



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2007년10월17일
(11) 등록번호 10-0767492
(24) 등록일자 2007년10월09일

(51) Int. Cl.

H01L 21/205(2006.01)

(21) 출원번호 10-2005-7017916

(22) 출원일자 2005년09월23일

심사청구일자 2005년11월18일

번역문제출일자 2005년09월23일

(65) 공개번호 10-2005-0117576

공개일자 2005년12월14일

(86) 국제출원번호 PCT/JP2004/004070

국제출원일자 2004년03월24일

(87) 국제공개번호 WO 2004/086483

국제공개일자 2004년10월07일

(30) 우선권주장

JP-P-2003-00083292 2003년03월25일 일본(JP)

JP-P-2004-00076958 2004년03월17일 일본(JP)

(56) 선행기술조사문헌

JP13345312 A

JP14220668 A

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 이별섭

(54) 플라즈마 성막방법 및 플라즈마 성막장치

(57) 요약

이 플라즈마 성막방법 및 장치에 있어서는, 진공 챔버의 윗면 개구부를 유전체로 막고, 그 윗면측에 평면 안테나 부재를 설치한다. 이 평면 안테나부재의 윗면측에 동축 도파관을 설치하고, 이 도파관에 마이크로파 발생수단을 접속한다. 평면 안테나부재에는, 동심원형상으로 예를 들면 마이크로파의 반파장의 길이의 슬롯을 다수 설치하고, 이들 슬롯으로부터 예를 들면 원편파로서 마이크로파를 처리 분위기로 방사하여 원료 가스를 플라즈마화하고, 평균자속속도로 정의한 전자 온도가 3eV이하이고, 또한 전자 밀도가 5×10^{11} 개/cm³ 이상이 되는 플라즈마를 발생시켜 불소첨가 카본막을 성막한다. 이 경우 프로세스 압력을 19.95Pa이하로 설정하여 프로세스를 행하는 것이 바람직하다. 이와 같이 함으로써, 플라즈마를 이용하여 불소첨가 카본막을 성막함에 있어서, 원료가스 예를 들면 C₆F₈가스의 분자 결합을 적절히 분해하여 CF결합이 긴 연쇄구조를 얻고, 이에 따라 유전율이 낮고 리크 전류가 작은 뛰어난 층간절연막을 성막할 수 있다.

(72) 발명자

아사노 아키라

일본국 야마나시켄 니라사키시 호사카초 미쓰자와
650반치 동경엘렉트론 주식회사 내

테라이 야스히로

일본국 야마나시켄 니라사키시 호사카초 미쓰자와
650반치 동경엘렉트론 주식회사 내

니시자와 겐이치

일본국 야마나시켄 니라사키시 호사카초 미쓰자와
650반치 동경엘렉트론 주식회사 내

특허청구의 범위

청구항 1

기밀인 처리용기내의 얹어놓음부에 얹어놓여진 기관에 대해서, 플라즈마에 의하여 원료가스를 활성화시켜 절연막을 성막하는 플라즈마 성막방법에 있어서,

상기 원료가스는 C_5F_8 가스이고,

C_5F_8 가스 공급구와 상기 기관의 표면과의 사이의 공간에 있어서의 전자 온도가 $2eV$ 이하이고, 또한 전자 밀도가 5×10^{11} 개/cm³이상이고,

처리분위기의 압력이 $19.95Pa$ 이하이고,

상기 기관에 성막된 절연막은, 비유전율이 2.3 이하이고 또한 리크전류가 $5 \times 10^{-8} A/cm^2$ 이하인 불소첨가 카본막인 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 마이크로파를, 도파관을 끼워넣어, 얹어놓음부에 마주보도록 설치된 평면 안테나부재로 유도하여, 이 평면 안테나부재에 둘레방향을 따라서 형성된 다수의 슬롯으로부터 상기 마이크로파를 방출하고, 이 마이크로파의 에너지에 의해서 원료가스를 플라즈마화하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 슬롯의 길이는, 상기 평면 안테나부재에 있어서의 상기 도파관측의 마이크로파의 파장의 $1/2$ 과, 상기 평면 안테나부재에 있어서의 상기 플라즈마 발생공간측의 마이크로파의 파장의 $1/2$ 사이의 치수로 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막방법.

청구항 4

제 2 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 다수의 슬롯은, 상기 평면 안테나부재의 중앙부를 중심으로 동심원형상 또는 소용돌이 형상으로 배열되어 있는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막방법.

청구항 5

제 2 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 평면 안테나부재로부터 원편파 또는 직선편파로서 마이크로파가 방사되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

기관을 얹어놓는 얹어놓음부가 내부에 설치된 기밀인 처리용기와,

상기 기관에 절연막을 형성하기 위한 C_5F_8 가스를 상기 처리용기내에 공급하기 위한 C_5F_8 가스 공급부와,

상기 C_5F_8 가스를 플라즈마화하기 위한 마이크로파를 발생하는 마이크로파 발생기와,

이 마이크로파 발생수단에서 발생한 마이크로파를 상기 처리용기내로 유도하기 위한 도파관과,

이 도파관에 접속됨과 동시에 상기 없어놓음부에 마주보게 설치되어, 둘레방향을 따라서 다수의 슬롯이 형성된 평면 안테나부재를 구비하고,

플라즈마에 의하여 C_5F_8 가스를 활성화시키고, 상기 C_5F_8 가스공급구와 상기 기관의 표면과의 사이의 공간에 있어서의 전자온도를 2eV이하로 하고, 또한 전자밀도를 5×10^{11} 개/cm³ 이상으로 하며, 처리분위기의 압력을 19.95Pa 이하로 하여, 상기 없어놓음부에 없어놓인 기관에 대하여 성막처리를 행하고, 비유전율이 2.3이하이고 또한 리크전류가 5×10^{-8} A/cm² 이하인 불소침가 카본절연막을 형성하는 것을 특징으로 하는 성막장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 슬롯의 길이는, 상기 평면 안테나부재에 있어서의 상기 도파관측의 마이크로파의 파장의 1/2과, 상기 평면 안테나부재에 있어서의 상기 플라즈마 발생공간측의 마이크로파의 파장의 1/2 사이의 치수로 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막장치.

청구항 11

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서, 상기 다수의 슬롯은, 상기 평면 안테나부재의 중앙부를 중심으로 동심원형상 또는 소용돌이 형상으로 배열되어 있는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막장치.

청구항 12

제 9 항 또는 제 10 항에 있어서, 상기 평면 안테나부재로부터 원편파 또는 직선편파로서 마이크로파가 방사되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막장치.

청구항 13

제 4 항에 있어서, 상기 평면 안테나부재로부터 원편파 또는 직선편파로서 마이크로파가 방사되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서, 상기 평면 안테나부재로부터 원편파 또는 직선편파로서 마이크로파가 방사되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 성막장치.

명세서

기술 분야

- <1> 본 발명은, 절연막, 예를 들면 불소침가 카본막(플루오로 카본막)을 플라즈마에 의해서 성막하는 플라즈마 성막 방법 및 플라즈마 성막장치에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 반도체 디바이스의 고집적화를 도모하기 위한 하나의 수법으로서 다층배선 구조가 채택되고 있다. 다층배선 구조를 취하기 위해서는, n층째의 배선층과 (n+1)층째의 배선층의 사이를 도전층에서 접속함과 동시에, 도전층 이외의 영역은 층간 절연막으로 불리는 박막이 형성된다. 이 층간절연막의 대표적인 것으로서 실리콘 산화막이 있지만, 디바이스의 동작 속도를 더 한층 빨리 하기 위해서 층간절연막의 비유전율을 낮게 하는 것이 요구되고 있다.
- <3> 이러한 배경으로부터 불소침가 카본막이 주목받고 있으며, 이 불소침가 카본막에 의하면 실리콘 산화막에 비해 대폭 비유전율을 내릴 수 있다. 이러한 불소침가 카본막의 성막방법으로서, 일본 특개평 11-162960호 공보가 알려져 있다. 이 문헌의 단락 0016으로부터 0018에는, 이 불소침가 카본막의 원료가스로서 고리형상 구조의 C_5F_8 를 이용하여, 2.45GHz의 마이크로파와 875 가우스의 자장과의 상호작용에 의해 전자 사이크로트론 공명(ECR)을 일으켜 Ar가스 등의 플라즈마 발생용 가스를 플라즈마화하여, 이 플라즈마에 의해 상기 C_5F_8 가스를 플라즈마화하여 불소침가 카본막을 반도체 웨이퍼(이하 웨이퍼라고 한다) 위에 성막하는 것이 기재되어 있다.
- <4> 원료가스로서는 C_4F_8 등도 알려져 있지만, C_5F_8 을 이용하면 도 8에 나타낸 바와 같이 그 분해생성물은 입체 구조

를 만들기 쉽고, 이 결과 C-F결합이 강고하게 되어 유전율이 낮고, 리크 전류도 작으며, 또한 막강도가 크고 내(耐)스트레스성도 큰 층간절연막을 얻을 수 있는 이점이 있다.

<5> 그런데 플라즈마 성막을 실시함에 있어서, 프로세스 압력을 높게 하면 기상(氣相)중에서 반응이 일어나기 쉽고, 그 반응생성입자가 웨이퍼상에 부착하여 그 입자가 파티클로서 반응도중 등에 비산할 우려가 있다. 또한 플라즈마내의 전자 밀도가 낮아져 성막 속도가 느려지고, 스루풋의 저하로 인해 대량생산 프로세스에는 적용할 수 없게 되어 버린다. 이 때문에 프로세스 압력(처리분위기의 압력)을 예를 들면 100Pa보다도 낮은 압력으로 설정하여 성막하는 것이 전제가 된다.

<6> 그러나 프로세스 압력을 낮게 하면, 플라즈마내의 전자 온도가 높아져, 원료 가스가 과도하게 분해하여, 즉 분자가 말하자면 가늘게 잘리게 되어 전혀 다른 조성이나 구조가 되어 버려, 원래의 원료 조성이나 구조를 살릴 수 없게 된다. 예를 들면 C_5F_8 가스를 원료로서 이용했을 경우에는, 가늘게 분해된 분해생성물이 웨이퍼상에 내려 쌓여 아몰포스 상태가 되어 버리고, 이 때문에 비유전율이 낮은 막을 얻을 수 없고, 또한 리크 전류 등의 전기특성, 막강도나 스트레스 내성 등의 기계적 특성, 내수성 등의 화학적 특성이 열화해 버린다. 예를 들면 C_5F_8 가스의 이점은, (CF_2) 의 입체적인 연쇄구조를 얻고, 저유전율이고 기계특성 등이 뛰어난 불소첨가 카본막을 얻는 것에 있지만, 실제로는 이러한 이점을 살리지 못하는 것이 현 상황이다. 프로세스 압력을 높게 하면 전자 온도가 내려가고, 원료의 과도한 분해는 피할 수 있지만, 그렇게 되면 이미 설명한 바와 같이 파티클, 성막속도의 문제가 부상하고, 결국 이들 파라미터는 트레이드 오프의 관계에 있어, 이 결과 불소첨가 카본막의 실현화를 막는 요인의 하나가 되고 있다.

<7> 본 발명은, 원료가스를 플라즈마화하여 절연막을 성막함에 있어서, 원료 조성을 살려 본래의 분자결합을 가진 절연막을 얻을 수 있는 장치 및 방법을 제공하는 데에 있다. 본 발명의 다른 목적은, 저유전율이고 전기특성이 뛰어난 절연막을 얻을 수 있는 성막장치 및 성막방법을 제공하는 것에 있다.

발명의 상세한 설명

<8> 상기 목적을 달성하기 위해서, 청구의 범위 제 1 항에 기재된 발명은, 기밀의 처리용기내의 얹어놓음부에 얹어놓은 기관에 대해서, 원료 가스를 플라즈마화한 플라즈마에 의해 절연막을 성막하는 플라즈마 성막방법에 있어서, 원료가스 공급구와 상기 기관의 표면과의 사이의 플라즈마 발생공간에 있어서의 평균자속속도로 정의한 전자 온도가 3eV 이하이고, 또한 전자밀도가 5×10^{11} 개/cm³ 이상인 것을 특징으로 한다.

<9> 이 발명에 의하면, 전자 온도가 3eV이하이기 때문에, 원료가스를 과도하게 분해하는 것을 억제할 수 있고, 이 때문에 원료 가스의 특성을 살린 본래의 분자 구조를 얻을 수 있어, 예를 들면 저유전율이고 전기특성이 뛰어난 절연막을 얻을 수 있다.

<10> 청구의 범위 제 2 항에 기재된 발명은, 마이크로파를, 도파관을 끼워넣어, 얹어놓음부에 마주보도록 설치된 평면 안테나부재로 유도하여, 이 평면 안테나부재에 둘레방향에 따라서 형성된 다수의 슬롯으로부터 상기 마이크로파를 방출하고, 이 마이크로파의 에너지에 의해서 원료가스를 플라즈마화하는 것을 특징으로 한다.

<11> 청구의 범위 제 3 항에 기재된 발명은, 상기 슬롯의 길이는, 상기 평면 안테나부재에 있어서의 상기 도파관측의 마이크로파의 파장의 1/2과, 상기 평면 안테나 부재에 있어서의 상기 플라즈마 발생공간측의 마이크로파의 파장의 1/2과의 사이의 치수로 설정되어 있는 것을 특징으로 한다.

<12> 청구의 범위 제 4 항에 기재된 발명은, 상기 다수의 슬롯은, 상기 평면 안테나부재의 중앙부를 중심으로 동심원형상 또는 소용돌이형상으로 배열되어 있는 것을 특징으로 한다.

<13> 청구의 범위 제 5 항에 기재된 발명은, 상기 평면 안테나부재로부터 원편파 또는 직선편파로서 마이크로파가 방사되는 것을 특징으로 한다.

<14> 청구의 범위 제 6 항에 기재된 발명은, 처리 분위기의 압력이 19.95Pa이하인 것을 특징으로 한다. 이 발명에 의하면, 처리 용기내의 압력을 19.95Pa(150mTorr) 이하로 설정하여 성막을 행하도록 하고 있기 때문에, 후술하는 실험예로부터도 알 수 있듯이, 프로세스 조건을 선택함으로써 저유전율이고 전기특성이 뛰어난 절연막을 얻을 수 있다.

<15> 청구의 범위 제 7 항에 기재된 발명은, 상기 기관에 성막되는 절연막은, 불소첨가 카본막인 것을 특징으로 한다.

- <16> 청구의 범위 제 8 항에 기재된 발명은, 상기 원료 가스는 F_8 가스인 것을 특징으로 한다.
- <17> 청구의 범위 제 9 항에 기재된 발명은, 기관을 얹어 놓는 얹어놓음부가 내부에 설치된 기밀(氣密)의 처리용기와, 상기 기관에 절연막을 형성하기 위한 원료가스를 상기 처리 용기내에 공급하기 위한 원료가스 공급부와, 상기 원료가스를 플라즈마화하기 위한 마이크로파를 발생하는 마이크로파 발생기와, 이 마이크로파 발생수단에서 발생한 마이크로파를 상기 처리용기내로 유도하기 위한 도파관과, 이 도파관에 접속됨과 동시에 상기 얹어놓음부에 마주보도록 설치되고, 둘레방향을 따라서 다수의 슬롯이 형성된 평면 안테나부재를 구비하고, 상기 원료가스 공급부의 원료가스 공급구와 상기 기관의 표면과의 사이의 플라즈마 발생공간에 있어서의 평균자속속도로 정의한 전자 온도가 3eV이하이고, 또한 전자 밀도가 $5 \times 10^{11} \text{개/cm}^3$ 이상이 되도록 구성된 것을 특징으로 한다.
- <18> 청구의 범위 제 10 항에 기재된 발명은, 상기 슬롯의 길이는, 상기 평면 안테나부재에 있어서의 상기 도파관측의 마이크로파의 파장의 1/2과, 상기 평면 안테나부재에 있어서의 상기 플라즈마 발생공간측의 마이크로파의 파장의 1/2과의 사이의 치수로 설정되어 있는 것을 특징으로 한다.
- <19> 청구의 범위 제 11 항에 기재된 발명은, 상기 다수의 슬롯은, 상기 평면 안테나부재의 중앙부를 중심으로 동심원형상 또는 소용돌이 형상으로 배열되어 있는 것을 특징으로 한다.
- <20> 청구의 범위 제 12 항에 기재된 발명은, 상기 평면 안테나부재로부터 원편파 또는 직선편파로서 마이크로파가 방사되는 것을 특징으로 한다.
- <21> 청구의 범위 제 13 항에 기재된 발명은, 상기 기관에 성막되는 박막은, 불소첨가 카본막인 것을 특징으로 한다.
- <22> 청구의 범위 제 14 항에 기재된 발명은, 상기 원료가스는 F_8 가스인 것을 특징으로 한다.

실시예

- <31> 이하에 본 발명의 플라즈마 성막장치의 일 실시형태에 대하여 도 1 내지 도 7을 이용하여 설명한다. 도 1에 나타난 바와 같이, 이 플라즈마 성막장치는, 래디얼 라인 슬롯 안테나를 이용하여 플라즈마를 발생시키는 CVD(chemical vapor deposition) 장치이다. 도면 중 1은 예를 들면 전체가 통체형상으로 구성된 처리 용기(진공 챔버)이고, 이 처리용기(1)의 측벽이나 바닥부는, 도체 예를 들면 Al 첨가 스텐레스 스틸 등으로 구성되고, 내벽면에는 산화 알루미늄으로 이루어지는 보호막이 형성되어 있다.
- <32> 처리용기(1)의 거의 중앙에는, 기관 예를 들면 웨이퍼(W)를 얹어놓기 위한 얹어놓음부인 얹어놓음대(11)가 절연재(11a)를 끼워넣어 설치되어 있다. 이 얹어놓음대(11)는 예를 들면 질화알루미늄(AlN) 혹은 산화알루미늄(Al_2O_3)으로 구성되고, 내부에는 냉각매체를 흐르게 하는 냉각 재킷(11b)이 설치됨과 동시에, 이 냉각 재킷(11b)과 아울러 온도조절을 형성하는 도시하지 않은 히터가 설치되어 있다. 얹어놓음대(11)의 얹어놓음면은 정전 척으로서 구성되어 있다. 또한 얹어놓음대(11)에는 예를 들면 13.56MHz의 바이어스용 고주파 전원(12)이 접속되어, 바이어스용 고주파에 의해 얹어놓음대(11)의 표면을 음 전위로 함으로써 플라즈마내의 이온을 높은 수직성으로 끌어들이도록 하고 있다.
- <33> 상기 처리용기(1)의 천정부에는 개방되어 있으며, 이 부분에는 O링 등의 시일 부재(도시하지 않음)를 끼워넣어, 얹어놓음대(11)와 마주보도록, 예를 들면 평면 형상이 대략 원형상으로 구성된 제 1 가스공급부(2)가 설치되어 있다. 이 가스공급부(2)는 예를 들면 Al2O3에 의해 구성되고, 얹어놓음대(11)와 마주보는 면에는 다수의 제 1 가스공급구멍(21)이 형성되어 있다. 가스공급부(2)의 내부에는 가스공급구멍(21)의 일끝단측과 연이어 통하는 가스유로(22)가 형성되어 있으며, 이 가스유로(22)에는 제 1 가스공급로(23)의 일끝단측이 접속되고 있다. 한편, 제 1 가스공급로(23)의 다른 끝단측은 플라즈마 가스인 아르곤(Ar) 가스나 크립톤(Kr) 가스 등의 공급원(24) 및 수소(H_2) 가스의 공급원(25)이 접속되어 있고, 이들 가스는, 제 1 가스공급로(23)를 통하여 가스유로(22)에 공급되고, 상기 가스공급구멍(21)을 통하여, 제 1 가스공급부(2)의 아래측의 공간에 일정하게 공급된다. 이 예에서는, 제 1 가스공급부(2)의 아랫면과 얹어놓음대(11) 상의 웨이퍼(W)의 표면과의 사이의 거리는 50mm로 설정되어 있다.
- <34> 또 상기 처리용기(1)는, 얹어놓음대(11)와 제 1 가스공급부(2)와의 사이에, 예를 들면 이들 사이를 구획하도록, 예를 들면 평면형상이 대략 원형상으로 구성된 제 2 가스공급부(3)를 구비하고 있다. 이 제 2 가스공급부(3)는 예를 들면 마그네슘(Mg)을 함유한 알루미늄(Al) 합금이나 Al첨가 스텐레스 스틸 등의 도전체에 의해 구성되고,

엎어놓음대(11)와 마주보는 면에는 다수의 제 2 가스공급구멍(31)이 형성되어 있다. 이 가스공급부(3)의 내부에는, 예를 들면 도 2에 나타난 바와 같이 가스공급구멍(31)의 일끝단측과 연이어 통하는 격자형상의 가스유로(32)가 형성되어 있고, 이 가스유로(32)에는 제 2 가스공급로(33)의 일끝단측이 접속되어 있다. 또한 제 2 가스공급부(3)에는, 상기 가스공급부(3)를 관통하도록, 다수의 개구부(34)가 형성되어 있다. 이 개구부(34)는, 플라즈마나 플라즈마내의 원료가스를 상기 가스공급부(3)의 아래측의 공간으로 통과시키기 위한 것이며, 예를 들면 인접하는 가스유로(32)끼리의 사이에 형성되고 있다.

<35> 여기서 제 2 가스공급부(3)는, 제 2 가스공급로(33)를 통하여 원료가스인 불소와 탄소를 함유한 원료가스 예를 들면 C_5F_8 가스의 공급원(35)과 접속되고, 이 원료가스는, 제 2 가스공급로(33)를 통하여 가스유로(32)에 차례로 흘러 나가며, 상기 가스공급구멍(31)을 통하여, 제 2 가스공급부(3)의 아래측의 공간에 일정하게 공급된다. 도면중에서 V1~V3는 밸브, 101~103는 유량조정부이다.

<36> 상기 제 1 가스공급부(3)의 상부측에는, 0링 등의 시일 부재(도시하지 않음)를 끼워넣고, 예를 들면 Al_2O_3 등의 유전체에 의해 구성된 커버 플레이트(13)가 설치되고, 이 커버 플레이트(13)의 상부측에는, 상기 커버 플레이트(13)와 밀접하도록 안테나부(4)가 설치되어 있다. 이 안테나부(4)는, 도 3에 나타난 바와 같이, 평면 형상이 원형의 아랫면측이 개구하는 편평한 안테나 본체(41)와, 이 안테나 본체(41)의 상기 아랫면측의 개구부를 막도록 설치되고, 다수의 슬롯이 형성된 원판형상의 평면 안테나부재(슬롯판)(42)를 구비하고 있고, 이들 안테나 본체(41)와 평면 안테나부재(42)는 도체에 의해 구성되고, 편평한 속이 빈 원형 도파관을 구성하고 있다.

<37> 또한 상기 평면 안테나부재(42)와 안테나 본체(41)와의 사이에는, 예를 들면 Al_2O_3 이나 산화규소(SiO_2), 질화규소(Si_3N_4) 등의 저손실 유전체재료에 의해 구성된 지상판(43)이 설치되어 있다. 이 지상판(43)은 마이크로파의 파장을 짧게 해서 상기 도파관내의 관내 파장을 짧게 하기 위한 것이다. 이 실시형태에서는, 이들 안테나 본체(41), 평면 안테나부재(42), 지상판(43)에 의해 라디얼 라인 슬롯 안테나가 구성되어 있다.

<38> 이와 같이 구성된 안테나부(4)는, 상기 평면 안테나부재(42)가 커버 플레이트(13)에 밀접하도록 도시하지 않은 시일 부재를 끼워넣어 처리용기(1)에 장착되어 있다. 그리고 이 안테나부(4)는 동축 도파관(44)을 통하여 외부의 마이크로파 발생 수단(45)과 접속되고, 예를 들면 주파수가 2.45GHz 혹은 8.3GHz의 마이크로파가 공급되도록 되어 있다. 이 때, 동축 도파관(44)의 바깥측의 도파관(44A)은 안테나 본체(41)에 접속되고, 중심 도체(44B)는 지상판(43)에 형성된 개구부를 끼워넣어 평면 안테나부재(42)에 접속되어 있다.

<39> 상기 평면 안테나부재(42)는 예를 들면 두께 1mm 정도의 구리판으로 이루어지고, 도 3 및 도 4에 나타난 바와 같이 예를 들면 원편파를 발생시키기 위한 다수의 슬롯(46)이 형성되어 있다. 이 슬롯(46)은 대략 T자 형상으로 약간 이간시켜 배치한 한 쌍의 슬롯(46a, 46b)을 1조로 하여 둘레방향에 따라서 예를 들면 동심원형상이나 소용돌이 형상으로 형성되어 있다. 이와 같이 슬롯(46a)과 슬롯(46b)을 서로 대략 직교하는 관계로 배열하고 있으므로, 2개의 직교하는 편파성분을 포함한 원편파가 방사된다.

<40> 이 때, 평면 안테나부재(42)의 중앙부를 중심으로 동심원형상 또는 소용돌이형상으로 배열된 슬롯쌍(46a, 46b)을, 지상판(43)에 의해 압축된 마이크로파의 파장에 대응한 간격으로 배열함으로써, 마이크로파가 평면 안테나부재(42)로부터 대략 평면파로서 방사된다. 구체적으로는 이 예에서는, 각 슬롯(46a, 46b)의 슬롯길이 L1가, 예를 들면 평면 안테나부재(42)에 있어서의 도파관측의 마이크로파의 파장의 1/2과, 평면 안테나부재(42)에 있어서의 플라즈마 발생공간측의 마이크로파의 파장의 1/2과의 사이의 치수로 설정된다. 즉, 평면 안테나부재(42)에 있어서의 동축 도파관(44)측의 마이크로파의 파장의 1/2이하의 크기이고, 또한 평면 안테나부재(42)에 있어서의 플라즈마 발생공간{처리용기(2) 내} 측의 마이크로파의 파장의 1/2보다 큰 치수로 설정되어, 마이크로파가 슬롯(46)을 통과하여 플라즈마 공간에 들어가고, 플라즈마 공간에서는 동축 도파관(44) 측으로 되돌아오지 않도록 되어 있다. 그리고 또한 동심원형상으로 배열되는 슬롯(46)에 있어서 내륜측의 슬롯(46)과 외륜측의 슬롯(46)과의 간격 L2는, 예를 들면 동축 도파관(44)측의 마이크로파의 파장의 1/2로 설정되어 있다.

<41> 또한 처리용기(1)의 바닥부에는, 배기관(14)이 접속되고 있고, 이 배기관(14)은 압력조정부(51)를 통하여 진공 배기수단인 진공 펌프에 접속되어, 처리용기(1) 내를 소정의 압력까지 진공흡인할 수 있도록 되어 있다.

<42> 계속해서 이 장치로 실시되는 본 발명의 성막방법의 일례에 대하여 설명한다. 먼저 도시하지 않은 게이트 밸브를 통하여 예를 들면 표면에 알루미늄 배선이 형성된 기판인 웨이퍼(W)를 반입하여 엎어놓음대(11)상에 엎어 놓는다. 계속해서 처리용기(1)의 내부를 소정의 압력까지 진공흡인하여, 제 1 가스공급로(23)를 통하여 제 1 가스공급부(2)에 플라즈마 가스 예를 들면 Ar가스를 소정의 유량 예를 들면 300sccm로 공급함과 동시에, 제 2 가

스공급로(33)를 통하여 원료가스 공급부인 제 2 가스공급부(3)에 원료가스 예를 들면 C_5F_8 가스를 소정의 유량 예를 들면 150sccm로 공급한다. 그리고 처리용기(1)내를 예를 들면 프로세스 압력 13.3Pa로 유지하고, 얹어놓음대(11)의 표면 온도를 350℃로 설정한다.

<43> 한편 마이크로파 발생수단으로부터 2.45GHz, 2000W의 고주파(마이크로파)를 공급하면, 이 마이크로파는, TM모드 혹은 TE모드 혹은 TEM모드와 동축 도파관(44)내를 전파하여 안테나부(4)의 평면 안테나부재(42)에 도달하고, 동축 도파관의 내부 도체(44B)를 통하여, 평면 안테나부재(42)의 중심부로부터 둘레가장자리영역을 향해서 방사상으로 전파되는 동안에, 슬롯쌍(46a, 46b)으로부터 마이크로파가 커버 플레이트(13), 제 1 가스공급부(2)를 통하여 상기 가스공급부(2)의 하부측의 처리공간을 향해서 방출된다. 여기서 커버 플레이트(13)와 제 1 가스공급부(2)는 마이크로파가 투과가능한 재질 예를 들면 Al_2O_3 에 의해 구성되어 있으므로, 마이크로파 투과창으로서 작용하고, 마이크로파는 이것들을 효율적으로 투과해 나간다.

<44> 이 때 이미 설명한 바와 같이 슬롯쌍(46a, 46b)을 배열했으므로, 원편파가 평면 안테나부재(42)의 평면에 걸쳐 균일하게 방출되고, 이 아래쪽의 처리공간의 전계 밀도가 균일화된다. 그리고 이 마이크로파의 에너지에 의해, 넓은 처리공간의 전역에 걸쳐 고밀도로 균일한 플라즈마가 여기된다. 그리고 이 플라즈마는, 제 2 가스공급부(3)의 개구부(34)를 통하여 상기 가스공급부(3)의 아래측의 처리공간에 흘러 들어가고, 상기 가스공급부(3)로부터 이 처리공간에 공급되는 C_5F_8 가스를 활성화시켜 즉 플라즈마화하여 활성종을 형성한다. 이렇게 해서 발생한 C_5F_8 가스의 플라즈마는, 전자 온도가 예를 들면 1.2eV로 낮은 값이 되고 있다. 또한 프로세스 압력이 낮기 때문에, 전자 밀도는 10^{12} 개/cm³ 오더가 되고 있다.

<45> 여기서 말하는 전자 온도란, 평균자속속도로 정의하는 것으로 하고, 그 측정 수단은 어떠한 것이라도 좋다. 또한 측정포인트는, 원료 가스의 공급부에 해당하는 제 2 가스공급부(3)의 가스공급구인 가스공급구멍(31)과 웨이퍼(W)와의 사이의 공간이며, 처리용기(1)의 벽 근방이나 얹어놓음대(11)의 주위의 하부 등은 포함하지 않는다. 또한 평균자속속도로 정의한다는 것은, 도 5에 나타난 바와 같이, 전자 온도와 전자의 수와의 관계가 막스-볼츠만 분포를 이루고 있는 것으로 하고, 각 전자수의 자승을 가산하여 그 평균치가 되는 전자 온도를 말하는 것이다. 도 5중 P1~P3는 각각 최대확립속도, 평균자속속도, 실효속도이다.

<46> 이와 같이 낮은 전자 온도로 높은 전자 밀도의 플라즈마를 얻을 수 있는 이유는, 명확하게는 파악되어 있지 않지만, 평면 안테나부재(42)의 둘레방향에 형성된 슬롯(46)으로부터 방출된 마이크로파에 기초하여 원료가스를 플라즈마화하면, 전계에 대한 전자의 추종성이 좋아지는 것은 아닌가하고 생각할 수 있다. 즉 전계에 추종하여 전자를 운동시키는 경우, 추종성이 좋지 않으면 전계를 크게 해야 하지만, 추종성이 양호하면 전계를 크게 하지 않아도 원료가 플라즈마화하고, 또한 전계로부터 개방되어 처리용기(1)의 벽에 충돌하여 소실하는 전자도 적은 것이 요인이 아닌가 하고 추측된다.

<47> 한편 웨이퍼(W)상에 수송된 활성종은 CF막으로서 성막되지만, 그 때 플라즈마 끌어들임용의 바이어스 전압에 의해, 웨이퍼(W)로 끌여 들어진 Ar이온이, 스퍼터 에칭작용에 의해 웨이퍼(W)표면의 패턴상의 모서리부에 성막한 CF막을 깎아내고, 폭을 펼치면서, 패턴홈 바닥부로부터 CF막을 성막하고, 오목부에 CF막이 파묻힌다. 이렇게 CF막이 성막된 웨이퍼(W)는, 도시하지 않은 게이트 밸브를 통하여 처리용기(1)로부터 반출된다.

<48> 상술한 실시형태에 의하면, 낮은 전자 온도로 또한 고밀도인 플라즈마에 의해 절연막을 성막하고 있으므로, 후술의 실시예로부터도 분명하듯이, 낮은 비유전율에서 리크 전류가 작은 등의 전기특성이 양호한 CF막을 얻을 수 있다. 이 이유는, 원료가스로서 이용한 C_5F_8 을 과도하게 분해하여 고리형상 결합의 각각이 모두 절단 되는 것이 아니라, CF결합이 적절하게 끊어져 즉 고리형상 결합의 일부가 끊어지고, 잘린 C_5F_8 끼리가 연결되어 CF가 길게 연쇄하는 입체 구조가 형성되기 때문이라고 생각할 수 있다. 즉 원료 조성을 살려 본래의 분자 결합을 가진 CF막을 얻을 수 있고, 이 때문에 이 CF막은, 막강도나 스트레스 내성이 큰 등 기계적 특성이 뛰어나 또 내수성 등의 화학적 특성에도 우수하다. 한편 높은 전자 밀도를 확보하고 있으므로, 성막 속도의 저하에 의해 대량생산 체제에 적용할 수 없다고 하는 염려는 없다.

<49> 또한 CF막의 원료 가스로서는, C_5F_8 가스에 한정되지 않고, 예를 들면 C_3F_6 가스, C_4F_6 가스 또는 C_4F_8 가스등이어도 좋다. 또한, 본 발명에 있어서 성막하는 절연막은 CF막에 한정하지 않고 실리콘, 산소 및 불소의 화합물인 SiOF막 등이어도 좋고, 다른 절연막에 대해서도 원료 조성을 살린 본래의 결합을 구비한 것으로 할 수 있어 전기특성 등이 뛰어난 절연막으로 할 수 있다.

- <50> 그리고 또한 평면 안테나부재(42)에 형성되는 슬롯(46)은, 상술한 바와 같이 슬롯(46a, 46b)을 거의 T자형으로 배치한 것에 한정되지 않으며, 또한 마이크로파가 원편파가 아니라, 직선편파로 방사되도록 슬롯을 형성해도 좋다. 또한 본 발명은, 전자 사이크로트론 공명을 이용하여 플라즈마를 여기하는 ECR형 플라즈마 처리장치, 평행 평판형 플라즈마 처리장치 혹은 유도결합형 플라즈마 처리장치에 있어서도, 프로세스 조건 및 장치 구성을 고안하여, 전자 온도가 3eV이하이고, 또한 전자밀도가 5×10^{11} 개/cm³ 이상의 플라즈마를 생성하여 절연막을 성막하는 경우도 포함된다.
- <51> (실예 1)
- <52> 도 1의 플라즈마 성막장치를 이용하여 원료가스의 종류와 프로세스 조건을 여러가지로 바꾸어 CF막을 성막하고, 각 CF막에 대해 비유전율과 리크 전류를 조사 한 바, 도 6에 나타내는 결과를 얻을 수 있었다. 도 6에 있어서 세로축은 1MV/cm의 전계를 절연막에 인가했을 때의 리크 전류의 값이며, 가로축은 절연막의 비유전율이다. 한편, 각 원료가스에 대해서 본 발명자는 방대한 데이터를 취하고 있지만, 데이터의 경향이 같기 때문에, 도 6에서는 대표적인 데이터를 실고 있다.
- <53> 원료가스로서, □의 데이터는 C₃F₆ 가스를 이용하고, △의 데이터는 C₄F₆ 가스를 이용하며, ■의 데이터는 C₄F₈ 가스를 이용하고, ◇의 데이터는 C₅F₈ 가스를 이용하고 있다. 그리고 이들 데이터에 대응하는 CF막을 얻기 위해서 설정한 프로세스 조건에 대해서는, 프로세스 압력을 6.65~19.95Pa(50~150mTorr), 마이크로파 전력을 1500~3000W, 아르곤 가스의 유량을 100~500sccm, 원료가스의 유량을 50~200 sccm, 웨이퍼(W)와 제 2 가스공급부(3)와의 아랫면까지의 거리를 40~105mm의 사이에서 움직여 전자 온도가 2eV이하의 플라즈마를 생성하였다. C₃F₆ 가스 또는 C₄F₈ 가스를 이용했을 때에는, 수소 가스도 공급하고 있다.
- <54> 전자 온도의 측정에 대해서는, 미리 같은 조건으로 원료가스의 공급구로부터 웨이퍼에 도달하기까지의 사이의 공간에 대하여, 랭뮤어 프로브에 의해 측정했다. 평균자속속도로 정의한 전자 온도는, 1.1eV~2.0eV의 사이였다. 그리고 프로세스 압력을 6.65~19.95Pa(50~150mTorr)의 낮은 압력으로 설정하고 있으므로, 전자 밀도는 10¹² 개/cm³ 오더가 되고 있으며, 이것은 랭뮤어 프로브 측정에 의해 확인하고 있다. 한편, 어떤 프로세스 조건으로 C₃F₆ 가스 등의 원료가스를 이용하여 성막했을 때에, 그 프로세스 조건에 있어서의 전자 온도 및 전자 밀도의 값을 구하는 방법은, 같은 프로세스 조건으로 원료가스 대신에 아르곤 가스를 이용하여 플라즈마를 발생시켜, 그 플라즈마에 대해 랭뮤어 프로브에 의해 전자 온도 및 전자 밀도를 측정하는 것으로 하였다. 즉 전자 온도 및 전자 밀도의 측정에 대해서는, 아르곤 가스를 이용하여 평가하는 것으로 하였다. 그 이유는 CF계의 가스를 이용하면 랭뮤어 프로브를 부식시킬 우려가 있기 때문이지만, 전자 온도 및 전자 밀도는 가스종류를 바꾸어도 거의 같기 때문에, 평가방법에 문제는 없다.
- <55> 일례로서 비유전율이 1.9~2.1인 3점의 ◇의 데이터에 대응하는 프로세스 조건의 구체적 수치를 들면, 프로세스 압력은 13.3Pa(100mTorr), 마이크로파 전력은 2000W, 아르곤 가스의 유량은 300sccm, 원료가스의 유량은 100sccm, 웨이퍼(W)와 평면 안테나부재와의 아랫면까지의 거리는 50mm이고, 전자 온도는, 1.1eV이다. 또한 데이터의 값은, 웨이퍼상의 3포인트의 데이터의 평균치를 나타내고 있다.
- <56> 한편 ○의 데이터는, 원료 가스로서 C₅F₈ 가스를 이용하고, 성막장치로서는, 이미 설명한 특허문헌 1에 기재되어 있는 ECR 플라즈마 장치를 이용하여, 전자 온도가 5eV~6eV의 플라즈마를 발생시켜 CF막을 얻어, 그 CF막에 대해 조사한 것이다.
- <57> 그런데 우수한 층간절연막으로 하려면, 비유전율이 낮고, 리크 전류가 작은 것이 요구되고, 본 발명자는 2.2 이하의 비유전율로, 리크 전류가 1.0E-08(1×10^{-8}) A/cm² 이하를 목표로 하고 있다. 도 6의 결과로부터 알 수 있듯이, 전자 온도가 5eV를 넘는 높은 값이면, CF막의 비유전율은 2.5이상이고, 또한 리크 전류도 1.0E-07(1×10^{-7}) A/cm²의 큰 값이 되고 있어, 목표 존으로부터 꽤 떨어져 있지만, 전자 온도가 2eV이하이면, 비유전율이 낮아지거나 혹은 리크 전류가 작아지거나, 또는 양쪽 모두 작아지고, 전체적으로 목표 존에 가까운 것을 알 수 있다.
- <58> 이 데이터로부터, 전자 온도가 2eV보다 커도, 예를 들면 3eV까지이면, 5eV의 데이터에 비해 도 6의 그래프의 왼쪽 아래측에 가까운 데이터를 얻을 수 있는 것, 즉 비유전율이 낮고, 리크 전류가 작다고 하는 효과를 얻을 수 있는 것은 분명하다. 따라서 전자 온도를 3eV이하로 함으로써, 원료 가스의 과도한 분해가 억제되어 본래의 분자 구조를 얻을 수 있는 것을 뒷받침하고 있다. 예를 들면 원료로서 C₅F₈ 가스를 이용했을 경우에는, 목표 존에

때 근접하고 있으며, 각 C_5F_8 의 분자중의 CF결합이 적절히 절단되어, 절단된 C_5F_8 분자끼리가 연결되어 CF의 긴 연쇄구조가 형성되어, 이 때문에 비유전율이 낮고, 리크 전류가 작은 절연막이 되었다고 추측된다. 이에 대해 전자 온도가 5eV의 높은 값이면, C_5F_8 가 흩어져 버려 본래의 연쇄 구조를 얻을 수 없게 된 것이라고 생각할 수 있다.

<59> 또한 전자 밀도에 대해서, 5×10^{11} 개/cm³보다도 작은 경우의 데이터는 취하지 않지만, 종래의 ECR 등의 장치에 대해 통상의 사용법을 행하면, 압력을 높이면 낮은 전자 온도를 얻을 수 있지만, 이 때 전자 밀도가 낮아져 버리므로, 본 발명에서는, 이러한 수법과 구분하기 위해서 전자 밀도를 규정하고 있다. 즉, 경험적으로 가스의 분리가 진행되어 충분한 성막 속도를 얻기 위해서는, 전자 밀도가 5×10^{11} 개/cm³ 이상이면 완전히 문제없는 것을 파악하고 있어, 본 발명은 이 조건을 전제로 한 다음 낮은 전자 온도로 프로세스를 행하는 것이다.

<60> (실험예 2)

<61> 다음에 도 1의 플라즈마 성막장치를 이용하여, 원료가스로서 C_5F_8 가스를 이용함과 동시에 처리 분위기의 압력(프로세스 압력)을 6.65Pa(50mTorr), 13.3Pa (100m Torr), 19.95Pa(150mTorr), 26.6Pa(200mTorr)의 4가지의 압력으로 설정하고, 각 압력마다 프로세스 조건을 여러 가지 바꾸어 CF막을 성막하고, 각 CF막에 대해 비유전율과 리크 전류를 조사했다. 결과는 도 7에 나타내는 바와 같다. 도 7에 있어서 세로축은 1MV/cm의 전계를 절연막에 인가했을 때의 리크 전류의 값이며, 가로축은 절연막의 비유전율이다. 프로세스 조건이란, 제 2 가스공급부(3)와 웨이퍼와의 거리(도 1 참조), 마이크로파전력, 아르곤가스의 유량, 원료가스의 유량 및 웨이퍼의 온도 등이고, 이 실험에서는 프로세스 압력을 바꾸지 않고 이들 프로세스 조건의 조합을 여러가지로 바꾸어 CF막을 성막하고 있다.

<62> 도 7로부터 알 수 있듯이, 프로세스 조건을 바꿈으로써 리크 전류 및 비유전율의 값이 크게 흔들리고 있다. 예를 들면 압력을 13.3Pa로 설정하여 성막된 CF막과 압력을 26.6Pa로 설정하여 성막된 CF막을 비교하면, 전자의 CF막이 후자의 CF막에 비해 리크 전류 및 비유전율의 어느 것에 대해서나 우수한(작아지고 있다) 관계의 데이터가 있으면, 그 반대의 관계의 데이터도 있다. CF막에 대해서는 리크 전류가 작고 또한 비유전율이 작을수록, 절연막의 특성이 좋기 때문에, 도 7에 있어서의 데이터로서는 그래프의 왼쪽 아래에 향할수록 절연막의 특성이 좋다고 하게 된다.

<63> 여기서 앞서의 실험예 1의 결과를 근거로 삼아 도 7의 결과를 검토하면, 프로세스 압력도 포함하여 프로세스 조건을 바꾸는 것에 의해, 리크 전류의 값도 비유전율의 값도 바뀌고, 또한 프로세스 압력을 일정하게 했을 경우에 있어서도 그 외의 프로세스 조건을 바꾸는 것에 의해 역시 데이터가 흩어지지만, 프로세스 압력의 크기에 따라서 데이터의 퍼지는 방법이 바뀌게 된다. 즉, 프로세스 조건을 좁히는 것으로 데이터를 도 7의 왼쪽 아래에 가까이 할 수 있지만, 프로세스 압력의 크기에 따라서 그 가까이 하는 방법이 바뀌게 된다. 프로세스 압력이 19.95 Pa이하인 경우에는, 비유전율이 2.2 부근이고 또한 리크 전류가 $1.0E-08(1 \times 10^{-8})A/cm^2$ 에 가까운 값의 데이터를 얻을 수 있지만, 프로세스 압력이 26.6Pa의 경우에는, 비유전율을 2.3보다 작게 할 수 없다.

<64> 프로세스 조건과 리크 전류 및 비유전율과의 경향에 대해 설명해 두면, 웨이퍼의 온도를 낮게 하면 리크 전류가 작아지고, 가스 샤워 헤드인 제 2 가스공급부(3)와 웨이퍼와의 거리를 작게 하면 비유전율이 작아지는 경향이 있다고 할 수 있지만, 데이터를 도 7의 왼쪽 아래에 가까이 하기 위해서는, 가스유량도 포함해서 프로세스 조건을 미묘하게 설정할 필요가 있다. 이상의 결과로부터, 플라즈마의 전자 온도를 3eV이하 바람직하게는 2eV이하로 또한 전자 밀도를 5×10^{11} 개/cm³ 이상으로 하여 프로세스를 행하는 경우에는, 프로세스 압력을 19.95Pa(150mTorr) 이하로 하는 것이, 양호한 특성의 절연막을 얻기에 바람직한 수법인 것을 알 수 있다. 또한 프로세스 압력의 하한에 대해서는 특히 규정하는 의미는 없고, 진공배기용량이 큰 펌프를 사용함으로써, 보다 낮은 프로세스 압력을 실현할 수 있다면 그 압력으로 프로세스를 실시하면 된다. 한편 도 7에 있어서, 비유전율이 2.3 이하이고 또한 리크 전류가 $5.0E-8(5 \times 10^{-8})A/cm^2$ 이하의 데이터에 대해서는, 앞서의 도 6의 결과로부터 당연히 전자 온도는 2eV이하이다.

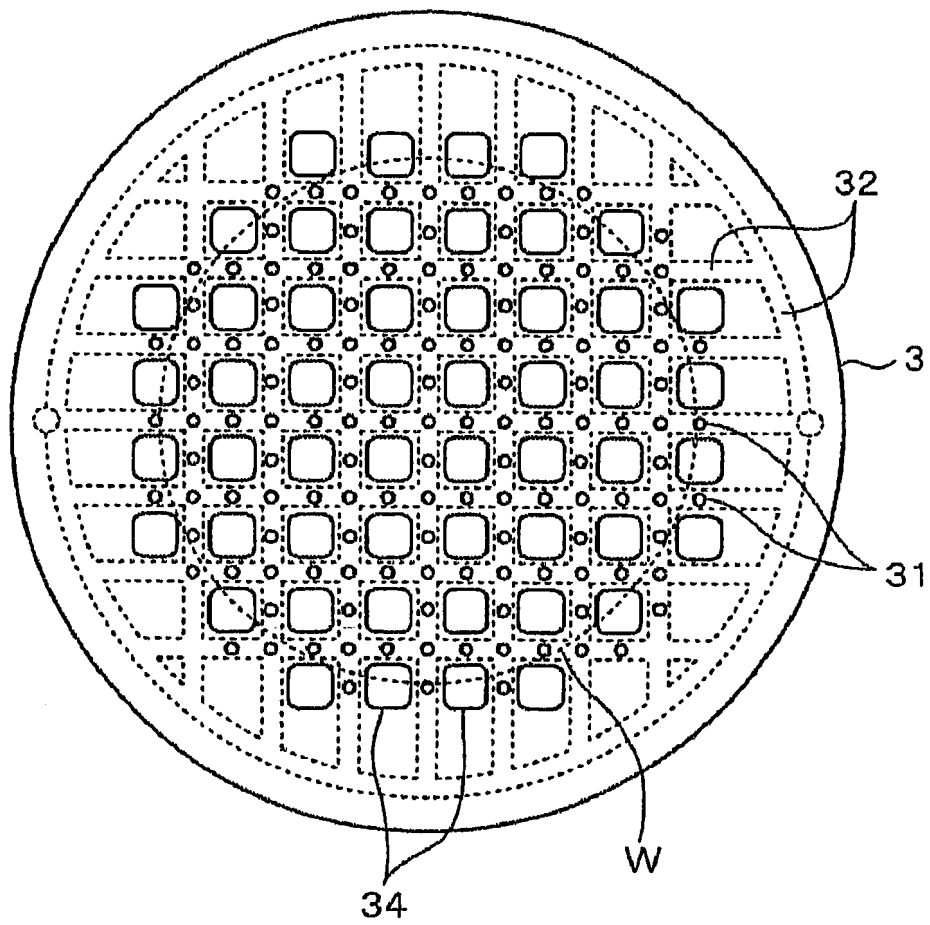
도면의 간단한 설명

<23> 도 1은, 본 발명의 실시형태인 플라즈마 성막장치를 개략적으로 나타내는 종단면도이다.

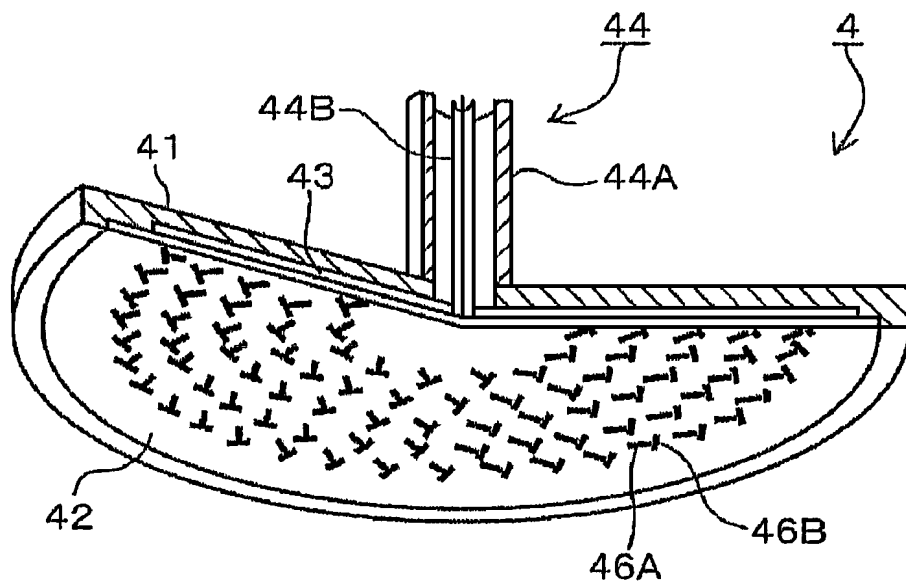
<24> 도 2는, 상기 플라즈마 성막장치에 이용되는 제 2 가스공급부를 나타내는 평면도이다.

- <25> 도 3은, 상기 플라즈마 성막장치에 이용되는 안테나부를 일부 단면으로 나타내는 사시도이다.
- <26> 도 4는, 상기 플라즈마 성막장치에 이용되는 평면 안테나부재를 나타내는 평면도이다.
- <27> 도 5는, 전자 온도의 정의에 대해 설명하기 위해서 전자수와 전자 온도와의 관계를 나타내는 설명도이다.
- <28> 도 6은, 절연막의 비유전율과 리크 전류를 기재한 실험결과를 나타내는 설명도이다.
- <29> 도 7은, 절연막의 비유전율과 리크 전류를 기재한 실험결과를 나타내는 설명도이다.
- <30> 도 8은, 원료 가스의 분자 구조와 절연막의 분자 구조를 나타내는 설명도이다.

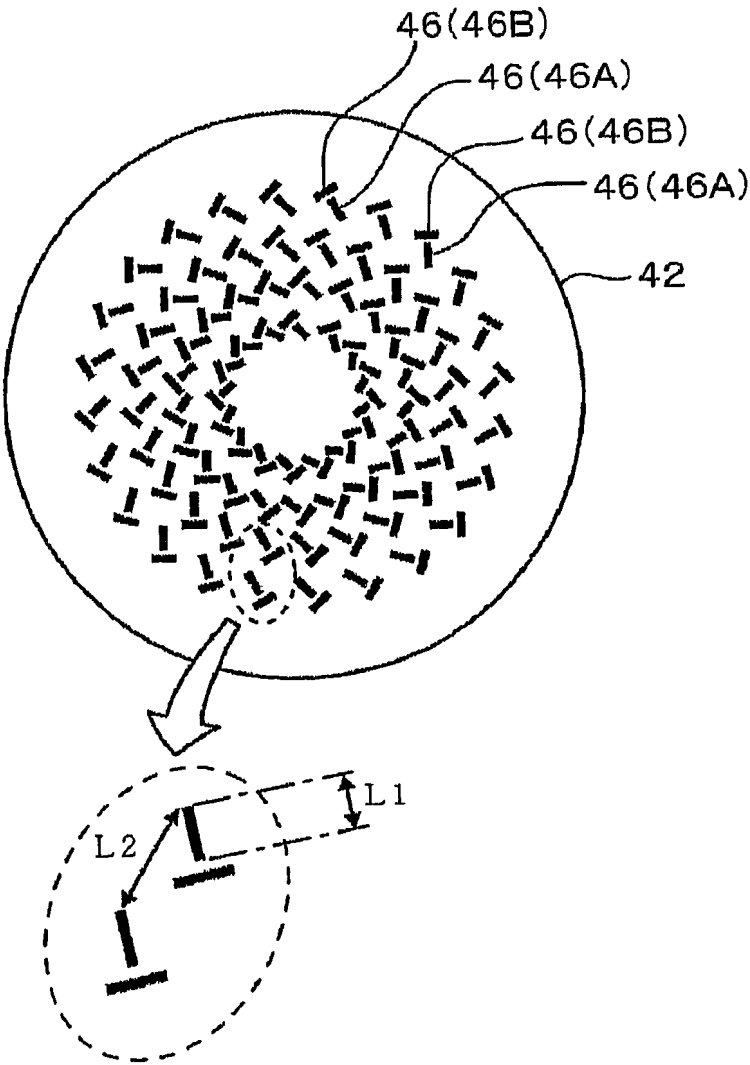
도면2



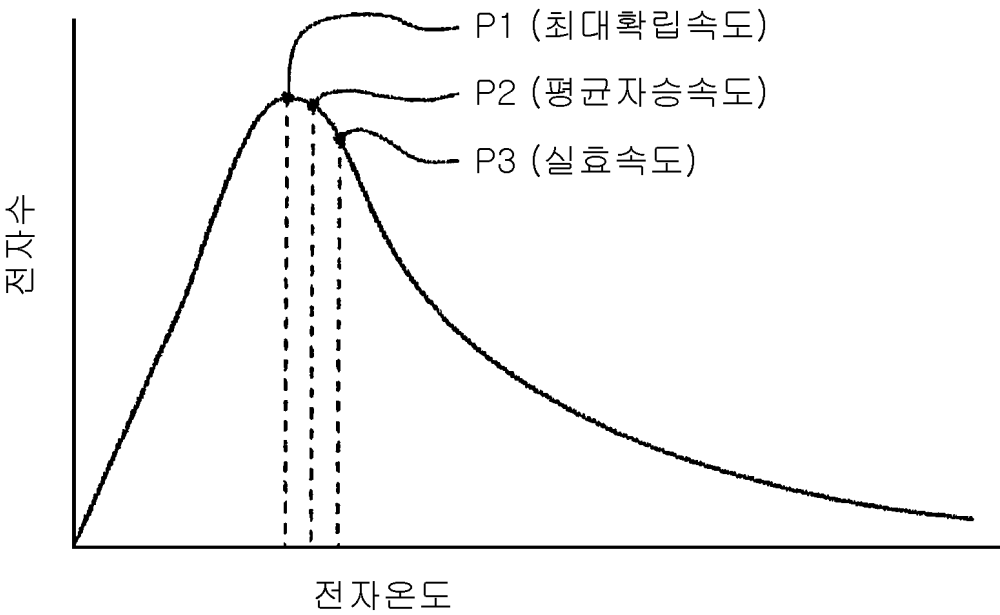
도면3



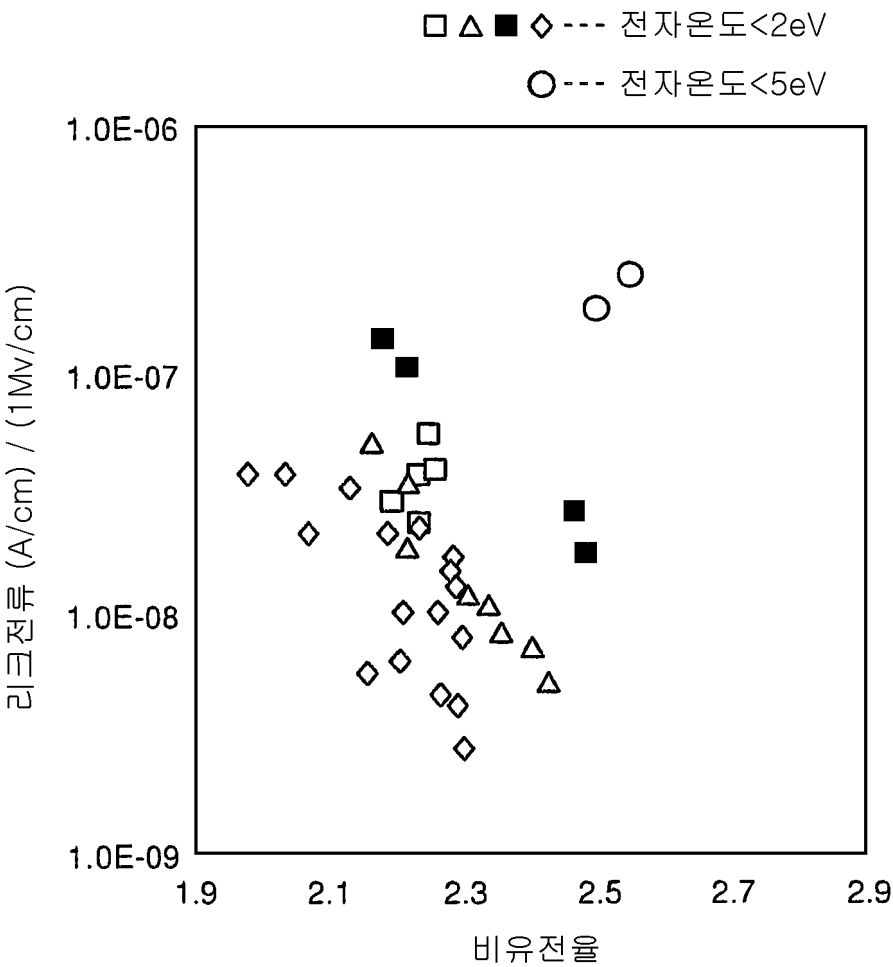
도면4



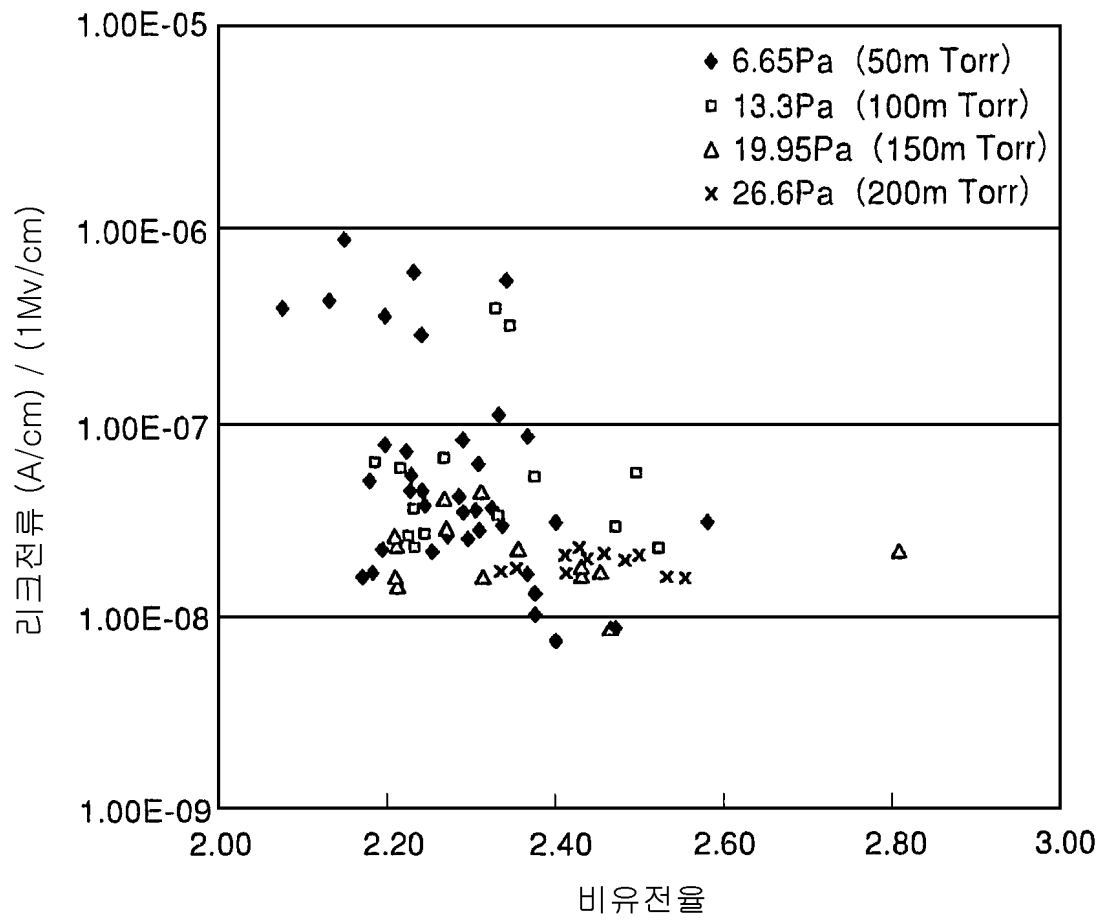
도면5



도면6



도면7



도면8

