(12)는, 유지대(14)의 하방측에 위치하는 바닥부(21)와, 바닥부(21)의 외주로부터 상방향으로 연장되는 측벽(22)을 포함한다. 측벽(22)은, 대략 원통형이다. 처리 용기(12)의 바닥부(21)에는, 그 일부를 관통하도록 배기용의 배기 구멍(23)이 형성되어 있다. 처리 용기(12)의 상부측은 개구되어 있으며, 처리 용기(12)의 상부측에 배치되는 덮개부(24), 후술하는 유전체창(16), 및 유전체창(16)과 덮개부(24) 사이에 개재하는 시일 부재로서의 O링(25)에 의해, 처리 용기(12)는 밀봉 가능하게 구성되어 있다.
- [0028] 가스 공급부(13)는, 피처리 기판(W)의 중앙으로 향하여 가스를 내뿜는 제1 가스 공급부(26)와, 피처리 기판(W)의 외측으로부터 가스를 내뿜는 제2 가스 공급부(27)를 포함한다. 제1 가스 공급부(26)에 있어서 가스를 공급하는 가스 공급 구멍(30a)은, 유전체창(16)의 직경 방향 중앙이며, 유지대(14)와 대향하는 대향면이 되는 유전체창(16)의 하면(28)보다 유전체창(16)의 내방측으로 후퇴한 위치에 형성되어 있다. 제1 가스 공급부(26)는, 제1 가스 공급부(26)에 접속된 가스 공급계(29)에 의해 유량 등을 조정하면서 플라즈마 여기용의 불활성 가스나 플라즈마 처리용의 가스를 공급한다. 제2 가스 공급부(27)는, 측벽(22)의 상부측의 일부에 있어서, 처리 용기(12) 내에 플라즈마 여기용의 불활성 가스나 플라즈마 처리용의 가스를 공급하는 복수의 가스 공급 구멍(30b)을 마련함으로써 형성되어 있다. 복수의 가스 공급 구멍(30b)은, 둘레 방향으로 동일한 간격을 두고 형성되어 있다. 제1 가스 공급부(26) 및 제2 가스 공급부(27)에는, 동일한 가스 공급원으로부터 동일한 종류의 플라즈마 여기용의 불활성 가스나 플라즈마 처리용의 가스가 공급된다. 한편, 요구나 제어 내용 등에 따라, 제1 가스 공급부(26) 및 제2 가스 공급부(27)로부터 다른 가스를 공급할 수도 있고, 이들의 유량비 등을 조정할 수도 있다.
- [0029] 유지대(14)에는, RF(radio frequency) 바이어스용의 고주파 전원(38)이 매칭 유닛(39)을 통해 유지대(14) 내의 전극에 전기적으로 접속되어 있다. 이 고주파 전원(38)은, 예컨대, 13.56 MHz의 고주파를 소정의 전력(바이어스 파워)으로 출력 가능하다. 매칭 유닛(39)은, 고주파 전원(38)측의 임피던스와, 주로 전극, 플라즈마, 처리 용기(12)와 같은 부하측의 임피던스 사이에서 정합을 취하기 위한 정합기를 수용하고 있으며, 이 정합기 중에 자기 바이어스 생성용의 블로킹 커패시터가 포함되어 있다. 한편, 플라즈마 처리시에 있어서, 이 유지대(14)에의 바이어스 전압의 공급은, 필요에 따라 행해도 좋고, 행하지 않아도 좋다.
- [0030] 유지대(14)는, 정전척(도시하지 않음)에 의해 그 위에 피처리 기판(W)을 유지 가능하다. 또한, 유지대(14)는, 가열을 위한 히터(도시하지 않음) 등을 구비하고, 유지대(14)의 내부에 설치된 온도 조정 기구(33)에 의해 원하

는 온도로 설정 가능하다. 유지대(14)는, 바닥부(21)의 하방측으로부터 수직 상방으로 연장되는 절연성의 통형 지지부(31)에 지지되어 있다. 상기한 배기 구멍(23)은, 통형 지지부(31)의 외주를 따라 처리 용기(12)의 바닥부(21)의 일부를 관통하도록 형성되어 있다. 환형의 배기 구멍(23)의 하방측에는 배기관(도시하지 않음)을 통해 배기 장치(도시하지 않음)가 접속되어 있다. 배기 장치는, 터보 분자 펌프 등의 진공 펌프를 갖고 있다. 배기 장치에 의해, 처리 용기(12) 내를 소정의 압력까지 감압할 수 있다.

[0031] 플라즈마 발생 기구(19)는, 처리 용기(12) 밖에 설치되어 있으며, 플라즈마 여기용의 마이크로파를 발생시키는 고주파 발생기로서의 마이크로파 발생기(41)를 포함한다. 또한, 플라즈마 발생 기구(19)는, 유지대(14)와 대향하는 위치에 배치되며, 마이크로파 발생기(41)에 의해 발생시킨 마이크로파를 처리 용기(12) 내에 도입하는 유전체창(16)을 포함한다. 또한, 플라즈마 발생 기구(19)는, 복수의 슬롯 구멍(20)이 형성되어 있으며, 유전체창(16)의 상방측에 배치되고, 마이크로파를 유전체창(16)에 방사하는 슬롯 안테나판(17)을 포함한다. 또한, 플라즈마 발생 기구(19)는, 슬롯 안테나판(17)의 상방측에 배치되며, 후술하는 동축 도파관(36)에 의해 도입된 마이크로파를 직경 방향으로 전파하는 유전체 부재(18)를 포함한다.

[0032] 마이크로파 발생기(41)는, 모드 변환기(34) 및 도파관(35a)을 통해, 마이크로파를 도입하는 동축 도파관(36)의 상부에 접속되어 있다. 예컨대, 마이크로파 발생기(41)에서 발생시킨 TE 모드의 마이크로파는, 도파관(35a)을 지나고, 모드 변환기(34)에 의해 TEM 모드로 변환되어, 동축 도파관(36)을 전파한다. 마이크로파 발생기(41)의 상세한 구성에 대해서는, 후술한다. 한편, 마이크로파 발생기(41)에 대한 도파관(35a)측이, 후술하는 부하측이 된다.

[0033] 유전체창(16)은, 대략 원판형이며, 유전체로 구성되어 있다. 유전체창(16)의 하면(28)의 일부에는, 도입된 마이크로파에 의한 정재파의 발생을 용이하게 하기 위한 테이퍼형으로 움푹 패인 환형의 오목부(37)가 형성되어 있다. 이 오목부(37)에 의해, 유전체창(16)의 하부측에 마이크로파에 의한 플라즈마를 효율적으로 생성할 수 있다. 한편, 유전체창(16)의 구체적인 재질로서는, 석영이나 알루미나 등을 들 수 있다.

[0034] 슬롯 안테나판(17)은, 박판형이며, 원판형이다. 복수의 슬롯 구멍(20)에 대해서는, 도 2에 도시한 바와 같이, 각각 소정의 간격을 두고 직교하도록 2개의 슬롯 구멍(20)이 한 쌍이 되도록 형성되어 있고, 한 쌍을 이룬 슬롯 구멍(20)이 둘레 방향으로 소정의 간격을 두고 형성되어 있다. 또한, 직경 방향에 있어서도, 복수의 한 쌍의 슬롯 구멍(20)이 소정의 간격을 두고 형성되어 있다.

[0035] 마이크로파 발생기(41)에 의해 발생시킨 마이크로파는, 동축 도파관(36)을 통해, 유전체 부재(18)에 전파된다. 내부에 냉매 등을 순환시키는 순환로(40)를 가지며 유전체 부재(18) 등의 온도 조절을 행하는 냉각 재킷(32)과 슬롯 안테나판(17) 사이에 끼워진 유전체 부재(18)의 내부를 직경 방향 외측을 향하여, 마이크로파는 방사상으로 확산되고, 슬롯 안테나판(17)에 형성된 복수의 슬롯 구멍(20)으로부터 유전체창(16)에 방사된다. 유전체창(16)을 투과한 마이크로파는, 유전체창(16)의 바로 아래에 전계를 발생시키고, 처리 용기(12) 내에 플라즈마를 생성시킨다.

[0036] 플라즈마 처리 장치(11)에 있어서 마이크로파 플라즈마를 발생시킨 경우, 유전체창(16)의 하면(28)의 바로 아래, 구체적으로는, 유전체창(16)의 하면(28)의 수 cm 정도 아래에 위치하는 영역에서는, 플라즈마의 전자 온도가 비교적 높은 이른바 플라즈마 생성 영역이 형성된다. 그리고, 그 하측에 위치하는 영역에는, 플라즈마 생성 영역에서 생성된 플라즈마가 확산되는 이른바 플라즈마 확산 영역이 형성된다. 이 플라즈마 확산 영역은, 플라즈마의 전자 온도가 비교적 낮은 영역이며, 이 영역에서 플라즈마 처리를 행한다. 그러면, 플라즈마 처리시에 있어서의 피처리 기관(W)에 대한 이른바 플라즈마 손상을 주지 않고, 또한, 플라즈마의 전자 밀도가 높기 때문에, 효율적인 플라즈마 처리를 행할 수 있다.

[0037] 플라즈마 발생 기구(19)는, 후술하는 고주파 발전기로서의 마그네트론에 의해 발생시킨 고주파를 처리 용기(12) 내에 투과시키는 유전체창(16)과, 복수의 슬롯 구멍(20)이 형성되어 있고, 고주파를 유전체창(16)에 방사하는 슬롯 안테나판(17)을 포함하도록 구성되어 있다. 또한, 플라즈마 발생 기구(19)에 의해 발생시키는 플라즈마는, 레이디얼 라인 슬롯 안테나에 의해 생성되도록 구성되어 있다.

[0038] 여기서, 상기한 구성의 플라즈마 처리 장치(11)에 구비되는 플라즈마 발생 기구(19)에 포함되는 마이크로파 발생기(41)의 구체적인 구성에 대해서 설명한다.

[0039] 도 3은 마이크로파 발생기(41)의 개략적인 구성을 도시한 블록도이다. 도 4는 마이크로파 발생기(41)에 포함되는 후술하는 정합 장치로서의 4E 튜너의 주변의 구성을 도시한 모식도이다. 도 5는 마이크로파 발생기(41)에 포함되는 마그네트론의 주변의 구성을 도시한 모식도이다.

- [0040] 도 1 내지 도 5를 참조하여, 마이크로파 발생기(41)는, 고주파로서의 마이크로파를 발진하는 고주파 발진기로서의 마그네트론(42)과, 마그네트론(42)에 전력을 공급하는 고압 전원(43)과, 고주파를 발진할 때의 캐소드 전극(44a)을 구성하는 필라멘트에 전력을 공급하는 필라멘트 전원(46)을 포함한다. 고압 전원(43) 및 필라멘트 전원(46)은, 마그네트론(42)에 전력을 공급하는 전원부를 구성한다. 발진부(47)는, 마그네트론(42)과, 마그네트론(42)에 의한 발진된 마이크로파가 도출되는 론치(48)를 포함하는 구성이다. 마그네트론(42)으로부터 발진되는 마이크로파는, 도 5 중의 이점 쇄선으로 나타내는 화살표 A<sub>1</sub>의 방향으로 진행한다. 한편, 마이크로파의 반사파에 대해서는, 도 5 중의 화살표 A<sub>1</sub>의 반대 방향으로 진행한다. 또한, 마이크로파 발생기(41)는, 마그네트론(42)에 의해 발진된 마이크로파를 부하측이 되는 처리 용기(12)측에 전파하는 도파로(60)를 구비한다. 도파로(60)에 대해서는, 마이크로파가 전파하는 통로가 되는 것인데, 론치(48)나, 후술하는 아이솔레이터와 방향성 결합기를 연결하는 도파관(35b), 스텔브 기구와 아이솔레이터를 연결하는 도파관(35c) 등으로 주로 구성되어 있다.
- [0041] 마그네트론(42)과 고압 전원(43) 사이에는, 회로(45)가 짜여져 있다. 회로(45)를 통해, 고압 전원(43)측으로부터 마그네트론(42)측에 애노드 전류가 공급된다. 마그네트론(42)의 내부에 있어서, 회로(45)에는, 필라멘트가 편입되어 있다. 필라멘트에 의해 구성되는 캐소드 전극(44a)과, 고압 전원(43)으로부터 애노드 전류를 공급받아 형성되는 애노드 전극(44b)에 의해, 외부에 출력되는 마이크로파가 생성된다. 한편, 캐소드 전극(44a)을 구성하는 음극측이 되는 상기한 필라멘트, 및 양극측이 되는 애노드 전극(44b)을 형성하는 양극 베인 등은, 기계 가공에 의해 제조되는 기계 가공품이다.
- [0042] 또한, 마이크로파 발생기(41)는, 아이솔레이터(49)와, 도파로(60) 내에 설치되며, 도파로(60) 내를 진행하는 진행파 및 부하측으로부터의 반사파의 일부를 분기하는 방향성 결합기(54)와, 정합기로서의 4E 튜너(51)를 포함한다. 아이솔레이터(49)는, 마그네트론(42)으로부터 부하(50)측에 위치하는 4E 튜너(51)측에, 주파수 신호를 일방향으로 전송한다. 여기서 말하는 부하(50)는, 모드 변환기(34) 등, 이른바 도파관(35a)의 하류측에 위치하는 부재이다.
- [0043] 4E 튜너(51)는, 마이크로파의 진행 방향을 향하여 간격을 두고 설치되는 4개의 가동 단락판(도시하지 않음)을 구비하는 가동 단락부(52a, 52b, 52c, 52d)와, 가동 단락부(52a)에 대하여 마그네트론(42)측에 위치하는 3개의 프로브(53a, 53b, 53c)를 포함한다. 3개의 프로브(53a, 53b, 53c)는, 마이크로파의 진행 방향을 향하여 관 내 파장  $\lambda_g$ 의 1/8, 즉,  $\lambda_g/8$ 의 거리만큼 떨어져 설치된다. 또한, 3개의 프로브(53a, 53b, 53c)에 접속된 연산 회로(53d)에 의해, 3개의 프로브(53a~53c)에 각각 대응하는 도시하지 않은 가동 단락판의 위치가 산출된다. 한편, 도파관의 관 내 파장은, 도파관의 진행 방향에서의 파장의 길이이며, 설정하는 기본 주파수와 도파관의 치수에 의해 계산되고, 예컨대, 2.45 GHz에서 도파관의 세로 방향의 길이 치수×가로 방향의 길이 치수가 96 mm×27 mm일 때, 158 mm로 계산된다.
- [0044] 또한, 4E 튜너(51)에는, 가동 단락부(52a)에 대하여 마그네트론(42)측에 방향성 결합기(54)가 설치되어 있다. 이 방향성 결합기(54)는, 양방향성 결합기이다. 한편, 방향성 결합기(54)는, 3개의 프로브(53a, 53b, 53c)에 대향하고 있지 않아도 좋다. 이 방향성 결합기(54)를 이용하여, 회로(55a)를 통해, 도파로(60) 내를 진행하는 진행파의 전력 신호를, 마이크로파 발생기(41)에 설치되는 전압 제어 회로(56)에 전송한다. 한편, 회로(55a)에 의해 전송되는 진행파의 전력 신호에 대해서는, 검출기(55c)에 의해 진행파 전력 신호로서 아날로그로 검출된다. 또한, 이 방향성 결합기(54)를 이용하여, 회로(55b)를 통해, 도파로(60) 내를 진행하는 반사파의 전력 신호를, 마이크로파 발생기(41)에 설치되는 전압 제어 회로(56)에 전송한다. 한편, 회로(55b)에 의해 전송되는 반사파의 전력 신호에 대해서는, 검출기(55d)에 의해 반사파 전력 신호로서 아날로그로 검출된다. 이 전압 제어 회로(56)로부터, 회로(57a) 및 회로(57b)를 이용하여, 고압 전원(43)에 의해 공급하는 전압의 제어 신호 및 필라멘트 전원(46)에 의해 공급되는 전압의 제어 신호를 송신하여, 마그네트론(42)에 인가하는 전압의 제어를 행한다. 즉, 전압 제어 회로(56)는, 설정 전력이 방향성 결합기(54)로부터 검출된 진행파 전력과 동일하게 됨을 보장하기 위해, 마그네트론(42)의 사양을 만족시키는 적절한 전류가 인가되도록, 고압 전원(43) 및 필라멘트 전원(46)에 전압을 공급한다.
- [0045] 한편, 마그네트론(42)과 4E 튜너(51) 사이에 설치되는 아이솔레이터(49)는, 수동 소자인 서큘레이터 중, 하나의 단자를 더미 부하(59)로 함으로써 구성되어 있다. 즉, 아이솔레이터(49)는, 마그네트론(42)측에 위치하는 제1 단자(58a)를 발진부와 접속하고, 4E 튜너(51)측에 위치하는 제2 단자(58b)를 4E 튜너(51)와 접속하며, 나머지 제3 단자(58c)에 더미 부하(59)를 접속함으로써 구성되어 있다. 이렇게 함으로써, 아이솔레이터(49)는, 마그네트론(42)으로부터 부하(50)측에 위치하는 4E 튜너(51)에, 전력을 일방향으로 전송할 수 있다. 또한, 아이솔레이터(49)는, 부하(50)로부터 4E 튜너(51)에 반사된 전력을 더미 부하(59)에 전송시킬 수 있으며, 즉 부하(50)로부터

터 반사된 전력이 마그네트론(42)에 전송되는 것을 방지할 수 있다. 이렇게 함으로써, 마그네트론(42)이 반사된 전력에 의해 고장나는 것을 방지하고 있다.

- [0046] 여기서, 마이크로파 발생기(41)는, 마이크로파에 의해 도파로(60) 내에 형성되는 전압 정재파의 전압 정재파비(VSWR)를 전원부로부터 공급되는 전력에 따라 가변으로 하는 전압 정재파비 가변 기구(61)를 포함한다.
- [0047] 다음으로, 전압 정재파비 가변 기구(61)의 상체에 대해서 설명한다. 전압 정재파비 가변 기구(61)는, 도파로(60)에 설치되며, 직경 방향으로 가동하는 3개의 막대형 부재(64a, 64b, 64c)를 갖는 스테브 기구(62)와, 막대형 부재(64a, 64b, 64c)를 가동시키는 드라이버(63)와, 막대형 부재(64a, 64b, 64c)의 가동을 제어하는 제어 기구를 구비한다. 스테브 기구(62)는, 도파로(60)의 일부를 구성하며, 막대형 부재(64a~64c)는, 스테브 기구(62)를 구성하는 도파로(65)에 설치된다. 이 실시형태에서는, 전압 제어 회로(56)도 제어 기구로서 작용한다.
- [0048] 3개의 막대형 부재(64a, 64b, 64c)는 각각, 도파로(60)의 외주축으로부터 내주축을 향하여 연장 가능하다. 또한, 3개의 막대형 부재(64a, 64b, 64c)는 그 반대 방향으로 가동할 수도 있다. 즉, 3개의 막대형 부재(64a, 64b, 64c)는 도 5 중의 화살표 B<sub>1</sub>의 방향 또는 그 반대 방향으로 가동할 수 있다. 3개의 막대형 부재(64a, 64b, 64c)는, 모터(도시하지 않음)를 구동시키는 드라이버(63)에 의해 각각 개별적으로 가동시켜진다. 막대형 부재(64a~64c)의 가동은, 제어 기구를 겸하는 전압 제어 회로(56)에 의해 제어된다.
- [0049] 즉, 전압 정재파비 가변 기구(61)에 의한 VSWR과 위상과의 관계는, 마그네트론(42)으로부터 스테브 기구(62)까지의 거리와, 막대형 부재(64a, 64b, 64c)의 간격, 및 막대형 부재(64a~64c)를 연장시키는 높이에 의해 일의(一意)적으로 결정된다. 후술하는 도 9에 도시한 바와 같이, 마그네트론(42)은 그 사양에 의해 VSWR이 결정되면 위상의 적절한 위치는 일의적으로 결정되기 때문에, VSWR의 설정이 이루어졌을 때에는, 위상은 적절한 값으로 되어 있는 것으로 한다.
- [0050] 한편, 막대형 부재(64a~64c)는, 이 실시형태에서는, 3개 설치되어 있으나, 1개여도 좋고, 복수, 예컨대, 3개 이상 설치되어 있어도 좋다.
- [0051] 여기서, 전압 정재파비 가변 기구(61)의 동작에 대해서 설명한다. 도 6은 어느 마그네트론에 있어서, VSWR을 1.5로 했을 때와 VSWR을 7.0으로 했을 때의 애노드 전류와 마이크로파의 출력 전력과의 관계를 도시한 그래프이다. 황축은, 애노드 전류(A)를 나타내고, 종축은, 마이크로파의 출력 전력(W)을 나타낸다. 또한, 검은 동그라미 및 점선으로 나타나는 그래프는, 이 마그네트론(42)에 있어서의 VSWR을 1.5로 했을 때의 애노드 전류와 마이크로파의 출력 전력과의 관계를 나타내고, 흰 동그라미 및 점선으로 나타나는 그래프는, 이 마그네트론(42)에 있어서의 VSWR을 7.0으로 했을 때의 애노드 전류와 출력 전력과의 관계를 나타낸다. 한편, 여기서는, VSWR을 변경하는 소정의 값으로서, 출력 전력값을 3000 W로 하고 있다.
- [0052] 전압 제어 회로(56)에 마이크로파의 설정 전력값이 입력되면, 미리 설정하는 VSWR이 되도록 전압 제어 회로(56)에 있는 모터 컨트롤러 위치 신호에 의해 드라이버(63)를 통해 스테브 기구(62)에 포함되는 막대형 부재(64a~64c)를 소정의 위치로 구동한다. 다음으로, 고압 전원(43)과 필라멘트 전원(46)에 전원이 공급되고, 마그네트론(42)에 의해 마이크로파가 발진된다. 그리고, 전압 제어 회로(56)에는, 방향성 결합기(54)로부터 진행파 전력 신호 및 반사파 전력 신호가 입력된다.
- [0053] 여기서, 플라즈마 처리 장치(11)에 있어서의 프로세스 조건에 있어서, 마이크로파의 출력 전력을, 예컨대, 4000 W로부터 낮게 하도록 변경하는 경우에 대해서 생각한다. 마이크로파의 출력 전력이 4000 W였던 경우, VSWR이 1.5가 되도록 조정되어 있다. 여기서, 마이크로파의 출력 전력을 낮게 해 간다. 그리고, 마이크로파의 출력 전력이 낮게 해서 3000 W가 된 경우, VSWR이 7.0이 된다.
- [0054] 전압 정재파비 가변 기구(61)에는 미리 VSWR이 1.5일 때와 VSWR이 7.0일 때에 대응하는 막대형 부재(64a~64c)를 연장시키는 높이가 기억되어 있다. 그리고, 드라이버(63)에 모터 컨트롤러 위치 신호를 송신한다. 그러면, 신호에 따라, 드라이버(63)는 모터를 구동하여, 막대형 부재(64a~64c)를 가동시킨다. 그리고, 막대형 부재(64a~64c)를 산출된 위치로 한다. 그 후, 위치 결정 완료 신호가 드라이버(63)로부터 전압 제어 회로(56)에 송신된다. 이렇게 해서, 스테브 기구(62)에 의해, VSWR의 값이 변경된다. 즉, 전원부로부터 마그네트론(42)에 공급되는 전력이 3000 W보다 낮으면, VSWR을 7.0으로 높아지도록 제어한다. 한편, VSWR의 변경에 따르는 구체적인 마이크로파의 출력 전력과 애노드 전류와의 관계에 대해서는, 도 6 중의 실선으로 나타난다. 이렇게 해서 전압 정재파비 가변 기구(61)에 구비되는 스테브 기구(62)에 의해, 전압 제어 회로(56)에 마이크로파의 설정 전력값에 따라 VSWR을 변경한다.

- [0055] 이와 같이 구성함으로써, 기본 주파수의 파형에 있어서, 피크의 스키트의 형상을 좁게 하고, 급준한 피크로 할 수 있다. 즉, 저전력이어도, 이상적인 기본 주파수의 파형으로 할 수 있다. 이 경우, 급준한 피크를 가지며, 피크의 스키트의 영역이 좁은 기본 주파수의 파형이면, 다소 피크의 위치가 상이했다고 해도, 이후의 플라즈마 부하와의 정합 공정 등에 있어서, 안정된 정재파나 안정된 정재파의 형성에 기초한 전자계의 형성을 행할 수 있다. 그러면, 결과적으로 처리 용기(12) 내에 있어서 안정되고 균일한 플라즈마를 생성할 수 있고, 나아가서는, 기차(機差)에 의한 영향을 작게 할 수 있다. 따라서, 플라즈마 처리를 행할 때에, 마그네트론의 설정 전력을 낮은 전력으로 해도, 안정된 플라즈마의 생성을 행할 수 있다. 그 결과, 저전력으로부터 고전력에 걸친 넓은 영역에서의 보다 안정된 플라즈마의 생성을 행할 수 있고, 넓은 프로세스 조건의 구축을 행할 수 있다. 즉, 플라즈마 처리 장치(11)에 구비되는 마이크로파 발생기(41)에 있어서, 하이 파워 뿐만 아니라, 로우 파워에 있어서의 프로세스 구축을 가능하게 하는 것이다.
- [0056] 여기서, VSWR을 높게 하면, 후술하는 도 31에 도시한 바와 같이 효율이 내려가는 경향이 있기 때문에, 이 효율 등과의 균형에 있어서도, VSWR의 변경을 행한다.
- [0057] 한편, 도 7 이하에 있어서, 전압 정재파비 가변 기구(61)에 의한 VSWR을 변경할 때의 지표가 되는 파라미터, 상이한 VSWR에 있어서의 기본 주파수의 파형의 변화 등에 대해서 설명한다.
- [0058] 먼저, 마이크로파의 설정 전력과 고정밀도의 파라미터와의 차이로부터 계산되는 정밀도에 대해서 설명한다. 도 7은 VSWR=1.5에 있어서의 마이크로파의 설정 전력과 마이크로파의 출력 전력의 정밀도와의 관계를 도시한 그래프이다. 도 7에 있어서, 횡축은, 마이크로파의 설정 전력(W)을 나타내고, 종축은, 마이크로파의 출력 전력의 정밀도(%)를 나타낸다. 종축의 마이크로파의 출력 전력의 정밀도에 대해서는, 마이크로파의 설정 전력에 의해 공급된 마이크로파의 전력에 대해서, 시험수 n=100에 있어서의 마이크로파 발생기 사이에 있어서의 오차가 실제로 어느 정도인지를 나타내는 지표이다. 선 66a가 오차의 평균값이고, 선 66b가 오차의 최대값을 나타내며, 선 66c가 오차의 최소값을 나타낸다.
- [0059] 도 7을 참조하여, 마이크로파의 설정 전력이 1000(W)보다 큰 영역에서는 어느 곳에 있어서도, 오차의 평균값, 오차의 최대값, 및 오차의 최소값의 각각이 거의 동일한 값을 나타내고 있다. 그러나, 마이크로파의 설정 전력이 1000(W) 미만인 영역에서는, 1000(W)보다 낮아짐에 따라, 오차의 최대값과 오차의 최소값의 차가 커지고 있다. 이러한 상황에 있어서는, 기본 주파수의 파형이 흐트러지고 있고, 또한, 피크의 높이가 내려가고 있으며, 피크의 스키트의 영역이 넓어지고 있다. 따라서, 이러한 경우, 하나의 기준으로서, 1000(W)의 마이크로파의 출력 전력에 의해, VSWR을 변경하는 것으로 해도 좋다. 즉, VSWR을 변경하는 소정의 값으로서, 1000(W)을 설정하는 것으로 해도 좋다.
- [0060] 한편, 참고로, 지나치게 마이크로파의 설정 전력을 낮게 설정한 경우, 발진 모드가 점프하여, 상이한 발진 주파수가 되는 모딩(moding)이라고 불리는 현상이 발생하여, 불안정한 발진 상태를 야기할 우려도 있다. 그러나, 마이크로파의 설정 전력을 낮게 설정해도, 애노드 전류를 증가시킴으로써, 모딩이 발생하기 어려워진다. 따라서, 마이크로파의 설정 전력을 낮게 설정한 경우, 이와 같이 대처한다.
- [0061] 다음으로, 방향성 결합기(54)의 결합도의 주파수 의존성에 대해서 설명한다. 도 8은 방향성 결합기의 결합도의 주파수 의존성을 도시한 그래프이다. 횡축은, 주파수(MHz)를 나타내고, 종축은, 결합도(dB)를 나타낸다. 도 8을 참조하여, 주파수를 2450(MHz)으로 한 경우에 결합도가 60(dB)이 되는 설정을 행한 경우, 주파수가 1500(MHz)인 경우, 결합도는 62(dB)가 되고, 3000(MHz)인 경우, 결합도가 59(dB)가 된다. 즉, 방향성 결합기에 있어서는, 주파수가 변하면 검출 출력이 변하고, 이 경우, 주파수가 높아짐에 따라, 결합도가 낮아진다. 한편, 마그네트론(42)의 기차나 사용에 의한 피크 위치의 추이는 10 MHz 정도이며, 결합도에의 영향은 작다.
- [0062] 여기서, 어느 마그네트론에 있어서의 적절한 파장의 산출에 대해서 설명한다. 도 9는 어느 마그네트론의 리케선도이다. 리케선도는, 마그네트론의 애노드 전압, 애노드 전류, 자계를 일정하게 해 두고, 부하의 상태를 변경하여 선로 상의 정재파비의 크기와 최소점의 위치를 읽어들이며, 동시에 발진 주파수 및 출력을 측정하여, 주파수가 일정해지는 곡선 및 출력이 일정해지는 곡선을 그린 것이다. 도 9에 있어서, 실선 67a, 67b는, 출력 일정 곡선을 나타내고, 파선 68a, 68b, 68c, 68d는, 주파수 일정 곡선을 나타낸다. 실선 67a는, 출력이 6.0(kW)인 경우이고, 실선 67b는, 출력이 5.5(kW)인 경우이다. 또한, 파선 68a는, 주파수가 fo(기본 주파수)-5(MHz)인 경우이고, 파선 68b는, 주파수가 fo(기본 주파수)인 경우이며, 파선 68c는, 주파수가 fo(기본 주파수)+5(MHz)인 경우이고, 파선 68d는, 주파수가 fo(기본 주파수)+10(MHz)인 경우이다. 또한, 점 69a는, 실선 67a와 파선 68b의 교점이며, VSWR=1.0이다. 점 69b는, 실선 67b와 파선 68b의 교점이며, VSWR=1.6이다. 이 마그네트론(42)에 있어서는, 파장이 0.40 λg가 될 때에, 점 69a, 점 69b가 가장 중심에 근접한다. 따라서, 이 마그네트론(42)에 있어서

의 파장에 대해서는,  $0.40 \lambda_g$ 가 적절하다. 그리고, 파장을  $0.40 \lambda_g$ 로 고정하고, VSWR을 변경한다. 한편, 관내 파장  $\lambda_g=158(\text{mm})$ 로 한 경우,  $0.40 \lambda_g$ 는 대략  $63.2(\text{mm})$ 가 된다.

[0063] 다음으로, 애노드 전류와 효율의 관계에 대해서 설명한다. 도 10은 애노드 전류와 효율과의 관계를 도시한 그래프이다. 횡축은, 애노드 전류(A)를 나타내고, 종축은, 효율(%)을 나타낸다. 여기서는, 시험수  $n=100$ 으로 하고 있다. 도 10을 참조하여, 애노드 전류가 낮아지면, 효율이 저하되는 경향이 있고, 애노드 전류가 낮은 범위에서는, 그 경향이 현저해진다. 따라서, 높은 효율을 유지하기 위해서는, 애노드 전류에 대해서는, 높은 것이 바람직하다.

[0064] 다음으로, VSWR의 차이에 의한 애노드 전류와 마이크로파의 출력 전력과의 관계에 대해서 설명한다. 도 11은 VSWR을 변경한 경우의 애노드 전류와 마이크로파의 출력 전력과의 관계를 도시한 그래프이다. 횡축은, 애노드 전류(A)를 나타내고, 종축은, 마이크로파의 출력 전력(W)을 나타낸다. VSWR에 대해서는, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0의 각 값을 나타내고, 각각 선 70a, 70b, 70c, 70d, 70e, 70f, 70g로 나타내고 있다. 도 10을 참조하여, VSWR의 값이 낮으면, 동일한 애노드 전류의 값이어도, 마이크로파의 출력 전력이 큰 것을 파악할 수 있다.

[0065] 다음으로, 애노드 전류의 차이에 의한 VSWR과 애노드 손실과의 관계에 대해서 설명한다. 도 12는 VSWR과 애노드 손실과의 관계를 도시한 그래프이다. 횡축은, VSWR을 나타내고, 종축은, 애노드 손실(W)을 나타낸다. 애노드 전류에 대해서는, 1.01(A), 0.83(A), 0.63(A), 0.43(A), 0.23(A)의 각 값을 나타내고, 각각 선 71a, 71b, 71c, 71d, 71e로 나타내고 있다. 도 12를 참조하여, 애노드 손실에 대해서는, 가능한 한 작은 것이 바람직한데, 애노드 전류가 높으면, 애노드 손실이 높아지는 경향이 있다. 또한, 동일한 애노드 전류의 값이어도, VSWR의 값이 높아짐에 따라, 애노드 손실이 약간 높아지는 경향이 있다. 한편, 도 12 중의 선 71a와 점선의 교점이, VSWR=1.5, 마이크로파의 출력 전력 5000(W)의 경우의 애노드 손실이며, 점선에 있어서, VSWR=1.5, 마이크로파의 출력 전력 5000(W)의 경우의 애노드 손실의 최대 허용값을 나타내고 있다. 그래프의 점선 하측의 영역이면, 애노드 손실에 의해 야기된 발열은 최대 허용값의 애노드 손실에 의해 야기된 것보다 낮다. 따라서, 애노드 손실에 기인한 수명은 최대 허용값의 애노드 손실에 기인한 수명과 같거나 더 길어진다.

[0066] 다음으로, 애노드 손실의 허용값에 관한 애노드 전류와 VSWR과의 관계에 대해서 설명한다. 도 13은 애노드 전류에 대하여 설정할 수 있는 VSWR의 범위를 도시한 그래프이다. 횡축은, 애노드 전류(A)를 나타내고, 종축은, VSWR을 나타낸다. 여기서는, VSWR의 허용 최대값을 7.0으로 하고 있다. 도 13을 참조하여, 애노드 전류가 높아짐에 따라, 허용되는 VSWR의 값은 작아지고, 애노드 전류가 1.0(A)인 경우에는, VSWR의 값은, 2도 허용할 수 있는 것을 파악할 수 있다. 그래프의 하측 부분의 해칭으로 나타내는 영역 72에 있어서, 적절한 VSWR이 선택된다.

[0067] 다음으로, 애노드 전류의 차이에 기초한 VSWR과 마이크로파의 출력 전력과의 관계에 대해서 설명한다. 도 14는 VSWR과 안정된 마이크로파의 출력 전력의 범위와 가능한 저출력과의 관계를 도시한 그래프이다. 횡축은, VSWR을 나타내고, 종축은, 마이크로파의 출력 전력(W)을 나타낸다. 애노드 전류에 대해서는, 1.01(A), 0.23(A), 0.12(A)의 각 값을 나타내고, 각각 실선 73a, 실선 73b, 점선 73c로 나타내고 있다. 도 14를 참조하여, 최대 안정 출력이 얻어지는 것은, 애노드 전류가 1.01(A)인 경우이고, 최소 안정 출력이 얻어지는 것은, 애노드 전류가 0.23(A)인 경우이다. 실선 73a와 실선 73b 사이의 영역이, 안정적으로 마이크로파의 출력이 얻어지는 범위이다. 또한, 최소 가능 출력으로서, 모딩이 발생하지 않는 애노드 전류가 0.12(A)인 경우이다. 최대 안정 출력에 있어서는, VSWR의 값이 증가함에 따라, 출력 전력이 감소하는 경향이 있으나, 최소 안정 출력 및 최소 가능 출력에 있어서는, 그 경향이 작게 나타나고 있다.

[0068] 다음으로, 복수의 마그네트론 사이의 차이에 기초한 마이크로파의 설정 전력과 애노드 전류와의 관계에 대해서 설명한다. 도 15 및 도 16은, 복수의 마그네트론 사이의 차이에 기초한 마이크로파의 설정 전력과 애노드 전류와의 관계를 도시한 그래프이다. 횡축은, 마이크로파의 설정 전력(W)을 나타내고, 종축은, 애노드 전류(A)를 나타낸다. 도 15에서는, 마이크로파의 설정 전력(W)의 범위가 0~3500(W)인 경우를 나타내고, 도 16에서는, 마이크로파의 설정 전력(W)의 범위를 400(W)~1000(W)으로 확대하여 나타낸다. 도 15 및 도 16 중의 선 74a로 나타내는 5개의 그래프는, VSWR이 2.0인 경우의 5개의 상이한 마그네트론의 경우를 나타내고, 도 15 및 도 16 중의 선 74b로 나타내는 5개의 그래프는, VSWR이 1.5인 경우의 5개의 상이한 마그네트론의 경우를 나타낸다. 즉, 5개의 상이한 마그네트론에 있어서, VSWR이 2.0인 경우와 1.5인 경우를 측정하고 있다. 도 15 및 도 16을 참조하여, VSWR을 1.5로부터 2.0으로 함으로써, 애노드 전류를 크게 할 수 있다. 이것은, 5개의 상이한 마그네트론에 있어서도 동일한 경향이다.

[0069] 다음으로, 기본 주파수로부터 벗어나 있는 이주파(異周波; different frequency) 성분에 대해서 설명한다. 마그

네트론이 발진하는 마이크로파의 다른 주파수 특성으로서, 이른바 스퍼리어스라고 불리는 설계상 의도되지 않은 이주파 성분이 있다. 이 이주파 성분은, 고주파에 포함되는 것이다. 이 이주파 성분은, 마그네트론을 사용함에 따라, 증가하는 경향이 있다. 이 이주파 성분의 증가는, 마그네트론이 발진하는 고주파가 전파하는 도파로, 정합기에 있어서, 반사파를 발생시킨다. 이 반사파가 발생하면, 마그네트론의 실효 파워나 마이크로파를 발생시킬 때의 부하의 임피던스가 변화하게 되어, 바람직하지 않다. 따라서, 이러한 이주파 성분에 대해서는, 가능한 한 그 영향을 작게 하는 것이 바람직하다.

[0070] 도 17 및 도 18은, VSWR을 1.5로 했을 때와, VSWR을 2.0으로 했을 때의 스펙트럼의 형상을 도시한 그래프이다. 도 17은 마이크로파의 설정 전력을 700(W)으로 한 경우이고, 도 18은 마이크로파의 설정 전력을 2500(W)으로 한 경우이다. 횡축은 각각, 주파수(Hz)를 나타내고, 종축은 각각, 스펙트럼 강도(dB)를 나타낸다. 선 75a, 75c는, VSWR을 1.5로 했을 때를 나타내고, 선 75b, 75d는, VSWR을 2.0으로 했을 때를 나타낸다. 도 15를 참조하여, 마이크로파의 설정 전력이 700(W)인 경우에 있어서, VSWR을 1.5로 했을 때에는, 도 17에서 화살표 C<sub>1</sub>로 나타내는 사이드 밴드 피크가 나타난다. 이러한 사이드 밴드 피크는, 이주파 성분, 이른바 스퍼리어스의 하나이다. 이에 비하여, VSWR을 2.0으로 했을 때에는, 이러한 사이드 밴드 피크와 같은 스퍼리어스가 거의 출현하고 있지 않다. 즉, 이 마그네트론에 있어서는, VSWR을 1.5로부터 2.0으로 함으로써, 이주파 성분의 영향을 작게 할 수 있다. 한편, 도 18을 참조하여, 마이크로파의 설정 전력을 2500(W)으로 한 경우에 대해서는, VSWR을 1.5로 했을 때에 있어서, 약간 피크의 스킵트의 영역이 넓지만, VSWR을 2.0으로 했을 때에, 피크의 스킵트의 영역이 좁아지는 경향이 있다.

[0071] 도 19는 VSWR을 1.5로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 스퍼리어스 강도와의 관계를 도시한 그래프이다. 도 20은 VSWR을 2.0으로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 스퍼리어스 강도와의 관계를 도시한 그래프이다. 도 21은 마이크로파의 설정 전력과, VSWR을 1.5로 한 경우로부터 VSWR을 2.0으로 한 경우를 뺀 스퍼리어스 강도의 차분과의 관계를 도시한 그래프이다. 도 19 내지 도 21에 있어서 횡축은 각각, 마이크로파의 설정 전력(W)을 나타내고, 종축은 도 19 및 도 20에서는 각각, 스퍼리어스 강도(dB), 도 21에서는, 스퍼리어스 강도의 차분(dB)을 나타낸다. 한편, 도 19 내지 도 21에 있어서, 검은 마름모꼴 표시, 검은 사각표, 검은 삼각표, 가위표, ※표로 나타나는 5개의 데이터에 대해서는, 각각 상이한 장치, 즉 5개의 상이한 마그네트론에서 측정된 결과를 나타내는 것이다. 도 19 내지 도 21을 참조하여, VSWR을 2.0으로 했을 때에는, VSWR을 1.5로 했을 때와 비교하여, 특히 저전력측에 있어서 사이드 밴드 피크가 감소하고 있는 것을 파악할 수 있다.

[0072] 도 22는 VSWR을 1.5로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 피크 강도와의 관계를 도시한 그래프이다. 도 23은 VSWR을 2.0으로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 피크 강도와의 관계를 도시한 그래프이다. 도 24는 마이크로파의 설정 전력과, VSWR을 1.5로 한 경우로부터 VSWR을 2.0으로 한 경우를 뺀 피크 강도의 차분과의 관계를 도시한 그래프이다. 도 22 내지 도 24에 있어서 횡축은 각각, 마이크로파의 설정 전력(W)을 나타내고, 종축은 도 22 및 도 23에서는 각각, 피크 강도(dB), 도 24에서는, 피크 강도의 차분(dB)을 나타낸다. 한편, 도 22, 도 23에 있어서, 검은 마름모꼴 표시, 검은 사각표, 검은 삼각표, 가위표, ※표로 나타나는 5개의 데이터에 대해서는, 각각 상이한 장치, 즉 5개의 상이한 마그네트론에서 측정된 결과를 나타내는 것이다. 도 24에 있어서, 선 76a는, VSWR을 1.5로 했을 때에 있어서 5개의 마그네트론의 최대값으로부터 5개의 마그네트론의 최소값을 뺀 경우를 나타내고, 선 76b는, VSWR을 2.0으로 했을 때에 있어서 5개의 마그네트론의 최대값으로부터 5개의 마그네트론의 최소값을 뺀 경우를 나타낸다. 도 22 내지 도 24를 참조하여, VSWR을 1.5로 했을 때에는, 저전력측에서 그 값의 변동이 크다. 이에 비하여, VSWR을 2.0으로 했을 때에는, 저전력측에서도 그 값의 변동이 작다.

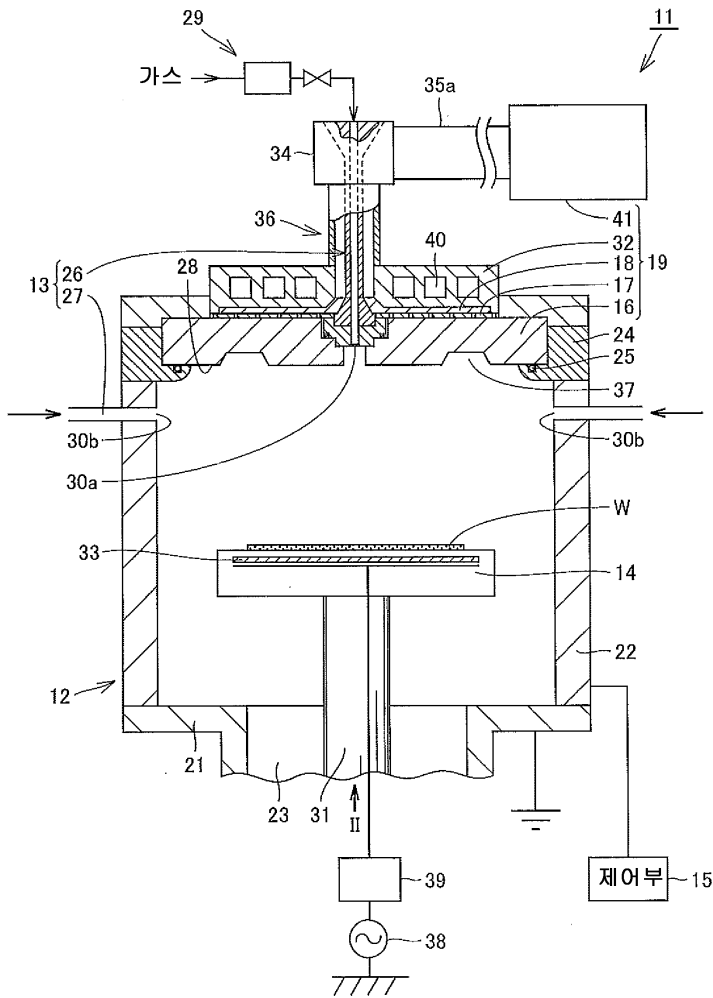
[0073] 다음으로, 발진되는 기본 주파수에 대해서 설명한다. 도 25는, VSWR을 1.5로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 주파수와의 관계를 도시한 그래프이다. 도 26은 VSWR을 2.0으로 했을 때의 마이크로파의 설정 전력과 주파수와의 관계를 도시한 그래프이다. 도 27은 VSWR을 1.5로 한 경우, VSWR을 2.0으로 한 경우에 있어서의 마이크로파의 설정 전력과 주파수의 차분과의 관계를 도시한 그래프이다. 도 25 내지 도 27에 있어서 횡축은 각각, 마이크로파의 설정 전력(W)을 나타내고, 종축은 도 25 및 도 26에서는 각각, 주파수(MHz), 도 27에서는, 주파수의 차분(MHz)을 나타낸다. 한편, 도 22 내지 도 27에 있어서, 검은 마름모꼴 표시, 검은 사각표, 검은 삼각표, 가위표, ※표로 나타나는 5개의 데이터에 대해서는, 각각 상이한 장치, 즉 5개의 상이한 마그네트론에서 측정된 결과를 나타내는 것이다. 즉, 2463±5(MHz)를 규격했을 때에, VSWR을 1.5로 했을 때와 VSWR을 2.0으로 했을 때 모두, 평균수 n=5일 때 규격 내로 되어 있다. 또한, 마이크로파의 설정 전력이 작을 때, 주파수는, VSWR을 2.0으로 했을 때에 커진다. 그러나, 마이크로파의 설정 전력이 커지면, 주파수는, VSWR을 1.5로 했을 때 쪽이 커진다.



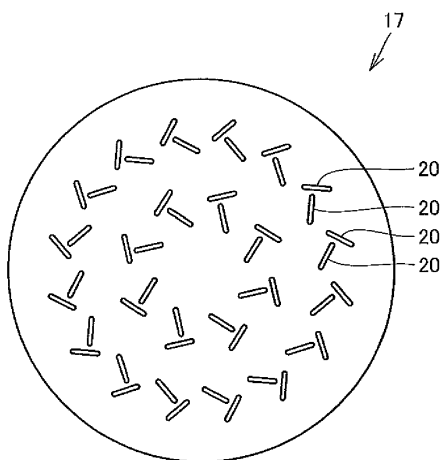
- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 23: 배기 구멍   | 24: 덮개부                    |
| 25: O링  | 28: 하면                     |
| 29: 가스 공급계  | 30a, 30b: 가스 공급 구멍         |
| 31: 통형 지지부  | 32: 냉각 재킷                  |
| 33: 온도 조정 기구  | 34: 모드 변환기                 |
| 35a, 35b, 35c: 도파관  | 36: 동축 도파관                 |
| 37: 오목부   | 38: 고주파 전원                 |
| 39: 매칭 유닛   | 40: 순환로                    |
| 41: 마이크로파 발생기   | 42: 마그네트론                  |
| 43: 고압 전원   | 44a: 캐소드 전극                |
| 44b: 애노드 전극   |                            |
| 45, 55a, 55b, 57a, 57b: 회로  | 46: 필라멘트 전원                |
| 47: 발진부   | 48: 론치                     |
| 49: 아이슬레이터  | 50: 부하                     |
| 51: 4E 튜너   | 52a, 52b, 52c, 52d: 가동 단락부 |
| 53a, 53b, 53c: 프로브  | 53d: 연산 회로                 |
| 54: 방향성 결합기   | 60, 65: 도파로                |
| 55c, 55d: 검출기   | 56: 전압 제어 회로               |
| 58a, 58b, 58c: 단자   | 59: 더미 부하                  |
| 61: 전압 정재파비 가변 기구   | 62: 스퍼브 기구                 |
| 63: 드라이버  | 64a, 64b, 64c: 막대형 부재      |
| 66a, 66b, 66c, 67a, 67b, 68a, 68b, 68c, 68d, 70a, 70b, 70c, 70d, 70e, 70f, 70g, 71a, 71b, 71c, 71d, 71e, 73a, 73b, 73c, 74a, 74b, 75a, 75b, 75c, 75d, 76a, 76b, 77a, 77b, 78a, 78b: 선 |                            |
| 69a, 69b: 접   | 72: 영역                     |

도면

도면1

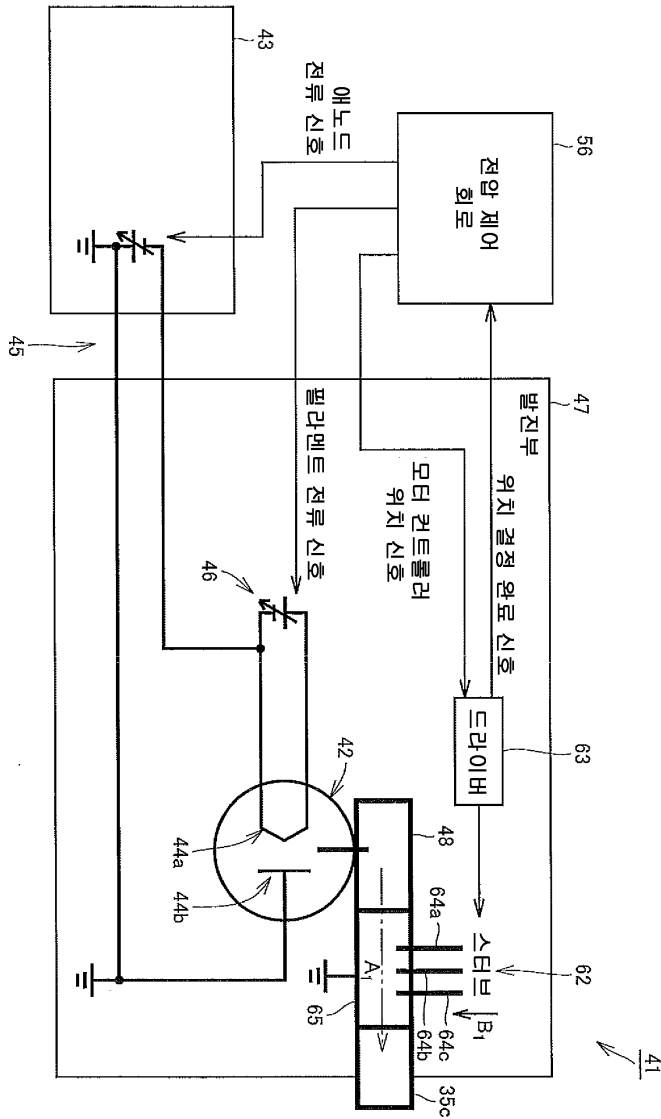


도면2

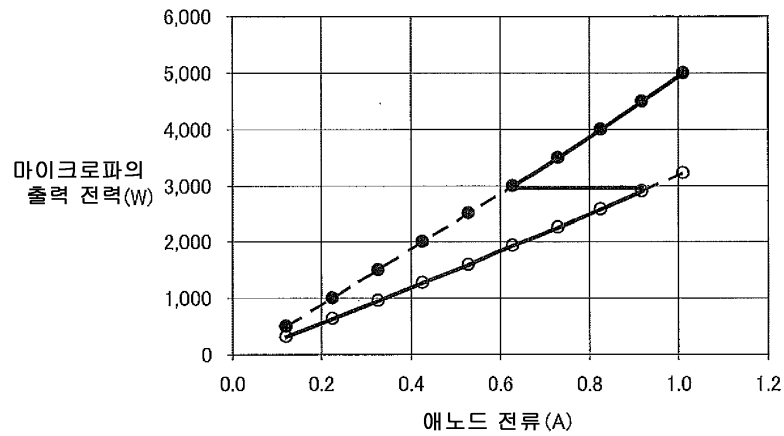




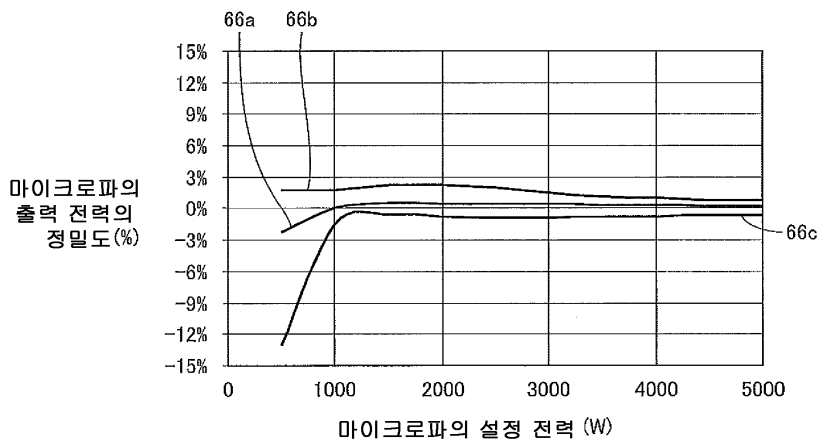
도면5



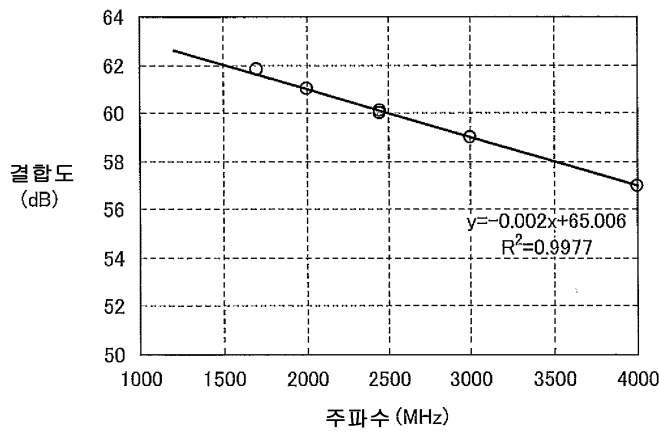
도면6



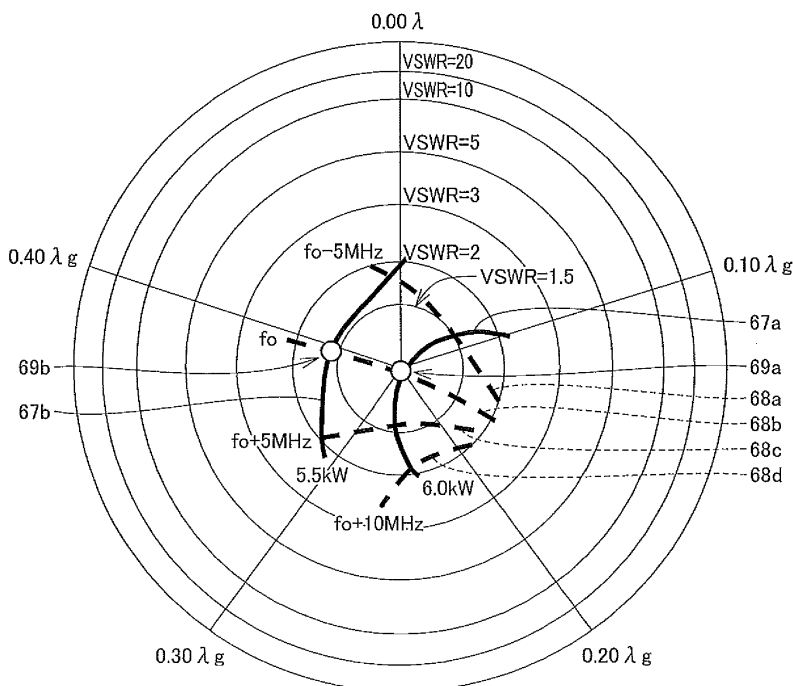
도면7



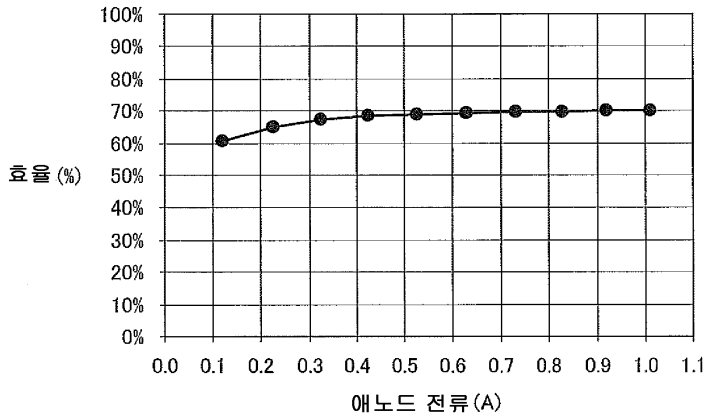
도면8



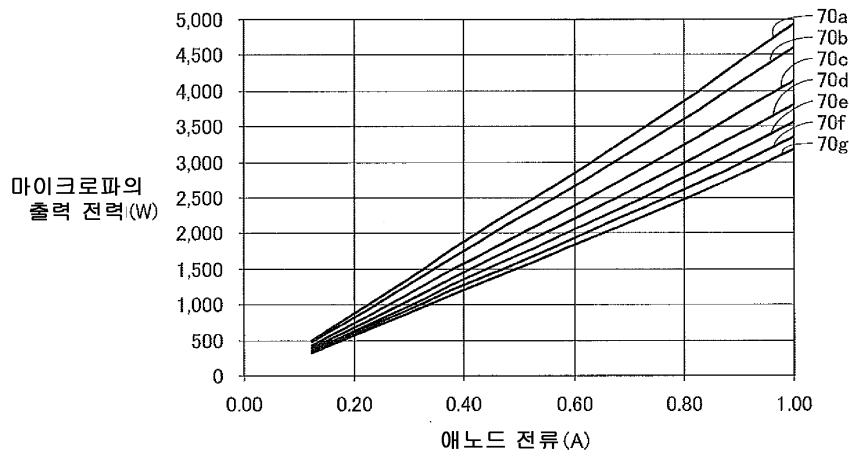
도면9



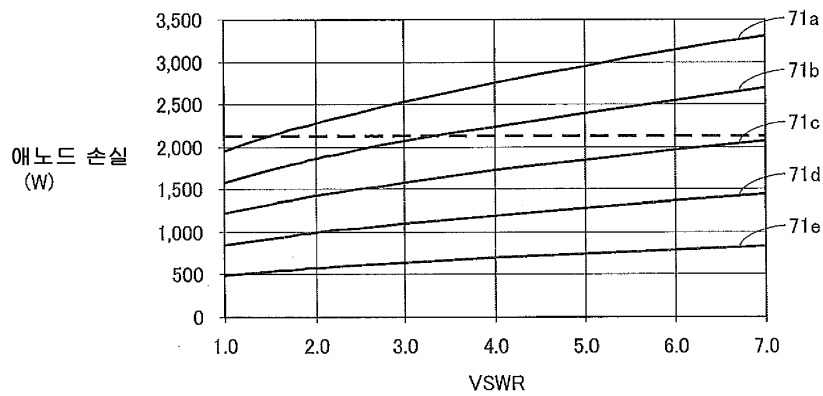
도면10



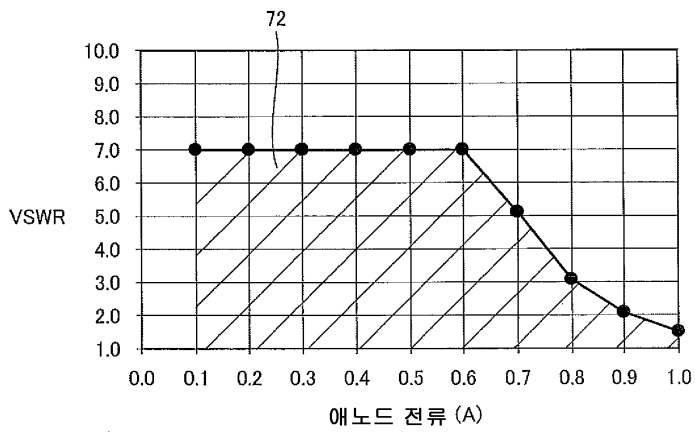
도면11



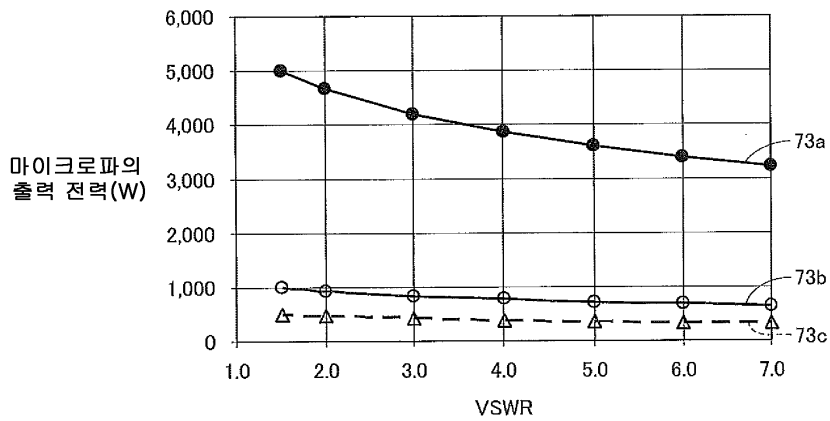
도면12



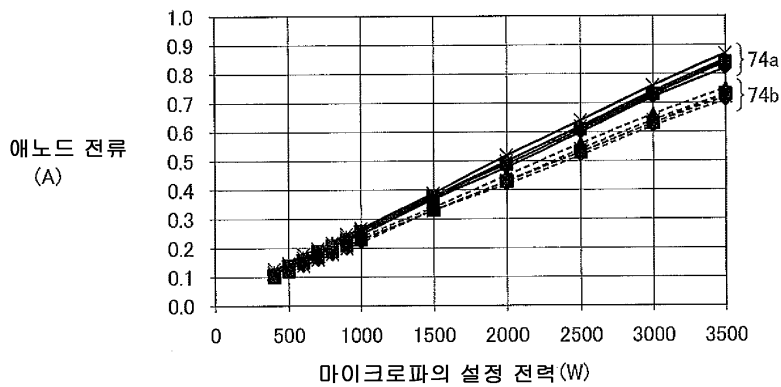
도면13



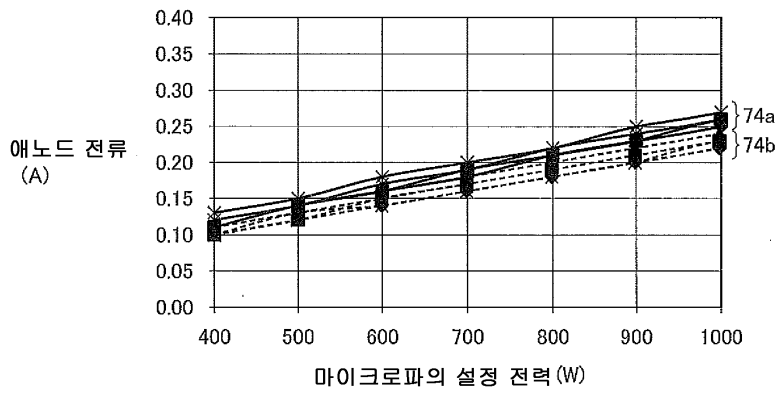
도면14



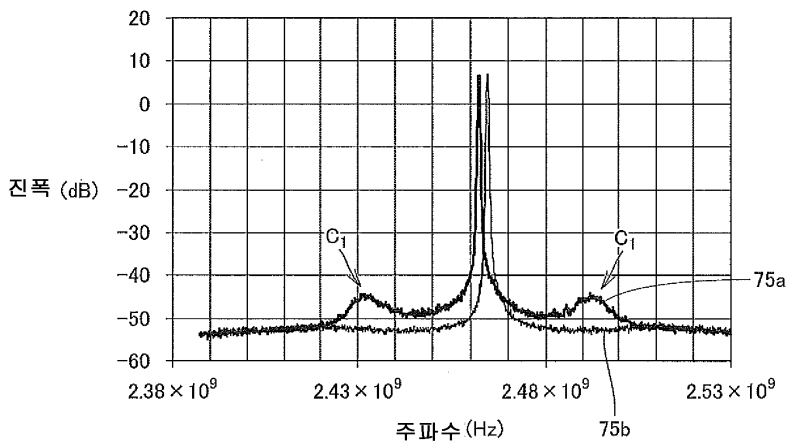
도면15



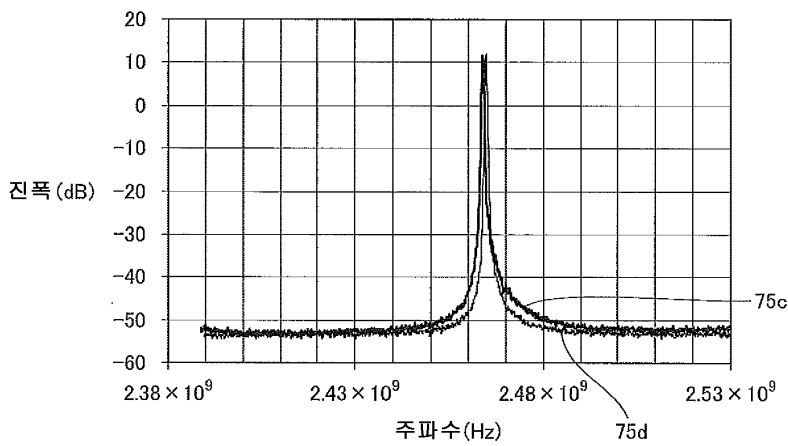
도면16



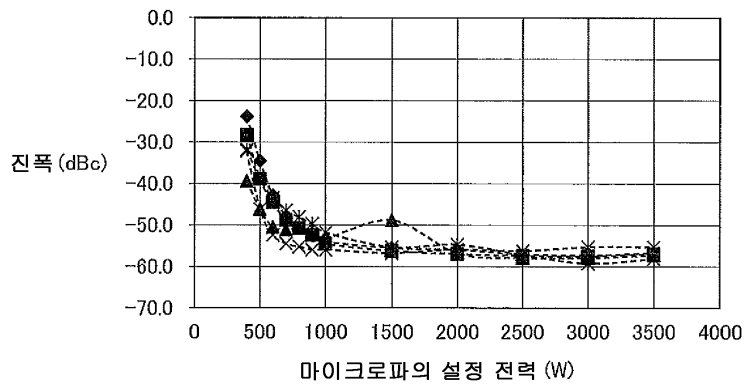
도면17



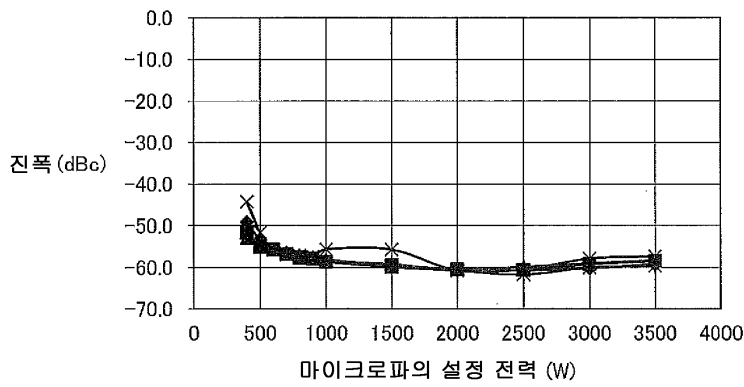
도면18



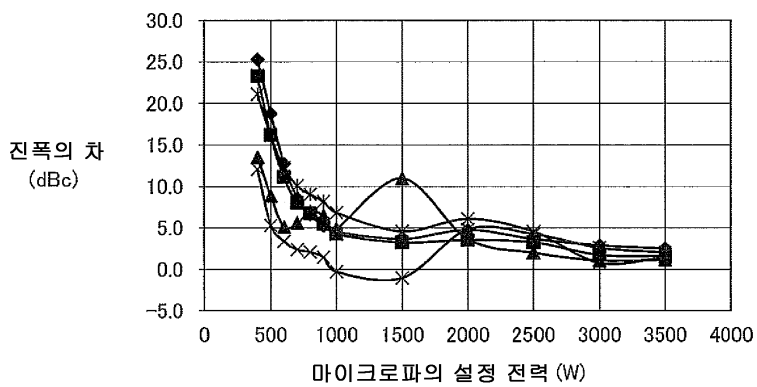
도면19



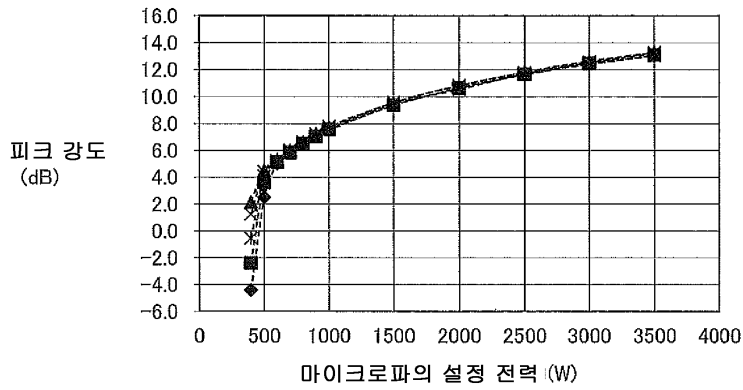
도면20



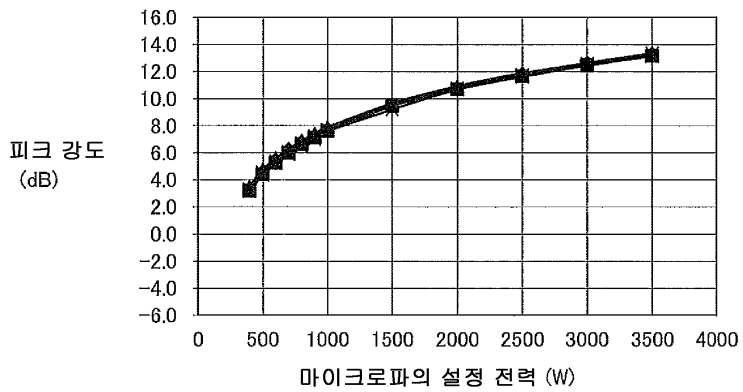
도면21



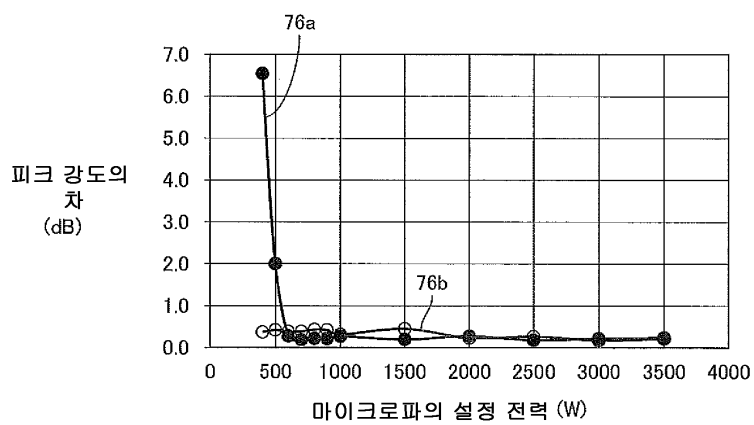
도면22



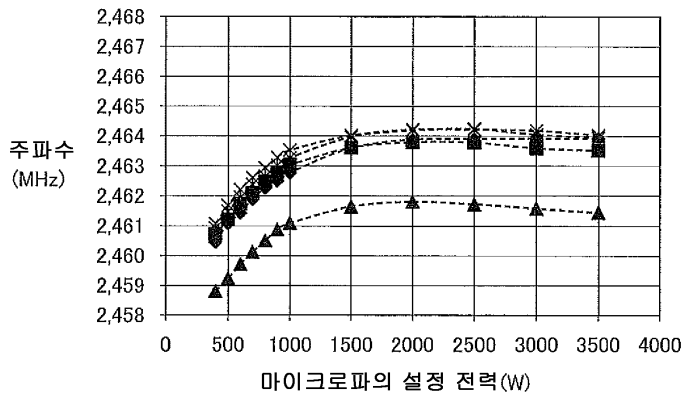
도면23



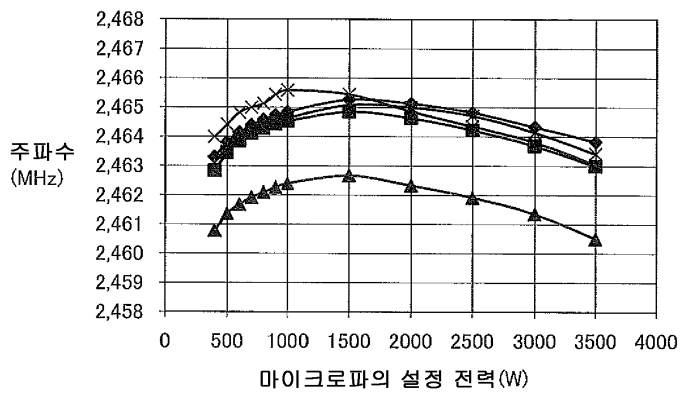
도면24



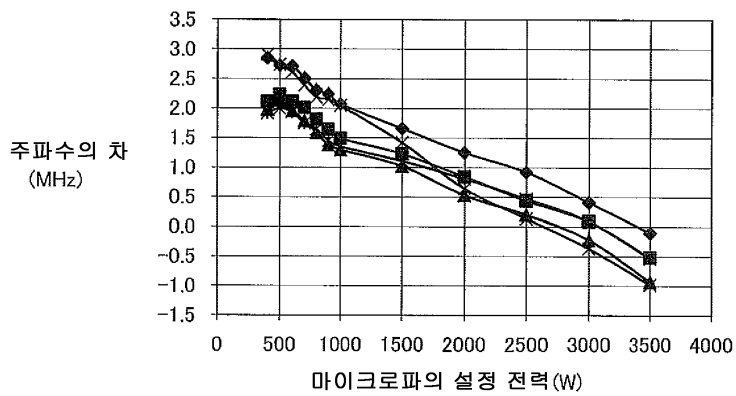
도면25



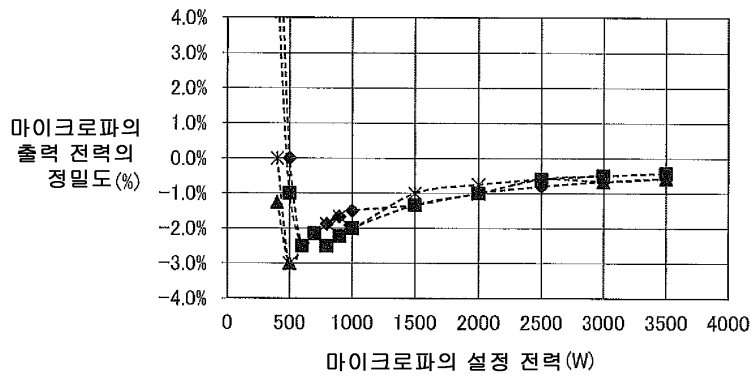
도면26



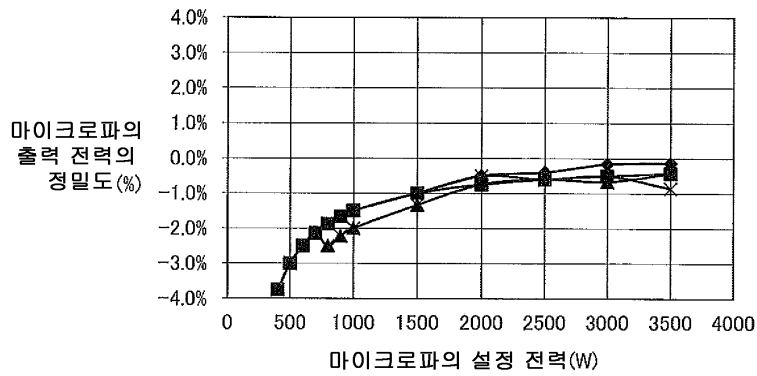
도면27



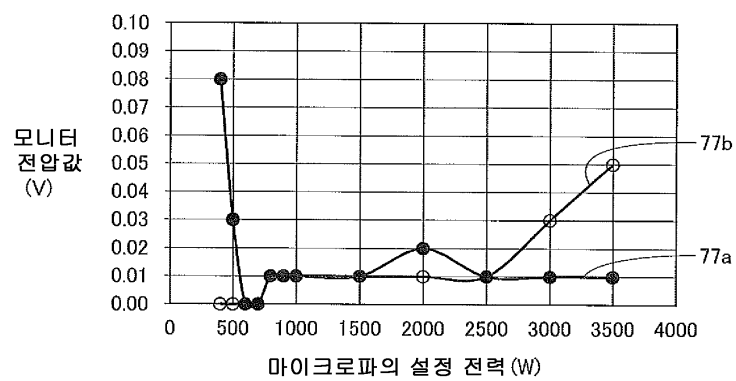
도면28



도면29



도면30



도면31

