



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년12월13일
 (11) 등록번호 10-1092511
 (24) 등록일자 2011년12월05일

(51) Int. Cl.
H01L 21/3065 (2006.01) *H05H 1/46* (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2009-0069858
 (22) 출원일자 2009년07월30일
 심사청구일자 2009년07월30일
 (65) 공개번호 10-2010-0084109
 (43) 공개일자 2010년07월23일
 (30) 우선권주장
 JP-P-2009-091761 2009년04월06일 일본(JP)
 PCT/JP2009/050428 2009년01월15일 세계지적재
 산권기구(WIPO)(WO)
 (56) 선행기술조사문헌
 JP05335277 A
 JP09283300 A
 전체 청구항 수 : 총 7 항

(73) 특허권자
 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈
 일본국 도쿄도 미나토구 니시신바시 1초메 24-14
 (72) 발명자
 니시오 료지
 일본국 야마구치켄 구다마즈시 히가시토요이 794,
 가부시키가이샤 히다치 하이테크놀로지즈 가사도
 사업소 내
 (74) 대리인
 특허법인화우

심사관 : 박귀만

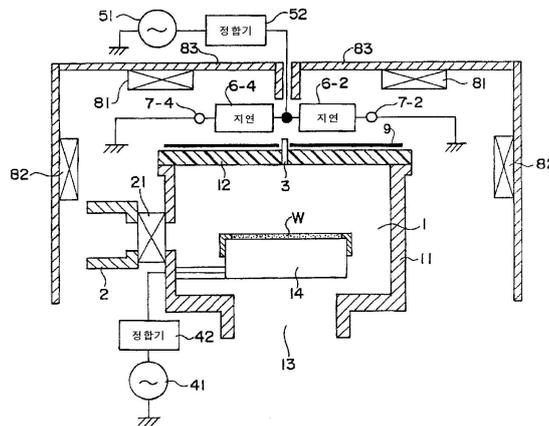
(54) 플라즈마 처리장치 및 플라즈마 생성장치

(57) 요약

본 발명은 ICP원 플라즈마 처리장치에서, 플라즈마의 균일성 및 착화성을 개선하는 것이다.

이를 위하여 본 발명에서는 진공처리실 내에 플라즈마를 생성하여 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리장치에 있어서, 진공처리실 내에 형성되는 자장의 ECR 면으로 우회전하는 유도전장을 형성하는 고주파 유도 안테나를 복수 세트(7-1 ~ 7-4, 7'-1 ~ 7'-4) 설치하고, 각각의 안테나 세트의 고주파 유도 안테나 소자(7-1 ~ 7-4, 7'-1 ~ 7'-4)에 공급하는 전류의 위상을, 대응하는 소자로 동일 위상으로 제어하여, 전자 사이클로트론 공명(ECR) 현상에 의하여 플라즈마를 생성한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

시료를 수용할 수 있는 진공처리실을 구성하는 진공용기와, 상기 진공처리실에 처리가스를 도입하는 가스 도입구와, 상기 진공처리실 내에 유도전장을 형성하는 고주파 유도 안테나와, 상기 진공처리실 내에 자장을 형성하는 자장 코일과, 상기 고주파 유도 안테나에 고주파 전류를 공급하는 플라즈마 생성용 고주파 전원과, 상기 자장 코일에 전력을 공급하는 전원을 구비하고, 상기 고주파 유도 안테나에 상기 고주파 전원으로부터 고주파 전류를 공급하며, 진공처리실 내에 공급되는 가스를 플라즈마화하여 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리장치에 있어서,

상기 진공처리실은, 상기 진공용기의 상부에 기밀하게 고정되는 유전체로 이루어지는 진공처리실 덮개를 구비하고,

상기 고주파 유도 안테나는, n 개($n \geq 2$ 의 정수)의 고주파 유도 안테나 요소로 분할하고, 당해 분할된 각각의 고주파 유도 안테나 요소를 종렬로 나열하고, 종렬로 배치된 각 고주파 유도 안테나 요소의 세트를 복수 세트 구비하고, 각각의 세트의 각 고주파 유도 안테나의 고주파 유도 안테나 요소에 차례로 λ (고주파 전원의 파장)/ n 씩 지연시킨 고주파 전류를 일정 방향으로 순서대로 늦추어 흘리고, 상기 자장 코일에 전력을 공급하여 형성한 자장(B)의 자력선 방향에 대하여 오른쪽 방향으로 회전하는 회전 유도전장(E)을 상기 고주파 전류에 의하여 형성하고, 상기 회전 유도전장(E)의 회전 주파수와 상기 자장(B)에 의한 전자 사이클로트론 주파수를 일치시키도록 구성함과 동시에, 상기 유도전장(E)과 상기 자장(B)의 사이에 $E \times B \neq 0$ 의 관계가 임의의 부분에서 만족되도록, 복수 세트(세트 수 : $m \geq 1$ 의 자연수)의 고주파 유도 안테나와 자장을 구성하여 플라즈마를 발생시키고, 이 플라즈마에 의하여 시료를 플라즈마 처리하도록 구성한 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 진공처리실 덮개는, 평판 형상 또는 중공의 반구 형상 또는 사다리꼴의 회전체 형상 또는 바닥이 있는 원통 형상 중 어느 하나의 형상을 가지고,

상기 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소의 세트의 각각이 상기 진공처리실 덮개의 외부에 배치되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 처리장치.

청구항 3

절연체로 이루어지는 진공처리실 덮개를 상부에 가지는 진공처리실과, 당해 진공처리실 내에 유도전장을 형성하는 고주파가 흐르는 복수의 고주파 유도 안테나 요소의 세트를 복수 세트(세트 수 : $m \geq 1$ 의 자연수) 가지고, 당해 복수의 고주파 유도 안테나 요소의 세트의 각각의 복수의 고주파 유도 안테나 요소가 동일 평면상에서 이 평면에 직교하는 축에 대하여 대칭으로 배치되고, 또한, 자장(B)의 분포가 상기 평면에 교차하고 또한 상기 평면에 직교하는 축에 대하여 대칭의 분포임과 동시에, 상기 복수의 고주파 유도 안테나 요소의 세트의 복수 세트의 각각의 축과 상기 자장 분포의 축이 일치하고, 상기 복수의 고주파 유도 안테나 요소의 세트의 복수 세트에 의하여 형성되는 회전하는 유도전장(E)의 회전 주파수와 상기 자장(B)에 의한 전자 사이클로트론 주파수를 일치시키도록 구성하여 진공처리실 중에 형성되는 유도전장 분포가 일정 방향으로 회전하도록 형성함과 동시에, 상기 복수의 고주파 유도 안테나 요소의 세트의 복수 세트에 의하여 형성되는 유도전장(E)과 상기 자장(B) 사이에 $E \times B \neq 0$ 의 관계가 임의의 부분에서 만족되도록, 복수의 안테나와 자장을 구성한 것을 특징으로 하는 플라즈마 생성장치.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 진공처리실 덮개가, 평판 형상, 사다리꼴의 회전체, 중공의 반구 형상, 바닥이 있는 원통 형상 중 어느 하나의 형상을 가지고,

상기 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소의 세트의 각각이 상기 진공처리실 덮개의 외부에 배치되는 것을 특

징으로 하는 플라즈마 생성장치.

청구항 5

제 3항에 있어서,

상기 일정 방향으로 회전하는 상기 유도전장 분포의 회전방향이, 상기 자장(B)의 자력선의 방향에 대하여 우회 전이도록 구성한 것을 특징으로 하는 플라즈마 생성장치.

청구항 6

제 3항에 있어서,

상기 복수의 고주파 유도 안테나 요소의 세트의 복수 세트에 의하여 형성되는 상기 회전하는 유도전장(E)의 회전 주파수와 상기 자장(B)에 의한 전자 사이클로트론 주파수를 일치시키도록 구성한 것을 특징으로 하는 플라즈마 생성장치.

청구항 7

제 3항에 있어서,

상기 자장(B)의 변동주파수(f_B)가, Larmor motion의 회전 주파수[전자 사이클로트론 주파수(ω_c)]와의 사이에, $2\pi f_B < \omega_c$ 의 관계를 만족하도록 구성한 것을 특징으로 하는 플라즈마 생성장치.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 유도 결합형 전자 사이클로트론 공명 플라즈마를 사용한 플라즈마 처리장치 및 플라즈마 생성장치에 관한 것이다. 본 발명은, 특히 유도 결합형 전자 사이클로트론 공명 플라즈마를 이용한 플라즈마 처리장치 및 플라즈마 생성장치의 고주파 유도 안테나와 플라즈마 용기의 구조에 특징을 가진다.

배경 기술

[0002] 반도체 디바이스의 미세화에 대응하여, 플라즈마 프로세스에서는, 웨이퍼면 내에서 균일한 처리 결과를 실현할 수 있는 프로세스 조건(프로세스 윈도우)이 해마다 좁아지고 있고, 앞으로의 플라즈마 처리장치에는, 더욱 완전한 프로세스 상태의 제어가 요구되고 있다. 이것을 실현하기 위해서는, 플라즈마의 분포나 프로세스 가스의 해리(解離)나 리액터 내의 표면 반응을 매우 고정밀도로 제어할 수 있는 장치가 필요하게 된다.

[0003] 현재, 이들 플라즈마 처리장치에 사용되는 대표적인 플라즈마원으로서 Inductively Coupled Plasma(이하, ICP라 약칭한다)원(源)이 있다. ICP원에서는, 먼저, 고주파 유도 안테나에 흐르는 고주파 전류(I)가 안테나의 주위에 유도자장(H)을 발생시키고, 이 유도자장(H)이 유도전장(E)을 형성한다. 이때, 플라즈마를 발생시키고 싶은 공간에 전자가 존재하면, 그 전자는 유도전장(E)에 의하여 구동되고, 가스원자(분자)를 전리하여 이온과 전자의 쌍을 발생시킨다. 이렇게 하여 발생한 전자는, 원래의 전자와 함께 다시 유도전장(E)에 의하여 구동되어, 다시 전리가 생긴다. 최종적으로, 이 전리현상이 설붕적(雪崩的)으로 생김으로써 플라즈마가 발생한다. 플라즈마의 밀도가 가장 높아지는 영역은, 플라즈마를 발생시키는 공간 중 유도자장(H)이나 유도전장(E)이 가장 강한 공간, 즉, 안테나에 가장 가까운 공간이다. 또, 이들 유도자장(H)이나 유도전장(E)의 강도는, 고주파 유도 안테나에 흐르는 전류(I)의 선로를 중심으로 하여 거리의 2제곱으로 감쇠한다는 특성을 가진다. 따라서, 이들 유도자장(H)이나 유도전장(E)의 강도 분포, 나아가서는 플라즈마의 분포는, 안테나의 형상에 의하여 제어할 수 있다.

[0004] 이상과 같이 ICP원은, 고주파 유도 안테나를 흐르는 고주파 전류(I)에 의하여 플라즈마를 발생시킨다. 일반적으로 고주파 유도 안테나의 턴수(감김수)를 크게 하면, 인덕턴스가 증대하여 전류는 내려가나, 전압은 올라간다. 턴수를 내리면, 반대로 전압은 내려가나 전류가 올라간다. ICP원의 설계에서, 어느 정도의 전류 및 전압이 바람

직한지는, 플라즈마의 균일성이나 안정성 및 발생 효율 등의 관점뿐만 아니라, 기계·전기 공학적 견지에서 여러가지 이유에 의하여 결정된다. 예를 들면, 전류가 증대한 것은, 발열의 문제나 그것에 의한 전력 손실의 문제, 정합회로에 사용하는 가변 콘덴서의 내전류(耐電流) 특성의 문제가 있다. 한편, 전압이 증대하는 것은, 이상 방전이나, 고주파 유도 안테나와 플라즈마 사이의 용량 결합의 영향, 가변 콘덴서의 내전압 특성의 문제가 있다. 그래서, ICP원의 설계자는, 정합회로에 사용하는 가변 콘덴서 등의 전기소자의 내전류 특성 및 내전압 특성이나, 고주파 유도 안테나의 냉각이나 이상 방전의 문제 등을 가미하면서, 고주파 유도 안테나의 형상이나 턴수를 결정한다.

[0005] 이와 같은 ICP원은, 고주파 유도 안테나의 감김 방법이나 형상에 의하여 안테나가 만드는 유도자장(H)이나 유도 전장(E)의 강도 분포, 즉 플라즈마의 분포를 제어할 수 있다는 이점이 있다. 이것에 의거하여, ICP원에서는 여러가지 연구가 진행되어 왔다.

[0006] 이 실용예로서, ICP원을 이용하여 기관 전극상의 기관을 처리하는 플라즈마 처리장치가 있다. 이 플라즈마 처리 장치에 관하여, 고주파 유도 안테나를, 일부 또는 전부가 다중 소용돌이형의 안테나로 구성하여, 더욱 균일한 플라즈마를 얻음과 동시에, 고주파 유도 안테나용 매칭 회로의 매칭용 병렬 코일에 의한 전력 효율의 저하를 작게 하여, 온도 상승을 작게 하는 것이 제안되어 있다(예를 들면, 특허문헌 1 참조).

[0007] 또, 완전히 동일한 복수의 고주파 유도 안테나를, 일정 각도마다 병렬하여 설치하는 구조가 제안되어 있다. 예를 들면, 3계통의 고주파 유도 안테나를, 120° 간격으로 설치함으로써, 둘레방향의 균일성을 향상시키는 것이 제안되어 있다(예를 들면, 특허문헌 2 참조). 이 고주파 유도 안테나는, 세로로 감기거나, 또는 평면으로 감기거나, 또는 돔을 따라 감기고 있다. 특허문헌 2와 같이, 완전히 동일한 복수의 안테나 요소를, 회로적으로 병렬로 접속하면, 복수의 안테나 요소로 이루어지는 고주파 유도 안테나의 토달 인덕턴스가 저감된다는 이점도 있다.

[0008] 또한, 고주파 유도 안테나를, 2개 이상의 동일 형상의 안테나 요소를 회로적으로 병렬로 접속하여 구성함과 동시에, 안테나 요소의 중심을 피처리물의 중심과 일치하도록 동심원 형상, 또는 방사형상으로 배치하고, 각 안테나 요소의 입력단을, 360° 를 각 안테나 요소의 수로 나눈 각도 간격으로 배치하며, 또한 안테나 요소가 지름방향과 높이방향으로 입체적인 구조를 가지도록 구성하는 것이 제안되어 있다(예를 들면, 특허문헌 3 참조).

[0009] ICP원에 대하여, Electron Cyclotron Resonance(이하, ECR이라 약칭한다) 플라즈마원은, 전자에 의한 전자파의 공명 흡수를 이용한 플라즈마 발생장치로서, 전자 에너지의 흡수 효율이 높고, 착화성이 우수하며, 고밀도 플라즈마가 얻어진다는 특징이 있다. 현재, micro wave(2.45 GHz)나 UHF, VHF대의 전자파를 사용한 것이 고안되어 있다. 방전 공간으로의 전자파의 방사는, micro wave(2.45 GHz)에서는 도파관 등을 사용한 무전극 방전이, UHF, VHF에서는 전자파를 방사하는 전극과 플라즈마 사이의 용량 결합을 이용한 평행 평판형 용량 결합 방전이 사용되는 경우가 많다.

[0010] 고주파 유도 안테나를 사용하여, ECR 현상을 이용한 플라즈마원도 있다. 이것은, 휘슬러파라고 불리는 일종의 ECR 현상에 따르는 웨이브에 의하여 플라즈마를 생성하는 것이다. 휘슬러파는 헬리콘파라고도 불리고, 이것을 이용한 플라즈마원은 헬리콘 플라즈마원이라고도 불린다. 이 헬리콘 플라즈마원의 구성은, 예를 들면, 원통형상의 진공용기의 측면에 고주파 유도 안테나를 감고, 이것에 비교적 낮은 주파수, 예를 들면 13.56 MHz의 고주파 전력을 인가하고, 또한 자장을 인가한다. 이때, 고주파 유도 안테나는, 13.56 MHz의 일주기 중 반주기에서는 우회전으로 회전하는 전자를 생성하고, 나머지 반주기에서는 좌회전으로 회전하는 전자를 생성한다. 이 2종류의 전자 중, 우회전하는 전자와 자장의 상호작용으로 ECR 현상이 생긴다. 단, 이 헬리콘 플라즈마원에서는, ECR 현상이 생기는 시간은 고주파의 반주기에 한정되는 것, 또, ECR이 발생하는 장소가 분산되어 전자파의 흡수 길이가 길기 때문에 긴 원통형상의 진공용기가 필요하게 되어 플라즈마의 균일성이 얻어지기 어려운 것, 긴 진공용기에 더하여 플라즈마 특성이 계단형상으로 변화하기 때문에 적절한 플라즈마 특성(전자온도나 가스의 해리 등)으로 제어하기 어려운 것 등 몇 가지 문제가 있어, 산업용으로는 그다지 적합하지 않다.

[0011] 이미, 헬리콘 플라즈마원 특유의 세로로 긴 진공용기가 제안되어 있다(예를 들면, 특허문헌 5 참조). 그러나, 이 문헌에 기재된 기술에서는, 고주파 유도 안테나는 사용되고 있지 않고, 플라즈마와 용량 결합하는 패치 전극에 부여하는 전압의 위상을 제어하는 방법으로 헬리콘파를 발생하도록 고안되어 있다. 또한, 상기한 바와 같은 플라즈마 분포의 제어성이 불리한 점을 보충하도록, 세로로 긴 진공용기를 따라 헬리콘파의 파장의 함수가 되는 간격을 두고, 2세트 이상의 전극군을 설치하도록 고안되어 있다. 그러나, 유도 결합 안테나를 사용하든, 용량 결합형의 패치 전극을 사용하든, 헬리콘파를 사용하는 경우 플라즈마의 제어성이 나쁜 세로로 긴 진공용기로부터는 벗어날 수 없다. 이것은, 특허문헌 5에 잘 반영되어 있다. 또, 이 세로로 긴 진공용기를 사용하여 플라즈

마의 제어성을 올리려고 하면, 매우 복잡한 전극과 자장의 구성을 가질 필요가 있다는 문제도 있고, 이것도 특허문헌 5에 잘 반영되어 있다.

[0012] 우회전하는 전자를 생성하기 위하여, 회전하는 전장을 만들어내는 방법은 복수 있다. 간편한 방법으로서, 상기 특허문헌 5 기재와 같은 패치 안테나의 방법이 오래전부터 알려져 있고, 패치 형상(원형이나 사각형의 작은 면형상)의 안테나를 원주 상에 n 개(예를 들면 4개) 나열하여, 방사하고 싶은 전자파의 주파수를 가지는 전압의 위상을 π/n (예를 들면 $\pi/4$)씩 어긋나게 하면서 공급하면, 우원편파(右圓偏波)한 전자파를 방출시킬 수 있다.

[0013] 먼저, 우회전 전장을 적극적으로 생성하는 방법에 대하여 설명한다. 적극적인 안테나가 있는 경우, 안테나 주변에는 near field(전장과 자장의 양쪽)와 far field(전자파)가 형성된다. 어떠한 장이 강하게 생성되는지 약하게 생성되는지는, 안테나의 설계와 사용법에 따라 다르다. 이때, 플라즈마와 안테나를 용량 결합시키면, 플라즈마에 대한 전력 수송의 주요 과정은 전장(near field)이 된다. 또, 플라즈마와 안테나를 유도 결합시키면, 플라즈마에 대한 전력 수송의 주요 과정은 자장(near field)이 된다. 적극적으로 용량 결합도 유도 결합도 시키지 않은 경우, 플라즈마에 대한 전력 수송의 주요 과정은 far field 이용이 된다. 이하, 전자파 방사, 전장, 자장에 의한 우회전 전장의 생성방법에 대하여 설명한다.

[0014] (1) 전자파 방사 (far field)

[0015] far field란, 먼쪽으로 전파하는 전자파를 말한다. 이 방법에서는, 적극적으로 우원편파한 전자장을 플라즈마의 생성공간으로 방출하는 경우와, 적극적으로 우원편파시키지 않으나 전자파에 포함되는 우원편파 성분을 이용하는 경우로 나뉜다. 상기한 패치 안테나를 n 개 나열하는 방법은 전자이고, 종래의 micro wave를 사용한 무전극 ECR 방전은 후자의 예이다. 플라즈마와 안테나는 near field가 방해하지 않도록 적극적으로는 결합시키지 않는다. 단지 방사한 전자파를 플라즈마에 입사하고 있을 뿐이다. 패치 안테나 또는 다이폴 안테나(특허문헌 4 참조 : 단, 이 기술은, 적극적으로 전자장을 우회전시키고 있는 것은 아니다) 등의 안테나 전반을 사용할 수 있음이 알려져 있다. 즉, 이 방법에서는, 하기 (A), (B), (C)를 언급할 수 있다.

[0016] (A) 안테나(전극)에는 전력을 가한다. 전자장의 방사 효율을 올리기 위하여, 적극적으로 안테나의 공진을 이용하는 경우가 많다. 공진을 이용하지 않으면 전자파의 방사 효율이 나쁘기 때문에 실용으로는 되기 어렵다. 방사한 전자파가 적극적으로 플라즈마를 향하는 것은 아니기 때문에(기본적으로 먼쪽으로 전파하기 때문에, 여기저기 여러 곳으로 날아간다), 플라즈마에 잘 흡수되지는 않고, 대전력 수송에는 사용하기 어렵다. 대전력 수송에는, 전자파의 전파방향이 한정되는 도파관을 사용하는 경우가 많다. 단, 도파관의 사이즈는 전자파의 파장에 의하여 결정되기 때문에, micro wave 이하의 주파수에서는 도파관 사이즈가 너무 커지기 때문에, 도파관을 사용하는 경우는 적다.

[0017] (B) 도파관이 아니라, 전극(안테나)을 사용하는 경우에는, 전극에 전력을 인가하는 단자가 있다. 전극을 접지하는 단자는 존재하지 않는 경우와 존재하는 경우로 나뉜다. 이것은, 안테나의 공진을 어떻게 일으킬지로 결정된다.

[0018] (C) 안테나의 유무에 관계없이, 플라즈마에 방사된 전자장의 침투 한계는 컷 오프 밀도(nc)(m^{-3})로 결정하고, 이 경우 전자파는 표피 깊이까지 플라즈마에 침투한다. 표피 깊이는, 200 MHz에서 플라즈마의 저항율을 15 Ωm 라고 하면 138mm이고, 시스(수 mm 이하)보다 자릿수에서 길다. 즉, 다음에 설명하는 용량 결합의 경우보다도 플라즈마 내에 더욱 깊게 침투한다.

[0019] 전자파의 주파수(f)와 컷 오프 밀도(nc)의 관계를 도 26에 나타낸다. micro wave 이하의 영역에서는, 컷 오프 밀도(nc)는, 산업상에서 사용하는 플라즈마 밀도($10^{15-17} m^{-3}$)보다 낮은 것이 일반적이다. 즉, micro wave 이하의 전자파는, 통상의 플라즈마 중을 자유롭게 전파할 수 없고, 표피 깊이까지 침투한다.

[0020] (2) 전장 (near field)

[0021] 전장을 생성하기 위해서는, near field(전장)를 발생시키는 적극적인 전극이 필요하고, 패치 전극(예를 들면, 특허문헌 5 참조)이나 평행 평판형 전극 등을 사용할 수 있다. 이 경우는, 전장(전극에 발생하는 전압)이 강해야 하기 때문에, 전극의 부하는 높은 임피던스로 할 필요가 있다. 즉, 여기서 사용되는 전극은, 플라즈마와 용량 결합하나, 접지된 부품과는 적극 결합하지 않도록 작성된다. 즉, 이 전극의 일부에서도 접지하거나, 콘덴서나 코일을 접속하여 접지시키는 것은 통상 할 수 없다. 전장은, near field이기 때문에, 전극과 플라즈마의 위치 관계를 고안함으로써, 대전력을 효율적으로 플라즈마에 수송할 수 있으나, 용량 결합을 강하게 하기 위하여, 플라즈마에 대하여 충분한 면적(큰 정전용량)이 필요하게 된다. 전극과 플라즈마의 용량 결합을 이용하기 때문에,

안테나(전자파 방사하는 전극)뿐만 아니라, 전자파를 방사할 능력이 약해도 단순한 전장(near field)을 발생시키는 전극(용량 결합형 평행 평판 플라즈마원의 전극과 동일)에서도 사용할 수 있다.

- [0022] 이 방법에서는, 이하의 것을 언급할 수 있다.
- [0023] (A) 전극에는 위상 제어한 전압을 가한다.
- [0024] (B) 전극에는 전압을 인가하는 단자만이 있고, 그 밖의 단자, 예를 들면 전극을 접지하는 단자는 존재하지 않는다.
- [0025] (C) 용량 결합한 전장은, 전자의 집단 운동(시스)으로 차폐된다. 이 차폐를 방지하기 위해서는, 전계에 수직인 자장을 인가하여 전자의 움직임을 제한함으로써 가능하게 된다. 다른 표현으로는, 전자의 움직임을 제한하면, 플라즈마 내에서의 전계의 파장이 길어진다고도 할 수 있다.
- [0026] (D) 특허문헌 5의 기술에서는, 이하의 논의에 의하여, 플라즈마와 용량 결합하는 전극을 사용하고 있다고 결론 지을 수 있다.
- [0027] (D-1) 고주파 신호로서 전압을 이용하고 있는 것. 이것은 고주파의 에너지가 전압, 즉 전계로 직접 변환되어 플라즈마에 전송되고 있는 것을 의미한다. 이것은, 전극이 플라즈마와 용량 결합하고 있는 것을 나타낸다. 덧붙여 말하면, 유도 결합을 이용하는 경우, 고주파로서 전류를 이용하여야 한다. 유도 결합은 유도자장에 의하여 행하여지나, 유도자장은 전압이 아니라 고주파 전류에 의하여 발생하기 때문이다.
- [0028] (D-2) 전자운동에 의한 차폐현상을 기술하고 있으나, 이것은 전극이 플라즈마와 용량 결합하고 있는 것을 의미한다. 이 차폐를 정자장(靜磁場)으로 해소할 수 있다는 것은, 전극이 플라즈마와 용량 결합하고 있는 경우만 유효한 수단이다. 왜냐하면, 정자장으로 표피 깊이를 바꾸는 것은 불가능하기 때문이다. 고주파 유도자장은 고주파 유도자장에 의해서만 상쇄할 수 있고, 정자장으로는 해소할 수 없다. 왜냐하면, 자장과는 가산과 감산이 가능한 물리량이나, 정자장(즉 일정값)에 의하여 고주파 유도자장(즉 변동값)을 상쇄하는 것은 불가능하다. 플라즈마의 표피 효과 자체, 전자장이 가지는 고주파 자장 성분의 차폐 효과이고, 표피 효과 자체를 가져오는 것은 플라즈마 내에 발생하는 고주파 유도자장(전류에 의하여 인가한 유도자장과 반대의 극성을 가지기 때문에 가산하면 전류에 의하여 생긴 유도자장을 상쇄하는 방향으로 움직인다)이다.
- [0029] (D-3) 인용문헌 5에 사용되고 있는 전극은, 안테나가 아니라고 설명하고 있다. 이것은, 사용되고 있는 전극이 near field를 주로 이용하고 있는 것밖에 되지 않는다. 즉, 유도전장이나 다음에 설명하는 유도자장 중 어느 한 쪽이다.
- [0030] (D-3-1) 인용문헌 5에서는, 도면에 전자파를 방사하는 효율이 나쁜 작은 면적의 패치 형상 전극을 사용하는 것이 나타나 있다. 이것은, 사용되고 있는 전극이 near field를 주로 이용하고 있는 것밖에 되지 않고, 유도전장이나 다음에 설명하는 유도자장 중 어느 한 쪽이다. 그러나, 전장의 경우 플라즈마와의 결합을 강하게 하기 위해서는 넓은 면적(큰 정전용량)이 필요하게 되는 데 대하여, 자장의 경우는 트랜스(유도 결합)를 실현하기 위하여 전류를 흘리는 선로를 플라즈마에 평행하게 가늘고 길게 뻗 필요가 있다. 특허문헌 5에서는, 전극의 형태로부터, 용량 결합하고 있다고밖에 되지 않는다. 패치 형상 전극을 접지시킨다는 기술도 도면도 없다. (D-3-2)에서 설명하는 바와 같이, 이 패치 형상 전극의 크기는 고주파의 파장보다 짧고, 패치 형상 전극에 발생하는 전압도 전류도 인가 고주파의 주파수에 의하여 변동하나, 순간적으로 보면 전극 전체에 파장의 영향이 없는 일정한 전압이 발생하고 있고, 또, 일정한 전류가 흘러들고 있게 된다. 패치 전극은 near field로서 강한 유도전장도 약한 유도자장도 형성하고 있으나, 이 경우 유도전장이 플라즈마와 강하게 용량 결합하는 면적을 가지고 있으나, 패치 형상 전극이 플라즈마와 강하게 트랜스 결합할 만큼의 선로 길이를 가지고 있지 않다.
- [0031] (D-3-2) 13.56 MHz를 사용하는 예를 인용하고 있으나, 13.56 MHz의 파장은 약 22m이고, 도면의 패치 형상 전극이 이 파장에 대하여 공진하고 있다고는 생각할 수 없는 것이다(만약, 공진하고 있다면 전극의 크기는 파장의 1/2이나 1/4의 크기가 필요하고, 예를 들면 특허문헌 4와 같이 적극적으로 공진하는 방법을 사용하지 않으면, 공진 등은 일어나지 않는다. 또, 안테나가 아니라고 기술하고 있는 것으로부터도, 이 패치 형상 전극은 공진하고 있는 것으로는 되지 않는다). 또, 이와 같은 거대한 전극을 필요로 하는 반도체 디바이스를 형성시키기 위한 소정의 처리를 행하는 플라즈마 처리장치는 없다. 이것은, 사용되고 있는 전극이 near field를 주로 이용하고 있는 것밖에 되지 않는다. 유도전장이나 다음에 설명하는 유도자장 중 어느 한 쪽이다. 그러나, 전장의 경우 플라즈마와의 결합을 강하게 하기 위해서는 넓은 면적(큰 정전용량)이 필요하게 되는 데 대하여, 자장의 경우는 트랜스(유도 결합)를 실현하기 위하여 전류를 흘리는 선로를 플라즈마에 평행하게 가늘고 길게 뻗 필요가 있다. 전극의 형태는 패치 형상이고 플라즈마와 트랜스 결합하기 위한 전류 선로는 거의 없다. 즉 이 패치 형상 전극

은, 용량 결합하고 있다고밖에 되지 않는다.

- [0032] (D-3-3) 패치 형상 전극을 접지시킨다는 기술도 도면도 없다. 이것은, 패치 형상 전극을 흐르는 전류는 플라즈마를 거쳐 어스에 흘러들게 된다. 즉, 플라즈마가 이 패치 형상 전극의 부하이고, 생성하는 플라즈마의 임피던스에 의하여 전류값이 크게 변한다. 잘 알려져 있는 바와 같이, 유도 결합 플라즈마에서는, 기본적으로, 플라즈마와 유도 결합하는 선로의 한쪽 끝에 전류를 공급하고, 다른쪽 끝을 접지한다. 이것은, 선로에 흐르는 전류가 주로 직접 접지(어스)로 흘러들어, 접지(부하의 낮은 임피던스화)에 의한 대전류를 발생시킨다. 이 대전류로 유도자장을 생성하여, 효율적으로 플라즈마에 전력을 수송할 수 있게 한 것이다. 물론, 접지단을 어스로부터 분리하여 그곳에 콘덴서를 삽입하는 것은 행하여지나, 전기 회로적인 고안에 의하여, 대전류를 발생함과 동시에, 그 대전류로 강한 유도자장을 생성하여, 효율적으로 플라즈마에 전력을 수송할 수 있게 한 것임에는 변함은 없다. 즉, 패치 형상 전극을 접지시킨다는 기술도 도면도 없는 것은, 이 패치 형상 전극이 플라즈마와 주로 용량 결합하고 있는 것밖에 되지 않는다.
- [0033] [특허문헌 1]
- [0034] 일본국 특개평8-83696호 공보
- [0035] [특허문헌 2]
- [0036] 일본국 특개평8-321490호 공보
- [0037] [특허문헌 3]
- [0038] 일본국 특개2005-303053호 공보
- [0039] [특허문헌 4]
- [0040] 일본국 특개2000-235900호 공보
- [0041] [특허문헌 5]
- [0042] 일본국 특허 제3269853호 공보
- [0043] [특허문헌 6]
- [0044] 일본국 특개평11-135438호 공보
- [0045] [비특허문헌 1]
- [0046] L. Sansonnens et al., Plasma Sources Sci. Technol., 15, 2006, pp302
- [0047] [비특허문헌 2]
- [0048] J. Hoopwood et al., J. Vac. Sci. Technol., A11, 1993, pp147
- [0049] [비특허문헌 3]
- [0050] M. Yamashita et al., Jpn. J. Appl. Phys., 38, 1999, pp4291
- [0051] [비특허문헌 4]
- [0052] K. Suzuki et al., Plasma Source Sci. Technol., 9, 2000, pp199

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

- [0053] 상기 종래의 우회전 전장을 생성하는 기술에 관하여, 유도자장(near field)을 사용하여 적극적으로 우회전하는 전장을 만들어내는 것은, 종래 이루어져 있지 않다. 또한, 유도자장으로 만들어진 적극적으로 우회전하는 유도 전장을 사용하여 ECR 현상을 일으키는 기술은 개발되어 있지 않다. 유도자장은 전류에 의하여 발생하기 때문에, 전장 이용과는 완전히 반대의 설계가 필요하게 된다. 즉, 유도자장의 이용에서는, 강한 near field(자장)를 발생하는 적극적인 전극이 필요하고, 전류가 강해야하기 때문에, 전극의 부하는 낮은 임피던스로 할 필요가 있다. 즉, 여기서 사용되는 전극은, 플라즈마와 유도 결합(트랜스 결합)하나, 적극적으로 접지하거나, 콘덴서나 코일을 접속하여 접지하는 것이 필요하게 된다. 유도자장의 이용은, near field이기 때문에, 플라즈마와의 위치관계

를 연구함으로써, 대전력을 효율적으로 플라즈마에 수송할 수 있다. 이 방법에서는, 유도 결합을 강하게 하기 위하여, 플라즈마와 결합할 만큼의 충분한 선로길이(코일길이)가 필요하게 된다. 이 방법은, 전극과 플라즈마의 유도 결합(트랜스 결합)을 이용하기 때문에, 안테나(전자와 방사하는 전극)뿐만 아니라, 전자파를 방사할 능력이 약해도 단순한 자장(near field)을 발생하는 전극(코일)에서도 사용할 수 있다. 이 방법에 의하면, 이하의 것을 말할 수 있다.

- [0054] (A) 전극에는, 위상 제어한 전류를 가하는 것.
- [0055] (B) 전극에는, 전류를 인가하는 단자가 있고, 또한 전극에서 접지부로 적극적으로 대전류를 흘리기 위한 다른 단자가 존재한다. 이 단자는 접지되거나, 콘덴서나 코일을 통하여 접지되는 것.
- [0056] (C) 유도 결합한 전장은, far field와 마찬가지로, 표피 효과로 차폐된다. 정자장으로 이 차폐를 방지하는 것은 불가능한 것.
- [0057] ICP원에서는, 고주파 전류(I)가 고주파 유도 안테나를 주회(周回)하는 동안에, 부유(浮遊) 용량을 거쳐 플라즈마나 어스에 흘러들어 손실을 발생시킨다. 이것이 원인이 되어, 유도자장(H)이 둘레방향에서 강약의 분포를 가지고, 결과적으로 둘레방향의 플라즈마의 균일성이 손상되는 현상이 현저해지는 경우가 있다. 이 현상은, 고주파 유도 안테나 주위의 공간의 유전율뿐만 아니라 투자율(透磁率)에도 영향을 받아, 반사파 효과나 표피 깊이 효과 등으로서 나타나는 파장 단축현상이다. 이 현상은, 동축 케이블과 같은 통상의 고주파 전송 케이블에서도 발생하는 일반적 현상이나, 고주파 유도 안테나가 플라즈마와 유도 결합 또는 용량 결합하고 있음으로써 그 파장 단축 효과가 더욱 현저하게 나타난다는 것이다. 또, ICP원뿐만 아니라, ECR 플라즈마원이나 평행 평판형 용량 결합 플라즈마원과 같은 일반적인 플라즈마원에서는, 고주파를 방사하는 안테나나 그 주변의 공간에, 안테나나 진공용기 내부를 향하는 진행파와 되돌아오는 반사파가 겹쳐서 정재파(定在波)가 발생한다. 이것은, 안테나 끝부나 플라즈마, 또한 고주파가 방사되는 진공용기 내의 많은 부분에서 반사파가 돌아오기 때문이다. 이 정재파도, 파장 단축효과에 크게 관여한다. 이들 상황 하에서는, ICP원의 경우, 설령 RF 바이어스 전원의 radio frequency로서 파장이 약 22m로 긴 13.56 MHz를 사용하고 있어도, 고주파 유도 안테나 길이가 2.5m 정도를 넘으면, 안테나 루프 내에 파장 단축효과를 따르는 정재파가 발생한다. 따라서, 안테나 루프 내에서의 전류 분포가 불균일이 되어, 플라즈마 밀도 분포가 불균일해진다는 문제가 발생한다.
- [0058] ICP원에서, 안테나에 흐르는 고주파 전류(I)는, 주기적으로 위상 즉, 흐르는 방향이 역전되고, 이것에 따라, 유도자장(H)[유도전장(E)]의 방향, 즉 전자의 구동방향이 역전된다는 문제가 있다. 즉, 인가하는 고주파의 반주기마다, 전자는 일단 정지하고, 역방향으로 가속되는 것을 반복한다. 이와 같은 상태에서, 고주파가 있는 반주기에서 전자에 의한 설봉 현상적 전리가 불충분한 경우, 전자가 일단 정지한 시점에서 충분히 높은 밀도의 플라즈마가 얻어지기 어렵다는 문제가 생긴다. 이 이유는, 전자가 감속되어 일단 정지하는 동안, 플라즈마의 생성 효율이 떨어지기 때문이다. 일반적으로, ICP원은, ECR 플라즈마원이나 용량 결합형 평행 평판형 플라즈마원보다도 플라즈마의 착화성이 나쁘나, 이것에는 상기와 같은 원인에 의한다. 또한, 고주파의 반주기마다 플라즈마의 생성 효율이 나빠지는 것은, 위상 제어를 하고 있지 않은 유도 결합을 사용한 헬리콘 플라즈마원도 동일하다.
- [0059] 이상 설명한 바와 같이, ICP원에서는, 플라즈마의 균일성을 향상시키는 고안이 여러가지 보이나, 어느 것이나 머리를 짜낼수록 고주파 유도 안테나의 구조가 복잡해지고, 산업용 장치로서는 성립하기 어렵게 된다는 문제가 발생한다. 또, 종래의 기술에서는, 양호한 플라즈마 균일성을 유지하면서 플라즈마의 착화성을 비약적으로 향상시키는 것은, 의도되어 있지 않고, 착화성의 나쁨은 해소되어 있지 않다.
- [0060] 다른 한편, ECR 플라즈마원은, 파장이 짧기 때문에 장치 내에 복잡한 전장 분포를 일으키기 쉬워, 균일한 플라즈마를 얻는 것이 어렵다는 문제가 있다.
- [0061] 즉, micro wave(2.45 GHz)의 파장은 짧기 때문에, 대구경(大口徑) ECR 플라즈마원에서는 micro wave가 방전 공간 내에 여러가지 고차 전파 모드로 전파한다. 이것에 의하여, 플라즈마 방전 공간 내의 도처에서 국소적으로 전장이 집중하고, 그 부분에서 고밀도의 플라즈마가 발생한다. 또, 입사하는 micro wave의 고차 전파 모드에 의한 전장 분포에, 플라즈마 장치 내부로부터 반사되어 되돌아오는 micro wave가 겹쳐 정재파가 발생하기 때문에, 장치 내의 전장 분포는 더욱 복잡해지기 쉽다. 이상의 두 가지 이유에 의하여, 일반적으로 대구경에 걸쳐 균일한 플라즈마 특성을 얻는 것은 어렵다. 또한, 일단 이와 같은 복잡한 전장 분포가 발생하면, 그 전장 분포를 제어하여 프로세스에 양호한 전장 분포로 변화시키는 것은 사실상 곤란하다. 왜냐하면, 고차 전파 모드가 발생하지 않도록, 또는, 장치 내에서 반사되어 되돌아오는 반사파가 복잡한 전장 분포를 형성하지 않도록, 장치 구조의 변경이 필요하게 되기 때문이다. 여러가지 방전 조건에 최적의 장치 구조가, 단일 장치 구조인 것은 거의 없

다. 또한, micro wave(2.45 GHz)에서 ECR 방전을 발생시키기 위해서는, 875 가우스라는 강한 자장이 필요하게 되고, 이것을 발생시키는 코일이 소비하는 전력이나 요크를 포함한 구조가 매우 커진다는 결점이 있다.

[0062] 또, 이들 문제 중 자장 강도에 관해서는, UHF, VHF에서는 비교적 약한 자장으로 되기 때문에, 문제의 크기는 완화된다. 그러나, 파장이 비교적 긴 UHF, VHF에서도 정재파의 문제는 심각하고, 방전 공간 내의 전장 분포가 불균일해져, 발생하는 플라즈마 밀도 분포가 평탄하지 않게 되어, 프로세스 균일성에 문제가 생기는 것을 알 수 있다. 이것에 관해서는, 현재도 이론적 실험적인 연구가 계속되고 있다(예를 들면, 비특허문헌 1 참조).

[0063] 이상 설명한 바와 같이, 종래의 ICP원에서는, 균일성이 좋은 플라즈마를 발생시키는 것은 검토되고 있으나, 안테나의 구조가 복잡해지지 않을 수 없고, 또, 플라즈마의 착화성이 나쁘다는 문제가 있다. 한편, ECR 플라즈마원은, 착화성이 좋으나, 전자파의 고차 전파 모드나 정재파에 의한 플라즈마 균일성이 나쁘다는 문제가 있다.

[0064] 본 발명은, 상기 문제를 감안하여 이루어진 것으로, ICP원을 이용한 플라즈마 처리장치에서 ECR 방전현상을 이용 가능하게 하는 것이다. 이것에 의하여, 안테나 구조를 최소한의 고안으로 최적화하여 플라즈마의 균일성을 양호하게 함과 동시에, 플라즈마의 착화성을 비약적으로 개선할 수 있다.

[0065] 즉, 본 발명은, 대구경의 플라즈마 처리장치에서도, 착화성이 좋은 균일한 플라즈마원을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0066] 상기 과제를 해결하기 위한 제 1 단계로서, 본 발명에서는, 시료를 수용할 수 있는 진공처리실을 구성하는 진공용기와, 상기 진공처리실에 처리가스를 도입하는 가스 도입구와, 상기 진공처리실 밖에 설치된 고주파 유도 안테나와, 상기 진공처리실 내에 자장을 형성하는 자장 코일과, 상기 고주파 유도 안테나에 고주파 전류를 공급하는 플라즈마 생성용 고주파 전원과, 상기 자장 코일에 전력을 공급하는 전원을 구비하고, 상기 고주파 유도 안테나에 상기 고주파 전원으로부터 고주파 전류를 공급하고, 또한 자장을 인가하여, 진공처리실 내에 공급되는 가스를 플라즈마화하여 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리장치에 있어서, 상기 진공처리실은, 상기 진공용기의 상부에 기밀하게 고정되는 진공처리실 덮개를 구비하고, 당해 진공처리실 덮개는 유전체로 이루어짐과 동시에 평판 형상 또는 중공(中空)의 반구 형상 또는 사다리꼴의 회전체 형상 또는 바닥이 있는 원통 형상 중 어느 하나의 형상을 가지고, 상기 고주파 유도 안테나를 $n(n \geq 2$ 의 정수)개의 고주파 유도 안테나 요소로 분할하며, 당해 분할된 각각의 고주파 유도 안테나 요소를 원주 상에 종렬로 나열하고, 종렬로 배치된 각 고주파 유도 안테나 요소에 차례로 λ (고주파 전원의 파장)/ n 씩 지연시킨 고주파 전류를 자력선 방향에 대하여 일정 방향으로 순서대로 늦추어 흐르도록 한다. 이것에 의하여, 상기 자장 코일에 전력을 공급하여 형성한 자장(B)의 자력선 방향에 대하여 오른쪽 방향으로 회전하는 회전 유도전장(E)을 상기 고주파 전류에 의하여 형성하고, 이 회전 유도전장에 의하여 플라즈마 중의 전자를 상기 자력선 방향에 대하여 오른쪽 방향으로 회전시킨다. 이때, 상기 회전 유도전장(E)의 회전 주파수와 상기 자장(B)에 의한 전자 사이클로트론 주파수를 일치시키도록 구성함과 동시에, 상기 유도전장(E)과 상기 자장(B) 사이에 $E \times B \neq 0$ 의 관계가 임의의 부분에서 만족되도록, 복수의 안테나와 자장을 구성하여 플라즈마를 발생시킴으로써, 상기 과제는 달성된다.

[0067] 상기 과제를 해결하기 위한 제 2 단계는, 상기 우회전으로 회전하는 전자에, 다시 자장(B)을 인가하여, 전자에 Larmor Motion을 일으키게 하는 것이다. Larmor Motion은, $E \times B$ 드리프트에 의거하는 우회전의 운동이고, 이 운동이 일어나기 위해서는, 상기 유도전장(E)과 자장(B)과의 사이에, $E \times B \neq 0$ 의 관계가 필요하다. 이 자장(B)의 인가방향은, 이 자장(B)의 자력선 방향에 대하여, 상기 유도전장(E)의 회전방향이 우회전이 되는 방향이다. 이것들을 만족할 때, 유도전장(E)에 의한 우회전의 회전방향과 Larmor Motion의 회전방향이 일치한다. 또한 이 자장(B)의 변화는, 그 변동 주파수(f_B)가, Larmor Motion의 회전 주파수[전자 사이클로트론 주파수(ω_c)]와의 사이에, $2\pi f_B \ll \omega_c$ 의 관계를 만족할 필요가 있다. 이 자장(B) 인가에 더하여, 그 자장 강도의 전자 사이클로트론 주파수(ω_c)와 회전하는 유도전장(E)의 회전 주파수(f)를, $2\pi f = \omega_c$ 가 되도록 일치시켜 전자 사이클로트론 공명 현상을 발생시킴으로써, 상기 과제는 달성된다.

[0068] 상기 과제를 해결하기 위하여, 본 발명에서는, 시료를 수용할 수 있는 진공처리실을 구성하는 원통 형상의 진공용기와, 당해 진공처리실에 처리가스를 도입하는 가스 도입구와, 상기 진공처리실의 밖에 설치한 고주파 유도 안테나와, 상기 진공처리실 내에 자장을 형성하는 자장 코일과, 상기 고주파 유도 안테나에 고주파 전류를 공급하는 플라즈마 생성용 고주파 전원과, 상기 자장 코일에 전력을 공급하는 자장 코일용 전원을 구비하고, 상기 고주파 유도 안테나에 상기 고주파 전원으로부터 고주파 전류를 공급하며, 진공처리실 내에 공급되는 가스를 플

라즈마화하여 피처리 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리장치에 있어서, 상기 고주파 유도 안테나를 $n(n \geq 2$ 의 정수)개의 고주파 유도 안테나 요소로 분할하고, 분할된 각각의 고주파 유도 안테나 요소를 진공용기와 동심원 형상의 원주 상에 종렬로 나열하고, 종렬로 배치된 각 고주파 유도 안테나 요소에 차례로 λ (고주파 전원의 파장)/ n 씩 지연시킨 고주파 전류를 급전함과 동시에, 상기 자장 코일에 전력을 공급하여 자장을 형성하고, 플라즈마를 발생시켜, 시료를 플라즈마 처리함으로써, 상기 과정은 달성된다.

[0069] 다음에, 본 발명에서는, 상기 시료를 수용할 수 있는 진공처리실을 구성하는 원통 형상의 진공용기와, 당해 진공처리실에 처리가스를 도입하는 가스 도입구와, 상기 진공처리실의 밖에 설치한 고주파 유도 안테나와, 상기 진공처리실 내에 자장을 형성하는 자장 코일과, 상기 고주파 유도 안테나에 고주파 전류를 공급하는 플라즈마 생성용 고주파 전원과, 상기 자장 코일에 전력을 공급하는 자장 코일용 전원을 구비하고, 상기 고주파 유도 안테나를 $n(n \geq 2$ 의 정수)개의 고주파 유도 안테나 요소로 분할하며, 분할된 각각의 고주파 유도 안테나 요소를 진공용기와 동심원 형상의 원주 상에 종렬로 나열하고, 종렬로 배치된 각 고주파 유도 안테나 요소에 차례로 λ (고주파 전원의 파장)/ n 씩 지연시킨 고주파 전류를 급전함과 동시에, 상기 고주파 유도 안테나에 상기 고주파 전원으로부터 고주파 전류를 공급하고, 진공처리실 내에 공급되는 가스를 플라즈마화하여 피처리 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리장치에 있어서, 상기 안테나에 의하여 생성되는 유도전장(E)과 상기 자장(B) 사이에, $E \times B \neq 0$ 의 관계를 만족하도록, 상기 고주파 유도 안테나와 상기 자장을 구성함으로써, 상기 과정은 달성된다.

[0070] 또한, 본 발명에서는, 상기 시료를 수용할 수 있는 진공처리실을 구성하는 원통 형상의 진공용기와, 당해 진공처리실에 처리가스를 도입하는 가스 도입구와, 상기 진공처리실의 밖에 설치한 고주파 유도 안테나와, 상기 진공처리실 내에 자장을 형성하는 자장 코일과, 상기 고주파 유도 안테나에 고주파 전류를 공급하는 플라즈마 생성용 고주파 전원과, 상기 자장 코일에 전력을 공급하는 자장 코일용 전원을 구비하고, 상기 고주파 유도 안테나를 $n(n \geq 2$ 의 정수)개의 고주파 유도 안테나 요소로 분할하며, 분할된 각각의 고주파 유도 안테나 요소를 진공용기와 동심원 형상의 원주 상에 종렬로 나열하고, 종렬로 배치된 각 고주파 유도 안테나 요소에 차례로 λ (고주파 전원의 파장)/ n 씩 지연시킨 고주파 전류를 급전함과 동시에, 상기 고주파 유도 안테나에 상기 고주파 전원으로부터 고주파 전류를 공급하고, 진공처리실 내에 공급되는 가스를 플라즈마화하여 피처리 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리장치에 있어서, 회전하는 유도전장(E)의 회전 주파수(f)와 자장(B)에 의한 전자 사이클로트론 주파수(ωc)를 $2\pi f = \omega c$ 가 되도록 일치시킨다. 이것에 의하여, 전자에, 전자 사이클로트론 공명에 의한 고주파 전력을 흡수시킴으로써, 상기 과정은 달성된다.

[0071] 다음에, 본 발명에서는, 상기 시료를 수용할 수 있는 진공처리실을 구성하는 원통 형상의 진공용기와, 당해 진공처리실에 처리가스를 도입하는 가스 도입구와, 상기 진공처리실의 밖에 설치한 고주파 유도 안테나와, 상기 진공처리실 내에 자장을 형성하는 자장 코일과, 상기 고주파 유도 안테나에 고주파 전류를 공급하는 플라즈마 생성용 고주파 전원과, 상기 자장 코일에 전력을 공급하는 자장 코일용 전원을 구비하고, 상기 고주파 유도 안테나를 $n(n \geq 2$ 의 정수)개의 고주파 유도 안테나 요소로 분할하며, 분할된 각각의 고주파 유도 안테나 요소를 진공용기와 동심원 형상의 원주 상에 종렬로 나열하고, 종렬로 배치된 각 고주파 유도 안테나 요소에 차례로 λ (고주파 전원의 파장)/ n 씩 지연시킨 고주파 전류를 급전함과 동시에, 상기 고주파 유도 안테나에 상기 고주파 전원으로부터 고주파 전류를 공급하고, 진공처리실 내에 공급되는 가스를 플라즈마화하여 피처리 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리장치에 있어서, 상기 안테나에 의하여 생성되는 유도전장(E)의 회전방향, 상기 자장 코일이 형성하는 자장(B)의 자력선에 대하여 우회전하도록, 상기 고주파 유도 안테나와 상기 자장을 구성함으로써, 상기 과정은 달성된다.

[0072] 또한, 본 발명은, 플라즈마 생성장치를, 진공처리실과, 당해 진공처리실 밖에 설치되어 고주파가 흐르는 복수의 고주파 유도 안테나를 가지고, 당해 복수의 안테나가 진공처리실 중에 형성하는 유도전장 분포가, 유한의 값을 가지는 자장 중에서, 일정 방향으로 회전하도록 구성하였다.

[0073] 본 발명은, 플라즈마 생성장치를, 진공처리실과, 당해 진공처리실 밖에 설치되어 고주파가 흐르는 복수의 고주파 유도 안테나를 가지고, 당해 복수의 안테나가 축대칭으로 배치되며, 또한, 자장 분포가 축대칭의 분포임과 동시에, 상기 복수의 안테나의 축과 상기 자장 분포의 축이 일치하여, 진공처리실 중에 형성되는 유도전장 분포가 일정 방향으로 회전하도록 구성하였다.

[0074] 본 발명은, 상기 플라즈마 생성장치에서, 상기 일정 방향으로 회전하는 상기 유도전장 분포의 회전방향, 상기 자장의 자력선의 방향에 대하여 우회전하도록 구성하였다.

[0075] 본 발명은, 상기 플라즈마 생성장치에서, 상기 복수의 안테나에 의하여 형성되는 유도전장(E)과 상기 자장(B)의

사이에 $E \times B \neq 0$ 의 관계가 만족되도록, 복수의 안테나와 자장을 구성하였다.

[0076] 본 발명은, 상기 플라즈마 생성장치에서, 상기 복수의 안테나에 의하여 형성되는 상기 회전하는 유도전장(E)의 회전 주파수(f)와 상기 자장(B)에 의한 전자 사이클로트론 주파수(ωc)를 $2\pi f = \omega c$ 가 되게 일치시키도록 구성하였다.

[0077] 또한, 본 발명에서는, 상기 플라즈마 처리장치에서, 자장(B)은 정자장이어도 되고, 변동자장이어도 되나, 변동자장의 경우, 그 변동 주파수(fB)가, Larmor motion의 회전 주파수[전자 사이클로트론 주파수(ωc)]와의 사이에, $2\pi fB < \omega c$ 의 관계를 만족시킴으로써, 상기 과정은 달성된다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0078] 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치는, 반도체 디바이스의 제조분야에만 그 사용이 한정되는 것은 아니고, 액정 디스플레이의 제조나, 각종 재료의 성막, 표면처리 등의 플라즈마 처리의 각 분야에 적용하는 것이 가능하다. 여기서는, 반도체 디바이스 제조용 플라즈마 에칭장치를 예로 들어, 실시예를 나타내기로 한다.

[0079] 도 1을 이용하여, 본 발명이 적용되는 플라즈마 처리장치의 구성의 개요를 설명한다. 고주파 유도 결합(ICP)형 플라즈마 처리장치는, 내부를 진공으로 유지된 진공처리실(1)을 가지는 원통 형상의 진공용기(11)와, 고주파에 의하여 생긴 전장을 진공처리실 내로 도입하는 절연체로 이루어지는 진공처리실의 덮개(12)와, 진공처리실(1) 내를 진공으로 유지하는 예를 들면 진공펌프에 결합된 진공 배기수단(13)과, 피처리체(반도체 웨이퍼)(W)가 탑재되는 전극(시료대)(14)과, 피처리체인 반도체 웨이퍼(W)를 외부와 진공처리실 내의 사이에서 반송하는 게이트 밸브(21)를 구비한 반송 시스템(2)과, 처리가스를 도입하는 가스 도입구(3)와, 반도체 웨이퍼(W)에 바이어스 전압을 공급하는 바이어스용 고주파 전원(41)과, 바이어스용 정합기(42)와, 플라즈마 생성용 고주파 전원(51)과, 플라즈마 생성용 정합기(52)와, 복수의 지연수단[6-2, 6-3(도시 생략), 6-4]과, 진공처리실(1)의 주변부 상에 배치되고, 고주파 유도 안테나(7)를 구성하는 복수로 분할되어 원주 상에 종렬 배치된 고주파 유도 안테나 요소[7-1(도시 생략), 7-2, 7-3(도시 생략), 7-4]와, 자장을 인가하기 위한 상부 안테나(81)와 하부 안테나(82)를 구성하는 전자석과, 자장의 분포를 제어하는 자성체로 만들어진 요크(83)와, 상기 고주파 유도 안테나 요소[7-1(도시 생략), 7-2, 7-3(도시 생략), 7-4]가 플라즈마와 용량 결합하는 것을 제어하는 패러데이 시일드(9)와, 상기 전자석에 전력을 공급하는 도시 생략한 자장 코일용 전원을 가지고 구성된다.

[0080] 진공용기(11)는, 예를 들면, 표면을 알루미늄 처리한 알루미늄제나 스텐레스제의 진공용기이고, 전기적으로 접지되어 있다. 또, 표면처리로서 알루미늄뿐만 아니라, 다른 내플라즈마성이 높은 물질(예를 들면 산화이트륨: Y_2O_3)을 사용할 수도 있다. 진공처리실(1)에는, 진공 배기수단(13) 및 피처리물인 반도체 웨이퍼(W)를 반입 출하기 위한 게이트 밸브(21)를 가지는 반송 시스템(2)을 구비한다. 진공처리실(1) 중에는, 반도체 웨이퍼(W)를 원통 형상 진공용기(11)와 동심원 형상으로 탑재하기 위한 전극(14)이 원통 형상 진공용기(11)와 동심원 형상으로 설치된다. 반송 시스템(2)에 의하여, 진공처리실 중으로 반입된 웨이퍼(W)는, 전극(14) 상으로 운반되어, 전극(14) 상에 유지된다. 전극(14)에는, 플라즈마 처리 중에 반도체 웨이퍼(W)에 입사하는 이온의 에너지를 제어할 목적으로, 바이어스용 정합기(42)를 거쳐, 바이어스용 고주파 전원(41)이 접속된다. 에칭 처리용 가스가, 가스 도입구(3)로부터, 진공처리실(1) 내로 도입된다.

[0081] 한편, 반도체 웨이퍼(W)와 대향하는 위치에는, 고주파 유도 안테나 요소[7-1(도시 생략), 7-2, 7-3(도시 생략), 7-4]가, 평판 형상의 석영이나 알루미나 세라믹 등의 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)를 거쳐 대기측에 설치된다. 고주파 유도 안테나 요소(..., 7-2, ..., 7-4)는, 그 중심이 반도체 웨이퍼(W)의 중심과 일치하도록 동심원상에 배치된다. 고주파 유도 안테나 요소(..., 7-2, ..., 7-4)는, 도 1에는 명시되어 있지 않으나, 복수의 동일 형상을 가지는 안테나 요소로 이루어진다. 복수의 안테나 요소의 급전단(A)은 플라즈마 생성용 정합기(52)를 거쳐 플라즈마 생성용 고주파 전원(51)에 접속되고, 접지단(B)은 접지 전위에, 어느 것이나 완전히 동일하게 접속된다.

[0082] 고주파 유도 안테나 요소(..., 7-2, ..., 7-4)와 플라즈마 생성용 정합기(52)와의 사이에는, 각 고주파 유도 안테나 요소(..., 7-2, ..., 7-4)에 흐르는 전류의 위상을 지연시키는 지연수단[6-2, 6-3(도시 생략), 6-4]이 설치된다.

[0083] 진공용기 덮개(12)에는, 도시 생략한 냉각용 냉매유로가 설치되고, 이 냉매유로에, 물, 플루오르이너트(Fluorinert), 공기, 질소 등의 유체를 흘림으로써 냉각된다. 안테나, 진공용기(11), 웨이퍼 탑재대(14)도 냉각 및 온도조절의 대상이 된다.

[0084] [실시예 1]

[0085] 도 2(a), 도 2(b)를 이용하여, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치의 제 1 실시예를 설명한다. 이 실시예에서는, 도 1의 위에서 본 도 2(a)에 나타내는 바와 같이, 고주파 유도 안테나(7)를 하나의 원주 상에서 $n = 4(n \geq 2)$ 의 정수)개의 고주파 유도 안테나 요소(7-1 ~ 7-4)로 분할한다. 각각의 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)의 급전단(A) 또는 접지단(B)은, 시계 회전방향으로 $360^\circ / 4(360^\circ / n)$ 씩 떨어져서 배치되고, 각각의 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)에 플라즈마 생성용 고주파 전원(51)으로부터 플라즈마 생성용 정합기(52)를 거쳐, 급전점(53)으로부터 각 급전단(A)을 거쳐 고주파 전류를 공급한다. 이 실시예에서는, 각 고주파 유도 안테나 요소(7-1 ~ 7-4)는, 각각 동일 원주 상의 우회전으로 급전단(A)측으로부터 약 $\lambda/4(\lambda/n)$ 떨어져 접지단(B) 측이 배치된다. 각 고주파 유도 안테나 요소(7-1 ~ 7-4)의 길이는 $\lambda/4(\lambda/n)$ 일 필요는 없으나, 발생하고 있는 정재파의 $\lambda/4(\lambda/n)$ 이하인 것이 바람직하다. 또, 안테나의 구성에 따라, 각 고주파 유도 안테나 요소의 길이는, $\lambda/2$ 이하이면 된다. 급전점(53)과 고주파 유도 안테나 요소(7-2, 7-3, 7-4)의 급전단(A) 사이에는, 각각 $\lambda/4$ 지연회로(6-2), $\lambda/2$ 지연회로(6-3), $3\lambda/4$ 지연회로(6-4)가 삽입된다. 이것에 의하여, 각 유도 안테나 요소(7-1 ~ 7-4)에 흐르는 전류(I_1, I_2, I_3, I_4)는, 도 2(b)에 나타내는 바와 같이 순서대로 $\lambda/4(\lambda/n)$ 씩 위상이 늦어지게 된다. 전류(I_1)로 구동된, 플라즈마 중의 전자는, 전류(I_2)로 계속해서 구동된다. 또, 전류(I_3)로 구동된 플라즈마 중의 전자는, 전류(I_4)로 계속해서 구동된다. -

[0086] 도 3(a), 도 3(b)를 이용하여, 도 2(a), 도 2(b)에 나타낸 고주파 유도 안테나를 사용한 경우의 플라즈마 중의 전자의 구동형태를 설명한다. 도 3(a), 도 3(b)에서, 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)의 급전단(A)과 접지단(B)의 구성은 도 2(a), 도 2(b)와 동일하다. 또, 각 유도 안테나 요소에 흐르는 전류(I_1 - I_4)의 방향은, 모두 급전단(A)으로부터 접지단(B)을 향한다고 표기하고 있다. 각 고주파 유도 안테나 요소에 흐르는 전류는, 도 2(a), 도 2(b)와 동일하게, I_1 - I_4 의 위상이 각각 90° 어긋나 있다. 위상을 90° 어긋나게 하고 있는 것은, 고주파 전류의 일주기(360°)를 4개의 고주파 유도 안테나 요소에 할당하기 위해서이기 때문에, $360^\circ / 4 = 90^\circ$ 의 관계를 가지고 있다. 여기서 말하는, 전류(I) 및 유도전장(E)은 유도자장(H)을 사용하고, 하기 수학식 (1) 및 수학식 (2)로 나타나는 맥스웰의 방정식으로 관계지어진다. 하기 수학식 (1) 및 수학식 (2)에서, E, H와 I는, 고주파 유도 안테나와 플라즈마의 모든 전계(전장) 및 자계(자장) 및 전류의 벡터이고, μ 는 투자율, ε 은 유전율이다.

수학식 1

$$\nabla \times E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t}$$

[0087]

수학식 2

$$\nabla \times H = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} + I$$

[0088]

[0089] 도 3(a)의 우측에는, 전류의 위상관계를 나타내고 있다. 여기에 나타낸 어느 시간($t = t_1$)에서의 유도전장(E)의, 고주파 유도 안테나에 둘러싸인 영역에서의 방향을, 도 3(a)의 좌측에 점선과 화살표로 나타내고 있다. 이 방향으로부터 알 수 있는 바와 같이, 유도전장(E)의 분포는 안테나가 배치되는 평면, 즉, 안테나가 만들어내는 평면에서 선대칭이 된다. 이 도 3(a)보다 전류의 위상이 90° 더 진행하였을 때($t = t_2$)의 유도전장(E)의 방향을 도 3(b)에 나타낸다. 유도전장(E)의 방향은 90° 시계방향으로 회전하고 있다. 이 도 3(a), 도 3(b)보다, 본 발명에서의 고주파 유도 안테나는, 시간과 함께 우회전, 즉 시계방향으로 회전하는 유도전장(E)을 만들어내는 것을 알 수 있다. 이 우회전하는 유도전장(E) 중에 전자가 존재하는 경우, 전자도 유도전장(E)에 구동되어 우회전한다. 이 경우, 전자의 회전주기는, 고주파 전류의 주파수에 일치한다. 단, 공학적 고안에 의하여, 고주파 전류의 주파수와 다른 회전주기를 가지는 유도전장(E)을 만드는 것은 가능하고, 이때, 전자는 고주파 전류의 주파수가 아니라 유도전장(E)의 회전주기와 동일한 주기로 회전한다. 이와 같이, 통상의 ICP원과 마찬가지로, 본 발명에서도 유도전장(E)으로 전자가 구동된다. 그러나, 고주파 유도 안테나의 전류(I)의 위상과

는 관계없는 일정 방향(이 도면에서는 우회전)으로 전자를 구동하는 것, 또 이 회전이 정지하는 순간이 없는 것이, 본 발명의 통상의 ICP원이나 헬리콘 플라즈마원과 다른 점이다.

[0090] 여기서, 본 발명의 고주파 유도 안테나가 플라즈마 중에 어떠한 유도전장(E)을 생성시키는지에 대하여 설명한다. 여기서는 유도전장(E)으로 설명하나, 수학적 (1)이 나타내는 바와 같이, 유도전장(E)과 유도자장(H)은 서로 변환 가능한 물리량이고, 등가(等價)이다. 먼저, 도 4는 종래의 ICP원이 만들어내는 유도전장(E)의 분포를 모식적으로 나타내고 있다. 종래의 ICP원에서는, 안테나가 일주하고 있어 원을 그리고 있든, 안테나가 분할되어 있든, 안테나에는 동일한 상(相)의 전류가 흐르기 때문에, 안테나가 만들어내는 유도전장(E)은 둘레방향으로 동일해진다. 즉, 도 4에 나타내는 바와 같이, 안테나 바로 밑에 유도전장(E)의 최대값이 나타나고, 안테나의 중심과 안테나 주위에 대하여 감쇠하는 도넛 형상의 전장 분포를 만든다. 이 분포는 X-Y 평면에서 중심점(O)에 대한 점대칭이다. 이론상, 안테나의 중심점(O)에서의 유도전장(E)은 $E = 0$ 이다. 이 도넛 형상의 전장 분포가, 전류의 방향(반주기)을 따라 오른쪽으로 돌거나 왼쪽으로 돈다. 유도전장(E)의 회전방향이 바뀔 때는, 전류가 제로가 될 때이고, 유도전장(E)은 일단 전영역에서 $E = 0$ 이 된다. 이와 같은 유도전장(E)은, 이미 유도자장(H)으로서 측정되어 있고, 확인되어 있다(예를 들면, 비특허문헌 2 참조).

[0091] 다음에, 본 발명의 안테나가 만드는 유도전장(E)을 설명한다. 먼저, 도 3(a)와 동일한 전류상태를 생각할 수 있다. 즉, I_4 에 양의 피크 전류가 흐르고, I_2 에 역방향의 피크 전류가 흐른다. 이것에 대하여, I_1 과 I_3 은 작다는 상황이다. 이 경우, 유도전장(E)의 최대값은, I_4 가 흐르는 안테나 요소(7-4)와 I_2 가 흐르는 안테나 요소(7-2)의 밑에 나타난다. 또, 전류가 거의 흐르지 않는 안테나 요소(7-1, 7-3)의 밑에는 강한 유도전장(E)은 나타나지 않는다. 이것을 모식적으로 나타낸 것이, 도 5이다. 여기서는, X-Y 평면형상의 X축 상에 2개의 피크가 나타나는 모습을 나타내었다. 도 5에 분명한 바와 같이, 본 발명의 유도전장(E)은, 안테나 둘레 상에 2개의 큰 피크를 가지고, 또한 X-Y 평면에서 축대칭(이 도면의 경우 Y축대칭)이다. 그리고, Y축 상에는 완만한 피크를 가지는 분포가 나타난다. 이 완만한 분포의 피크 높이는 낮고, 그 위치는 중심좌표(O)에 나타난다. 즉, 안테나의 중심점(O)에서의 유도전장은 $E = 0$ 이 아니다. 이와 같이, 본 발명에 의한 도 2(a), 도 2(b)의 구성에서는, 종래의 ICP원이나 헬리콘 플라즈마원과는 전혀 다른 유도전장(E)을 만들어내고, 또한, 그것이 고주파 유도 안테나의 전류(I)의 위상과는 관계없이 일정 방향(이 도면에서는 우회전)으로 회전한다. 또, 도 3(a), 도 3(b)에서 분명한 바와 같이, 모든 고주파 유도 안테나 요소에 흐르는 전류(I)가 동시에 $I = 0$ 이 되는 순간은 없다. 따라서 회전하는 유도전장(E)이 $E = 0$ 이 되는 순간은 존재하지 않은 것도 본 발명의 특징이다.

[0092] 본 발명에서는, 이와 같이 국소적인 피크를 가지는 유도전장 분포를 생성하나, 이것은 발생시키는 플라즈마의 균일성을 악화시키는 것으로는 되지 않는다. 먼저, 도 5의 X축 상의 유도전장 분포는, 안테나가 발생하는 유도자장 분포에 의하여 결정된다. 즉, 동일한 전류가 흐르는 경우, 도 4의 X축 상의 유도전장 분포와 도 5의 X축 상의 유도전장의 분포는, 중심점(O)을 중심으로 한 2개의 피크를 가지는 대칭인 형태의 유도전장이라는 의미에서 같다. 또한 본 발명의 유도전장은, 안테나에 흐르는 고주파 전류와 동일한 주파수로 회전하기 때문에, 고주파 전류의 일주기로 평균하면, X-Y 평면에서 중심점(O)에 대한 점대칭인 유도전장 분포가 발생하게 된다. 즉, 본 발명에서는, 전혀 다른 유도전장 분포를 만들어내나, 종래의 ICP원이 가지는 좋은 특징, 즉, 안테나의 구조로 유도전장 분포가 결정되는 것과, 점대칭으로 둘레방향으로 균일한 플라즈마를 발생시킬 수 있다는 특징을 그대로 유지하고 있다.

[0093] 여기서, 도 1에 나타낸 상하의 자장 코일(81, 82)과 요크(83)를 사용함으로써, 이 유도전장(E)의 회전면에 대하여 수직인 자장 성분을 가지는 자장(B)을 인가할 수 있다. 본 발명에서는, 이 자장(B)이 만족시켜야 하는 조건은 두 가지 있다. 첫번째는, 상기의 회전하는 유도전장(E)의 회전방향이, 자장(B)의 자력선의 방향에 대하여 항상 우회전이 되는 자장(B)을 인가하는 것이다. 예를 들면, 도 2(a), 도 2(b)의 구성에서는, 지금까지 설명해 온 바와 같이, 유도전장(E)은 지면에 대하여 시계회전의 방향, 즉 우회전한다. 이 경우, 자력선의 방향으로, 지면의 표면에서부터 이면을 향하는 방향의 성분이 필요하다. 이것에 의하여 유도전장(E)의 회전방향과 Larmor motion의 회전방향이 일치한다. 또, 이 첫번째 조건은, 유도전장(E)의 회전방향과 Larmor motion의 회전방향이 일치하는 자장(B)을 인가한다는 표현도 할 수 있다.

[0094] 나머지 조건은, 유도전장(E)에 대하여, $E \times B \neq 0$ 이 되는 자장(B)을 인가하는 것이다. 단, 이 $E \times B \neq 0$ 이라는 조건은, 플라즈마를 발생시키고 싶은 공간의 어딘가에서는 필요하나, 플라즈마를 발생시키고 싶은 모든 공간에서 필요한 것은 아니다. 자장을 인가하는 방법은 여러가지 있으나, 국소적으로 복잡한 구조를 가지는 자장을 사용하지 않은 한, 이 " $E \times B \neq 0$ "이라는 조건은 상기한 첫번째 조건에 포함된다. 이 " $E \times B \neq 0$ "이라는 조건에 의하여, 전자는 자력선을 중심(Guiding Center)으로 하는 Larmor motion이라 불리는 회전운동을 행한다.

이 Larmor motion은, 상기한 회전 유도전장에 의한 회전운동이 아니라, 전자 사이클로트론 운동이라 불리고 있는 것이다. 그 회전 주파수는 전자 사이클로트론 주파수(ω_c)라 불리고, 하기 수학적 (3)으로 나타낸다. 하기 수학적 (3)에서, q 는 전자의 기본전하, B 는 자장 강도, m_e 는 전자의 질량이다. 이 전자 사이클로트론 운동의 특징은, 그 주파수가 자장 강도만에 의하여 결정되는 것이다.

수학적 3

$$\omega_c = \frac{qB}{m_e}$$

[0095]

[0096] 여기서, 회전하는 유도전장(E)의 회전 주파수(f)를 이 사이클로트론 주파수(ω_c)에, $2\pi f = \omega_c$ 가 되도록 일치시키면, 전자 사이클로트론 공명이 생기고, 고주파 유도 안테나에 흐르는 고주파 전력은, 공명적으로 전자에 흡수되어, 고밀도 플라즈마를 발생시킬 수 있다. 단, "유도전장(E)의 회전 주파수(f)를 이 사이클로트론 주파수(ω_c)에 일치시킨다"라는 조건은, 플라즈마를 발생시키고 싶은 공간의 어딘가에서는 필요하나, 플라즈마를 발생시키고 싶은 모든 공간에서 필요한 것은 아니다. 이 ECR의 발생 조건은, 상기한 바와 같이 하기 수학적 (4)로 나타낸다. 여기서, v 는 도 3(a), 도 3(b)에 나타낸 전하의 평면에 수평인 방향의 전자의 속도이다.

수학적 4

$$2\pi f = \omega_c$$

[0097]

[0098] 또, 여기서 인가하는 자장(B)은 정자장이어도 되고, 변동자장이어도 된다. 단, 변동자장의 경우, 그 변동주파수(f_B)가, Larmor motion의 회전 주파수[전자 사이클로트론 주파수(ω_c)]와의 사이에, $2\pi f_B < \omega_c$ 의 관계를 만족시켜야 한다. 이 관계가 의미하는 것은, 전자 사이클로트론 운동을 하는 전자의 일주기에서 보면, 변동자장의 변화는 충분히 작아, 정자장으로 간주할 수 있다는 것이다.

[0099] 이상에 의하여, 전자 사이클로트론(ECR) 가열이라는 플라즈마 가열방법을 이용하여, 전자의 플라즈마 생성능력을 비약적으로 올릴 수 있다. 단, 산업상의 응용에 있어서, 원하는 플라즈마 특성을 얻는 것을 생각하면, 안테나 구조를 최적화하여 유도전장(E)의 세기와 그 분포를 제어함과 동시에, 상기 자장(B)의 강도 분포를 가변 제어함으로써, 필요한 곳에 필요한 만큼 상기 자장(B)이나 주파수의 조건을 만족하는 공간을 형성하여, 플라즈마 생성과 그 확산을 제어하는 것이 바람직하다. 도 1은, 이것을 고려한 일 실시예이다.

[0100] 또, 본 발명에서 설명한 ICP원에서 ECR 방전을 가능하게 하는 방법은, 사용하는 고주파의 주파수나 자장 강도에 의존하지 않고, 항상, 지금까지 설명해 온 조건을 만족시키면 이용 가능하다. 물론, 공학적인 응용에 관해서는, 발생시키는 플라즈마의 용기를 어떠한 크기로 할 것인지 등의 현실적인 제한에 의하여, 사용할 수 있는 주파수나 자장 강도에는 제한이 발생한다. 예를 들면, 다음 식으로 나타내는 Larmor motion의 반경(rL)이, 플라즈마를 가두는 용기보다 큰 경우, 전자는 주회운동하지 않고 용기 벽에 충돌하기 때문에, ECR 현상은 일어나지 않는다. 수학적 (5)에서, v 는, 도 3(a), 도 3(b)에 나타낸 전장의 평면에 수평인 방향의 전자의 속도이다.

수학적 5

$$rL = \frac{v}{\omega_c}$$

[0101]

[0102] 이 경우, 당연, 사용하는 고주파의 주파수를 높게 하고, ECR 현상이 발생하도록 자장 강도도 높게 할 필요가 있다. 그러나, 이 주파수와 자장 강도의 선택은, 목적에 따라 자유롭게 선택해야 하고, 본 발명이 나타낸 원리 자체는 조금도 손상되는 것이 아니다.

[0103] 여기서, 본 발명이 나타낸 ICP원에서 ECR 방전을 가능하게 하는 원리의 필요 충분 조건을 정리하면, 이하의 4가지가 된다. 첫번째는, 플라즈마를 생성하는 공간에 인가하는 자장(B)의 자력선의 방향에 대하여 항상 우회전하는 유도전장(E)의 분포를 형성하는 것이다. 두번째는, 이 자장(B)과 그 자력선의 방향에 대하여 우회전하는 유도전장(E)의 분포에 대하여, $E \times B \neq 0$ 을 만족시키는 자장(B)을 인가하는 것이다. 세번째는, 회전하는 유도전장(E)의 회전 주파수(f)와 자장(B)에 의한 전자 사이클로트론 주파수(ωc)를 일치시키는 것이다. 네번째는, 전자 사이클로트론 운동을 하는 전자의 일주기에서 보면, 자장(B)의 변화는 충분히 작아, 정자장으로 간주할 수 있다는 것이다. 이상의 4가지를 만족하는 실시예가 도 1이나, 도 1의 실시예를 변형해도 상기 필요 충분 조건을 만족하면, 어떠한 변형을 행하여도 ICP원에서 ECR 방전은 가능하게 된다. 즉, 도 1의 장치 구성을 어떻게 변형시켜도, 상기 필요 충분 조건을 만족하면 본 발명의 일 실시예가 되는 것에 주의하여야 한다. 그 변형은 단지 공학적인 설계의 문제이고, 본 발명이 나타내는 물리적인 원리를 변경하는 것은 아니다. 이하에, 도 1의 변형예에 대하여 정리한다.

[0104] 도 1에서는, 진공용기 덮개(12)가 평판 형상의 절연체로 이루어지고, 그 위에 고주파 유도 안테나(7)가 구성되어 있다. 이 구성이 의미하는 것은, 플라즈마를 생성하고 싶은 공간, 즉 진공용기 덮개(12)와 피처리체(W)에 끼워진 공간에, 자장(B)의 자력선의 방향에 대하여 항상 우회전하는 유도전장(E)의 분포를 형성할 수 있는 것이다. 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용이다. 따라서, 진공용기 덮개(12)가 평판 형상의 절연체인 것도, 고주파 유도 안테나(7)가 진공용기 덮개(12) 상에 구성되어 있는 것도, 본 발명에서는 필수 구성은 아니다. 예를 들면, 진공용기 덮개(12)는, 사다리꼴의 회전체 형상이나 중공의 반구 형상 즉 돔 형상 또는 바닥이 있는 원통 형상의 형상이어도 상관없다. 또, 고주파 유도 안테나는 진공용기 덮개에 대하여 어떠한 위치에 있어도 상관없다. 본 발명이 나타내는 원리에서 보면, 진공용기 덮개(12)의 형상과 진공용기 덮개에 대한 안테나 위치는, 상기 필요 충분 조건을 만족하는 구성이면, 모두 본 발명의 일 실시예이다.

[0105] 그러나, 산업상의 이용에서는, 진공용기 덮개의 형상과 진공용기 덮개에 대한 안테나 위치는 중요한 의미가 있다. 왜냐하면, 피처리체(W)의 면 내에서 균일한 가공을 필요로 하기 때문이다. 즉, 피처리체(W) 상에서 처리에 사용하는 이온이나 라디칼 등의 플라즈마를 구성하는 가스 종류의 성분이 균일한 분포를 형성해야 한다.

[0106] 플라즈마는, 고에너지 전자에 의하여 모(母)가스가 해리·여기·전리됨으로써 발생한다. 이때 발생하는 라디칼이나 이온에는, 강한 전자 에너지 의존성이 있고, 라디칼과 이온에서는 발생량뿐만 아니라, 그것들의 발생 분포가 다르다. 이것에 의하여, 라디칼과 이온을 완전히 동일한 분포로 생성하는 것은, 사실상 무리이다. 또, 발생한 라디칼이나 이온은 확산에 의하여 퍼지나, 그것들의 확산 계수는 라디칼이나 이온의 종류에 따라 다르다. 특히, 이온의 확산 계수는 중성의 라디칼의 확산 계수보다 자릿수에서 큰 것이 보통이다. 즉, 확산을 이용하여 피처리체(W)의 위에서 라디칼과 이온을 동시에 균일한 분포로 하는 것도, 사실상 무리이다. 또, 모가스가 분자인 경우나 여러 종류의 가스를 섞어 플라즈마를 발생시키는 경우, 라디칼이나 이온은 복수 종류 발생하기 때문에, 모든 라디칼과 이온의 분포를 균일하게 하는 것은 더욱 불가능하다. 그러나, 균일한 처리를 하기 위하여 중요한 것은, 플라즈마가 적용되는 프로세스가 어떠한 가스 종류에 의하여 진행되는지이다. 예를 들면, 반응이 특정한 라디칼 주체로 진행된다면, 그 라디칼의 분포를 균일하게 하는 것이 중요하다. 반대로, 이온에 의한 스퍼터링이 주체로 반응이 진행된다면, 그 이온의 분포를 균일하게 하는 것이 중요하다. 또한 라디칼과 이온이 경합하여 반응이 진행되는 경우도 있다. 이들 여러가지 프로세스에 대응하기 위해서는, 플라즈마의 발생 분포와 그 확산을 제어하여, 더욱 바람직한 균일성으로 각 프로세스를 진행시키는 것이 요구된다.

[0107] 이와 같은 요구에 대해서는, 본 발명에서는 2종류의 대응책이 있다. 이 이유는, 본 발명에서는, 플라즈마를 생성하는 전자의 에너지를 정하는 것이 $E \times B$ 의 크기, 간단히 말하면 유도전장(E)의 크기와, 자장(B)의 크기로 결정되기 때문이다. 첫번째 대응책은 유도전장(E)의 크기에 관련되어 있고, 프로세스마다, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)의 형상과 이것에 대한 안테나 위치를 최적화하는 것이다. 상기한 바와 같이, 본 발명에서는 통상의 ICP원과 마찬가지로, 안테나의 구성으로 플라즈마의 발생 분포가 결정된다. 안테나 근방에 가장 강한 유도전장(E)이 형성되기 때문이다. 또, 진공용기 덮개와 피처리체 및 진공용기가 만드는 공간의 확대에 의하여 발생한 라디칼이나 이온의 분포를 제어할 수 있다. 이것은, 두번째 대응책인 자장(B)과 깊은 관계가 있으나, 여기서 설명을 알기 쉽게 하기 위하여, 자장을 생각하지 않는 상태로 설명한다.

[0108] 도 13(a) 내지 도 13(e)에는, 4종류의 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)의 형상과 안테나 위치에 대하여, 피처리체(W)의 위에서의 분포가 어떠한 형태가 되는지를 모식적으로 나타내었다. 설명을 간단하게 하기 위하여, 이 분포는 이온의 분포라 한다. 도 13(a)에는, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)가 평판 형상인 경우를 나타내었다. 고주파 유도 안테나 요소(7)는 절연체인 진공용기 덮개(12)의 위에 있고, 안테나 바로 밑에 이온(플라즈마)의 생성공간(P)이 출현한다. 이때 발생한 이온은, 진공용기 덮개(12)와 진공용기(11)가 둘러싸는 공

간으로 확산하여 퍼진다. 정성적(定性的)으로 기술하면, 이때의 확산방향은 주로 하향이 된다. 이와 같은 확산에 의하여, 피처리체(W)의 위에 M형의 이온 분포가 형성되었다고 가정한다. 여기서, 안테나의 간격(d)을 도 13(b)에 나타내는 d'와 같이 작게 하였다고 한다. 이 안테나 위치의 변경에 의하여, 이온의 확산은 더욱 피처리체(W)의 중심방향을 향한다. 따라서, 피처리체(W) 위의 이온 분포를 더욱 중앙이 높게 할 수 있다. 또, 도시 생략하였으나, 안테나 간격을 더욱 넓히면, 이온의 M형 분포는 더욱 강조되는 방향으로 변화한다. 즉, 안테나의 구조의 변경은, 이온의 분포 제어에 매우 유용하다. 그러나, 안테나 구조의 변경만으로는, 여기서 생각하고 있는 이온 이외의 이온이나 라디칼도 동일한 분포 변화를 한다. 왜냐하면, 안테나에 대한 플라즈마 발생 영역의 확대에 변화는 적고, 또, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)와 진공용기(11)가 형성하고 있는 공간이 동일한 형태를 하고 있기 때문이다.

[0109] 이와 같은 분포 제어는, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)의 형상을 변경함으로써 가능하다. 도 13(c), 도 13(d), 도 13(e)에는, 각각 반구형의 돔 형상의 진공용기 덮개, 회전하는 사다리꼴 형상의 안쪽에 공간을 가지는 진공용기 덮개 그리고 바닥이 있는 원통형의 진공용기 덮개로 변경하였을 때의 이온의 분포를 모식적으로 나타내고 있다. 이것에 의하여 이해할 수 있는 것은, 도 13(a)에서 도 13(c), 도 13(d), 도 13(e)로 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)의 형상의 변화에 따라, 더욱 중앙을 향하는 이온의 확산이 증가하는 것이다. 따라서, 도 13(a)에서 도 13(c), 도 13(d), 도 13(e)로 변경함에 따라, 피처리체(W) 상의 이온 분포는 더욱 중앙이 높아진다.

[0110] 여기서, 도 13(b)와 도 13(d)에서는, 피처리체(W) 상의 이온 분포는 동일한 형태가 되도록 기재되어 있다. 이것은, 실제의 장치의 구조를 적절하게 설계함으로써 실현 가능하다. 그러나, 도 13(a)에서 도 13(b)로의 변경과, 도 13(a)에서 도 13(d)로의 변경에는 결정적인 차이가 있다. 이것은, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)와 진공용기(11)가 만드는 공간의 체적과 그 표면적이 다른 것이다.

[0111] 먼저, 이온은 공간에서 소멸할 확률은 매우 낮고, 그 소멸은 주로 벽 표면에서의 전하 방출이다. 공간에서 소멸하기 위해서는, 예를 들면, 2개의 전자와 동시에 충돌한다는(3체 충돌) 매우 드문 반응이 필요하기 때문이다. 또, 이온의 벽으로의 충돌은, 전자와 등량이어야 한다는(플라즈마의 준중성 조건) 제한이 있다. 그러나, 라디칼은 중성의 여기종(勵起種)이고, 단체(單體)의 전자나 다른 분자 등과 충돌하여 용이하게 그 활성 에너지를 잃는다. 반대의 경우도 있을 수 있다. 또, 라디칼도 벽에 충돌하여 그 여기 에너지를 잃으나, 그 유입은 플라즈마의 준중성 조건과는 관계가 없고, 단순히 벽으로의 확산량으로 결정된다. 물론, 상기한 바와 같이 이온과 라디칼의 확산 계수는 크게 다르다. 즉, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)와 진공용기(11)가 만드는 공간의 체적과 그 표면적을 바꿈으로써, 이온에 대한 라디칼의 생성영역·확산·소멸의 정도를 더욱 크게 바꿀 수 있다. 이상에 의하여, 도 13(a)에서 도 13(b)로의 변경과 비교하면, 도 13(a)에서 도 13(d)로의 변경은, 이온과 라디칼의 분포를 더욱ダイナミック하게 제어할 수 있음을 알 수 있다.

[0112] 두번째 대응책은, 자장(B)의 크기에 관련되어 있고, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)의 형상과 이것에 대한 자장 분포를 가변 제어함으로써, 플라즈마의 발생과 확산을 최적화하는 것이다. 도 1에 나타난 실시예에서는, 상하 자장 코일(81, 82)에 흘리는 전류와 요크(83)의 형상으로 자장의 강도와 그 분포를 제어한다. 이때, 예를 들면, 도 17에 나타내는 바와 같은 자장을 발생시킬 수 있다. 이 자장의 특징은, 자력선의 방향이 하방향으로 되어 있는 것이다. 이 자력선의 방향과, 도 3(a), 도 3(b)에 나타난 전계방향보다, 도 3(a), 도 3(b)에 나타난 전계의 회전방향과 전자의 Larmor motion은 자력선 방향에 대하여 동일한 우회전이 된다. 즉, 이 자장은, 상기 필요 충분 조건의 첫번째와 두번째를 만족한 일레이다.

[0113] 이 자력선에 수직인 평면에 등자장면(等磁場面)이 형성된다. 등자장면은 무수하게 있으나, 도 17에 그 일례를 나타내었다. 여기서, 상기 일정 방향으로 회전하는 유도전장 분포의 회전주기를 100 MHz라고 하면, 수학식 (3)으로부터 약 35.7 가우스 등자장면이 ECR 방전을 일으키는 자장 강도면이다. 이것을 ECR 면이라 부른다. 이 예에서는, ECR 면은 아래로 볼록한 형태를 하고 있으나, 평면형상이어도, 위로 볼록형상이어도 상관없다. 본 발명에서는, 플라즈마 생성부에 ECR 면을 만드는 것은 필수이나, ECR 면의 형상은 임의이다. 이 ECR 면은, 상하 자장 코일(81, 82)에 흘리는 전류를 가변함으로써 상하로 이동시키는 것이 가능하고, 또, 그 면형상도 더 아래로 볼록형상으로도 할 수 있고, 평면형상으로도, 위로 볼록형상으로도 할 수 있다.

[0114] 다음에, ECR 면과 진공용기 덮개 형상의 베리에이션(variation)을 조합하면 어떠한 효과가 발생하는지에 대하여, 도 18(a) 내지 도 18(e)를 이용하여 설명한다. 도 18(a)는 도 13(a)와 완전히 동일하고, 자장이 없을 때의 플라즈마의 생성영역(체크모양의 영역)과 그 확산방향을 모식적으로 나타낸 것이다. 이 도 13(a)에 대하여 ECR 면을 형성하였을 때의 일례를 도 18(b)에 나타낸다. 여기서, 먼저 중요한 것은, 이하의 (1), (2), (3)의 점

이다. (1) ECR에 의한 플라즈마 생성영역은, ECR 면을 따라 존재한다는 것이다. 이것만으로도, 자장이 없을 때와 ECR 면을 형성하였을 때를 비교하면, 플라즈마 중의 이온과 라디칼의 발생영역이 다른 것을 정성적으로 이해할 수 있다. (2) 방전의 세기는, 자장이 없을 때는 유도전장(E)의 크기에 따라 강해지나, ECR 방전에서는 $E \times B$ 의 크기에 따라 강해지는 것이다. (3) ECR에서 전자는 공명적으로 전계의 에너지를 흡수하기 때문에, 동일한 유도전장(E)이어도, 자장이 없을 때와 비교하여 ECR에서는 방전의 세기가 압도적으로 강한 것이다. 이들 (2), (3)도, 자장이 없을 때와 ECR 면을 형성하였을 때를 비교하면, 플라즈마 중의 이온과 라디칼의 발생영역이 다른 것을 원리적으로 나타내고 있다. 물론, 도 1에 나타난 실시예에서는, 상하 자장 코일(81, 82)에 흘리는 전류와 요크(83)의 형상을 변경함으로써, ECR 면의 면형상과 ECR 면의 진공용기 덮개에 대한 상하 위치를 크게 바꿀 수 있기 때문에, 자장이 없을 때와 ECR 면을 형성하였을 때를 비교하면, 플라즈마 중의 이온과 라디칼의 발생영역을 대폭으로 변경하는 것이 가능하게 된다.

[0115] 또, ECR 면을 형성하는 것은, 자장이 없을 때와 비교하면 확산의 상태도 다르다. 즉, 플라즈마 중의 이온과 전자는, 하전입자이기 때문에, 자장에 따라 확산하기 쉽고, 자장에 수직으로는 확산하기 어렵다는 특성을 가진다. 전자는 Larmor motion에 의하여 자력선에 감긴 상태로 자력선을 따라 확산함에 더하여, 이온은 플라즈마의 준중성 조건으로부터의 요청에 의하여, 전자와 동일한 방향으로 확산하기 때문이다. 그러나, 라디칼은 중성입자이기 때문에, 그 확산에 자장의 영향은 없다. 즉, ECR 면을 형성하는 것은, 이온이나 라디칼의 발생영역을 바꾸는 것뿐만 아니라, 이온이나 라디칼의 확산에 의한 분포형상에도 영향을 주는 것을 알 수 있다. 즉, 자장은 플라즈마 생성 분포와 확산을 제어하는 매우 유용한 수단이다. 도 18(c), 도 18(d), 도 18(e)는, 도 13(c), 도 13(d), 도 13(e)에 대응한 도면으로, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)의 형상을 각각 반구형의 돔 형상의 진공용기 덮개, 사다리꼴의 회전체의 안쪽에 공간을 가지는 진공용기 덮개 그리고 바닥이 있는 원통형의 진공용기 덮개로 변경하였을 때의 플라즈마의 생성영역을 모식적으로 나타내고 있다. 물론, 각 진공용기 덮개가 만드는 공간과 표면적의 크기가 다르기 때문에, 도 13(a) 내지 도 13(e)를 이용하여 설명한 확산과 소멸의 차이는 여기서도 원리적으로 동일하다.

[0116] 도 18(a) 내지 도 18(e)에서 말할 수 있는 것이 또 한가지 있다. 이것은, 본 발명에서는, 특허문헌 5로 대표되는 헬리콘파를 사용할 때 특유의 세로로 긴 진공용기를 필요로 하지 않는 것이다. 본 발명에서는, 도 18(b)에 나타내는 바와 같이 가로로 긴 진공용기도, 도 18(e)에 나타내는 세로로 긴 진공용기도, 자유롭게 선택할 수 있다. 이것이 가능하게 되는 것은, 헬리콘파를 여기하는 경우에는 전파해 가는 헬리콘파가 전파 도중에 충분히 흡수되도록 흡수 길이를 취하여야 하는(진공용기를 길게 한다) 것에 대하여, 본 특허에서는 ECR 면에서 전장의 에너지가 흡수되기 때문에 긴 흡수 길이가 불필요하기 때문이다. 본 발명에서는, 유도전장의 에너지를 흡수하는 공간은, ECR 면(등자장면과 전자의 회전면)을 형성할 수 있는 만큼의 크기로 충분하다. 왜냐하면, ECR 면은 어느 방향으로 전파하는 파가 아니라, 단순한 공명 면이기 때문이다. 이것이, 헬리콘파를 사용하는 경우와 ECR 면을 사용하는 경우의 결정적인 차이이고, 본 발명이 헬리콘 플라즈마원에 비하여 충분한 실용성을 가지는 이유이다.

[0117] 이상 설명한 바와 같이, 본 발명은, (1) 안테나 구조, (2) 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)의 구조, 그리고 (3) 자장이라는, 플라즈마의 생성과 확산·소멸을 조정하기 위한 장치를 3종류 가지고 있다. 이와 같은 특징은, 종래의 ICP원이나 ECR 플라즈마원, 평행 평판형 등의 플라즈마원에서는 용이하게 얻을 수 없었던 특징이다. 특히, 자장은 안테나 구조나 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)의 형상 등의 장치 구조를 결정한 후에도, 상하 자장 코일(81, 82)에 흘리는 전류를 가변함으로써, 플라즈마의 발생영역이나 그 확산을 더욱 다이나믹하게 제어할 수 있다는 특징을 가진다.

[0118] 도 14를 이용하여 진공처리실 덮개 형상의 제 2 예를 설명한다. 도 14에서, 진공처리실 덮개(12)의 형상 이외는 도 1의 플라즈마 처리장치의 구조와 대략 동일하여, 동일한 부분에는 동일한 부호를 붙이고, 이들의 설명은 생략한다. 도 1의 진공처리실 덮개(12)는 평판 형상(원반형상)의 절연체로 구성되었으나, 이 예에서는, 절연체로 이루어지는 진공처리실 덮개(12)는, 중공의 반구 형상 즉 돔 형상으로 형성되고, 도시한 바와 같이 원통형의 진공용기(11)의 정점부에 기밀하게 고정되어 진공처리실(1)을 구성한다. 이 구성에 의하여, 도 18(c)에 나타내는 바와 같이, ECR 면에 플라즈마 생성영역이 형성된다.

[0119] 도 15를 이용하여 진공처리실 덮개의 형상의 제 3 예를 설명한다. 도 15에서, 진공처리실 덮개(12)의 형상 이외는 도 1의 플라즈마 처리장치의 구조와 대략 동일하여, 동일한 부분에는 동일한 부호를 붙이고, 이들의 설명은 생략한다. 이 예에서는, 절연체로 이루어지는 진공처리실 덮개(12)는, 중공의 원뿔의 정점부를 삭제하고 평탄한 천정을 형성하여 안쪽에 공간을 가지는 형상으로 형성되고, 도시한 바와 같이 원통형의 진공용기(11)의 정점부에 기밀하게 고정되어 진공처리실(1)을 구성한다. 이 명세서에서는, 이 진공용기 덮개(12)의 형상을 사다리꼴의

회전체라 부른다. 이 구성에 의하여, 도 18(d)에 나타내는 바와 같이, ECR 면에 플라즈마 생성영역(P)이 형성된다.

[0120] 도 16을 이용하여 진공처리실 덮개 형상의 제 4 예를 설명한다. 도 16에서, 진공처리실 덮개(12)의 형상 이외는 도 1의 플라즈마 처리장치의 구조와 대략 동일하여, 동일한 부분에는 동일한 부호를 붙이고, 이들의 설명은 생략한다. 이 예에서는, 절연체로 이루어지는 진공처리실 덮개(12)는, 밀바닥을 가지는 원통으로서 안쪽에 공간을 가지는 형상으로 형성되고, 도시한 바와 같이 바닥이 위가 되도록 원통형의 진공용기(11)의 정점부에 기밀하게 고정되어 진공처리실(1)을 구성한다. 이 명세서에서는, 이 진공용기 덮개(12)의 형상을 바닥이 있는 원통형이라 부른다. 이 구성에 의하여, 도 18(e)에 나타내는 바와 같이, ECR 면에 플라즈마 생성영역(P)이 형성된다.

[0121] 이들 예에서는, 어느 것이나 그 기능은 도 1에 나타낸 실시예와 동일하다. 다른 점은, 각각의 플라즈마원이 생성하는 플라즈마의 이온이나 라디칼의 분포 제어의 범위(생성영역과 확산·소멸의 정도)가 다른 것이다. 이들 플라즈마원의 선택은, 본 발명을 어떠한 프로세스에 적용할지로 선택해야 한다.

[0122] 이하, 고주파 유도 안테나의 형상 등에 대하여 설명한다. 도 1[도 2(a), 도 2(b)]에서는, 4 분할된 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)가, 하나의 원주 상에 배치되어 있다. 이 "하나의 원주 상"이라는 구성도, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 실현하기 위한 필수 구성은 아니다. 예를 들면, 대소 2개의 원주를 생각해, 평판 형상 절연체(12)의 안 둘레와 바깥 둘레, 또는 상하나 비스듬하게도 4 분할된 고주파 유도 안테나가 배치되었다고 하여도, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 실현할 수 있다. 즉, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 실현할 수 있으면, 원주의 수나 그것들의 배치는 자유롭게 구성할 수 있다. 평판 형상 진공용기 덮개(12)의 경우와 동일하게, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)가, 사다리꼴의 회전체 형상이나 중공의 반구체 즉 돔 형상이나 바닥이 있는 원통형의 경우에도, 고주파 유도 안테나를 그 내주, 외주에 배치하는 것도, 상하나 비스듬하게 배치하는 것도 가능하다. 또한 2개의 원주를 생각할 뿐만 아니라, 3개 이상의 원주 상에, 각각 분할된 안테나를 배치하는 것도 가능하다.

[0123] 도 1[도 2(a), 도 2(b)]에서는, 원을 4 분할한 원호형상의 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)가, 하나의 원주 상에 배치되어 있다. 이 "4 분할"이라는 구성도, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 실현하기 위한 필수 구성은 아니다. 고주파 유도 안테나의 분할 수는, $n \geq 2$ 를 만족하는 정수(n)를 생각하면 된다. n개의 원호형상 안테나(고주파 유도 안테나 요소)를 사용하여 한개의 원주의 고주파 유도 안테나(7)를 구성할 수도 있다. 또한, 도 1에서는, 고주파에 흐르는 전류의 위상 제어에 의하여, 자력선 방향에 대하여 우회전하는 유도전장(E)을 형성하는 방법을 나타내었으나, 이것은, $n \geq 3$ 으로도 확실하게 형성할 수 있다. $n = 2$ 의 경우는 특수하고, 예를 들면, 2개의 반원형상의 안테나를 사용하여 하나의 원주를 형성하고, 각각에 $(360^\circ)/(2\text{개의 안테나}) = (180^\circ)$ 의 위상차를 두고 전류를 흘리는 것을 의미한다. 이 경우, 단지 전류를 흘리는 것만으로는, 유도전장(E)은 우회전도 좌회전도 할 수 있어, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 만족하지 않는 것처럼 보인다. 그러나, 본 발명의 필요 충분 조건을 만족하는 자장을 인가하면, 전자는 Larmor motion에 의하여 자발적으로 우회전을 행하기 때문에, 결과적으로 유도전장(E)도 우회전한다. 따라서, 본 발명에서의 고주파 유도 안테나의 분할 수는, 상기한 바와 같이, $n \geq 2$ 를 만족하는 정수(n)를 생각하면 된다. 이것은, 도 11에서 상세하게 설명하고 있다.

[0124] 도 1[도 2(a), 도 2(b)]에서는, 원을 4 분할한 원호형상의 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)가, 하나의 원주 상에 배치되어 있다. 이 "원주 상의 배치"도, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 실현하기 위한 필수 구성은 아니다. 예를 들면, 직선형상의 4개의 고주파 유도 안테나 요소를 이용하여 직사각형으로 배치하여도, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 실현할 수 있다. 당연히, $n \geq 2$ 를 만족하는 n개의 직선형상의 고주파 유도 안테나 요소를 이용하여 n각형($n = 2$ 의 경우는, 어느 정도 거리를 두고 대향시키면 된다)의 고주파 유도 안테나(7)를 구성할 수도 있다.

[0125] 도 1[도 2(a), 도 2(b)]에서는, 원을 4 분할한 원호형상의 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)의 급전단(A)과 접지단(B)이, 하나의 원주 상에 ABABABAB와 점대칭이 되도록 배치되어 있다. 이 "급전단과 접지단이 점대칭이 되도록 배치하는 것"도, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 실현하기 위한 필수 구성은 아니다. 급전단(A)과 접지단(B)은, 자유롭게 배치할 수 있다. 도 2(a), 도 2(b)와 대응하는 이 실시예를 도 6에 나타낸다. 도 6에서는, 일례로서, 고주파 유도 안테나 요소(7-1)의 급전단(A)과 접지단(B)의 위치를 반전시켜, 고주파 전류(I_1)의 방향을 반전시킨 것이다. 그러나, 이 경우에서는, 고주파 유도 안테나 요소(7-1)에 흐르는 고주파 전류(I_1)의 위상을 도 2(a), 도 2(b)에 나타낸 위상으로부터 반전시킴으로써(예를 들면, $3\lambda/2$ 지연시킨다), 도 5에 나타낸 회전하는 유도전장(E)을 만들어낼 수 있다. 이것에서 알 수 있는 것은, 급전단(A)과 접지단(B)의 위

치를 반전시키는 것은, 위상을 반전 : 즉 $\lambda/2$ 지연시키는 것과 같은 것이다.

[0126] [실시예 2]

[0127] 이것을 이용하면, 도 2(a), 도 2(b)의 구성은 더 간략화할 수 있고, 이것을 도 7에 나타낸다. 도 7의 구성은, 도 2(a), 도 2(b)에서 I_1 과 I_3 , I_2 와 I_4 가 각각 $\lambda/2$ 지연, 즉 반전되어 있는 것을 이용한 것으로, I_1 과 I_3 , I_2 와 I_4 에 각각 동일한 상의 전류를 흘리나, I_3 과 I_4 의 급전단(A)과 접지단(B)을 반전시킨 구성이다. 또한, I_1 과 I_3 , I_2 와 I_4 의 사이에 $\lambda/4$ 지연(6-2)을 넣고 있기 때문에, 도 2(a), 도 2(b)와 동일하게 회전하는 유도전장(E)(도 5에 나타낸 것)을 형성할 수 있다. 이상과 같이, 고주파 유도 안테나의 구성과 위상 제어를 조합하면, 많은 베리에이션을 만들 수 있다. 그러나, 이들 베리에이션은 공학적 설계에 지나지 않고, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 만족시키도록 구성한 경우, 모두 본 발명의 일 실시예가 된다.

[0128] [실시예 3]

[0129] 도 1에서는, 전원 출력부에 있는 정합기와 고주파 유도 안테나 요소(7-1 ~ 7-4) 사이에 위상 지연회로가 설치되어 있다. 이 "정합기와 고주파 유도 안테나 요소(7-1 ~ 7-4)의 사이에 위상 지연회로가 설치되어 있는 것"도, 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 실현하기 위한 필수 구성은 아니다. 상기 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 만족시키기 위해서는, 고주파 유도 안테나에, 도 5에 나타낸 회전하는 유도전장(E)을 형성하도록 전류를 흘리는 것뿐이다. 여기서, 도 2(a), 도 2(b)와 동일하게 도 5에 나타낸 회전하는 유도전장(E)을 형성하나, 다른 구성의 실시예를 도 8에 나타낸다. 도 8의 구성은, 고주파 유도 안테나 요소(7-1 ~ 7-4)와 동일한 수의 고주파 전원(51-1 내지 51-4)에 의하여, 고주파 유도 안테나 요소(7-1 ~ 7-4)에 전류를 흘리는 것이나, 하나의 발신기(54)의 출력에, 지연수단 없음 및 $\lambda/4$ 지연수단(6-2) 및 $\lambda/2$ 지연수단(6-3) 및 $3\lambda/4$ 지연수단(6-4)을 각각 거쳐 고주파 전원(51-1 ~ 51-4), 정합기(52-1 ~ 52-4)를 접속하고, 각각 필요한 위상 지연을 행한다는 것이다. 이와 같이 고주파 전원(51)을 증가시킴으로써, 정합회로(53)가 증가하나, 고주파 전원 단체의 전력량을 작게 할 수 있어, 고주파 전원의 신뢰성을 올리는 것이 가능하게 된다. 또, 각 안테나에 공급하는 전력을 미세 조정함으로써, 둘레방향의 플라즈마의 균일성을 제어할 수 있다.

[0130] [실시예 4]

[0131] 이와 같은 전원구성고 고주파 유도 안테나 구성의 베리에이션은 이 하나에 한정하지 않는다. 예를 들면, 도 2(a), 도 2(b)와 도 8에 나타낸 구성을 응용하면, 도 2(a), 도 2(b)와 동일하게 도 5에 나타낸 회전하는 유도전장(E)을 형성하나, 또 다른 구성을 만들 수 있다. 이 일 실시예를 도 9에 나타낸다. 도 9의 실시예는, 발신기(54)에 접속된 고주파 전원(51-1)과 $\lambda/2$ 지연수단(6-3)을 거쳐 접속된 고주파 전원(51-2)의 2대의 고주파 전원으로부터 서로 $\lambda/2$ 지연한 고주파를 급전점(53-1, 53-2)에 출력하고, 이들 출력과 고주파 유도 안테나 요소(7-2, 7-4)의 사이에서 다시 $\lambda/4$ 지연수단(6-2)을 거쳐 필요한 지연을 행하는 것이다.

[0132] [실시예 5]

[0133] 다음 실시예는, 도 9와 도 7의 실시예를 조합한 것으로, 이것을 도 10에 나타낸다. 도 10에서는, 도 9와 동일한 발신기(54)에 접속된 2대의 고주파 전원(51-1, 51-2)을 사용하나, 그 위상은 발신기(54)의 출력부에서 한쪽의 고주파 전원(51-3)측에 $\lambda/4$ 지연수단(6-2)을 삽입하여 위상을 $\lambda/4$ 어긋나게 함과 동시에, 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2)는 급전단(A)과 접지단(B)을 도 9와 동일하게 설정하고, 고주파 유도 안테나 요소(7-3, 7-4)는 급전단(A)과 접지단(B)을 도 7과 동일하게 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2)와 반대방향으로(반전시켜) 설정한 것이다. 이 출력의 위상의 기준을 I_1 의 위상이라고 하면, I_1 과 I_3 은 동일한 상의 전류가 되나, I_3 의 방향[급전단(A)과 접지단(B)]이 도 2(a), 도 2(b)와 비교하여 반전하고 있기 때문에 I_1 과 I_3 이 형성하는 유도전장(E)은 도 2(a), 도 2(b)와 동일해진다. 또, I_2 와 I_4 는 I_1 에 비하여 위상이 $\lambda/4$ 지연되고 있고, I_2 와 I_4 도 동일한 상의 전류가 되나, I_4 의 방향[급전단(A)과 접지단(B)]이 도 2(a), 도 2(b)와 비교하여 반전하고 있기 때문에, I_2 와 I_4 가 형성하는 유도전장(E)은 도 2(a), 도 2(b)와 동일하게 된다. 결과적으로, 도 10에 나타낸 실시예는, 도 2(a), 도 2(b)와는 구성이 다르나, 도 2(a), 도 2(b)와 동일한 유도전장(E)을 형성한다.

[0134] 즉, 이 실시예는, 시료를 수용할 수 있는 진공처리실을 구성하는 진공용기와, 상기 진공처리실에 처리가스를 도입하는 가스 도입구와, 상기 진공처리실 밖에 설치된 고주파 유도 안테나와, 상기 진공처리실 내에 자장을 형성하는 자장 코일과, 상기 고주파 유도 안테나에 고주파 전류를 공급하는 플라즈마 생성용 고주파 전원과, 상기 자장 코일에 전력을 공급하는 전원을 구비하고, 상기 고주파 유도 안테나에 상기 고주파 전원으로부터 고주파

전류를 공급하며, 진공처리실 내에 공급되는 가스를 플라즈마화하여 시료를 플라즈마 처리하는 플라즈마 처리장치에서, 특히, 상기 고주파 유도 안테나를 m (m 은 양의 짝수)개의 고주파 유도 안테나 요소로 분할하고, 분할된 각각의 고주파 유도 안테나 요소를 원주 상에 종렬로 나열하고, 종렬로 배치된 상기 고주파 유도 안테나 요소에, $m/2$ 개의 각 고주파 전원보다 미리 λ (고주파 전원의 파장)/ m 씩 지연시킨 고주파 전류를, 첫번째 고주파 유도 안테나 요소로부터 $m/2$ 번째까지의 고주파 유도 안테나 요소까지 차례로 고주파 유도 안테나 요소에 공급하고, 또한, $m/2+1$ 번째의 고주파 유도 안테나 요소로부터 m 번째까지의 고주파 유도 안테나 요소까지는 차례로 그 고주파 유도 안테나 요소가 대향하는 첫번째부터 $m/2$ 번째까지의 고주파 유도 안테나 요소와 동일한 위상의 고주파 전류를 공급하나, 상기 고주파 유도 안테나 요소를 흐르는 전류의 방향이 반대가 되도록 당해 고주파 유도 안테나 요소를 구성하고, 일정 방향으로 회전하는 전장을 형성하여 시료를 플라즈마 처리하도록 구성함으로써, 상기 자장 코일에 전력을 공급하여 형성한 자장의 자력선 방향에 대하여 우회전으로 순서대로 지연시켜 흘리고, 특정 방향으로 회전하는 전장을 형성하여 플라즈마를 발생시켜 시료를 플라즈마 처리하도록 구성한 것이다.

[0135] 이상으로부터, 도 2(a), 도 2(b), 도 6, 도 7, 도 8, 도 9, 도 10은 모두 구성이 다르나, 도 5에 나타낸 바와 같이, 자력선 방향에 대하여 우회전하는 동일한 유도전장 분포(E)를 형성한다. 모두, 상기의 필요 충분 조건의 첫번째 내용을 만족하는 베리에이션이다.

[0136] [실시예 6]

[0137] 상기한 바와 같이, 고주파 유도 안테나의 분할 수(n)가 $n = 2$ 인 경우, 상기한 필요 충분 조건의 두번째 내용을 만족하는 자장(B)을 인가함으로써, 고주파 유도 안테나가 형성하는 유도전장(E)은 자력선 방향에 대하여 우회전한다. 이 실시예에서는, 2개의 고주파 유도 안테나 요소에는, $\lambda/2$ 위상이 어긋난 고주파를 급전한다. 이 실시예의 기본 구성을 도 11에 나타낸다. 도 11의 구성에서는, 안테나 요소(7-1)의 급전단(A)과 접지단(B)과 안테나 요소(7-2)의 급전단(A)과 접지단(B)이 ABAB와 둘레방향으로 점대칭으로 늘어서도록 구성됨과 동시에, 발신기(54)의 2개의 출력은, 한쪽이 고주파 전원(51-1) 및 정합기(52-1)를 거쳐, 고주파 유도 안테나 요소(7-1)의 급전단(A)의 급전점(53)-1에 접속되고, 다른 한쪽이 $\lambda/2$ 지연수단(6-3)과 고주파 전원(51-2) 및 정합기(52-2)를 거쳐, 고주파 유도 안테나 요소(7-2)의 급전단(A)의 급전점(53-2)에 접속되어 있다.

[0138] 따라서, 도 11에 기재한 바와 같이, 각 고주파 유도 안테나 요소의 전류의 방향은 I_1 과 I_2 에 화살표로 나타낸 방향이다. 그런데, 각 고주파 유도 안테나의 요소(7-1, 7-2)에는, 위상이 역전환($\lambda/2$ 위상이 어긋났다) 전류가 흐르기 때문에, 결과적으로, 각 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2)에 흐르는 고주파 전류는 도면에 대하여, 위상의 반주기마다, 상향 또는 하향의 어느 한쪽이 된다. 따라서, 도 11의 형성하는 유도전장(E)은, 도 5와 동일한 2개의 피크를 가지게 된다. 단지 이것만으로는, 유도전장(E)에 구동된 전자는, 우회전도 좌회전도 가능하게 된다. 그러나, 이것에 상기 필요 충분 조건을 만족하는 자장(B)(지면의 표면에서 이면으로 향하는 자력선의 자장)을 인가하면, 우회전하는 전자는 ECR 현상에 의하여 공명적으로 고주파의 에너지를 수취하여 고효율로 설봉적 전리를 일으키나, 좌회전하는 전자는 공명적으로 고주파 에너지를 수취할 수 없기 때문에 전리 효율은 나쁜 것이 된다. 결과적으로, 플라즈마의 발생은 우회전하는 전자에 의하여 주체적으로 행하여지게 되어, 효율적으로 고주파 에너지를 수취하여 고속도까지 가속된 전자가 남게 된다. 이때, 플라즈마 중을 흐르는 전류성분은 저속의 좌회전하는 전자와, 고속의 우회전하는 전자가 주된 성분이 되나, 당연히, 고속에 도달한 우회전하는 전자에 의한 전류가 지배적이게 되어, 수학적 (1) 및 수학적 (2)로부터 알 수 있는 바와 같이 유도전장(E)은 우측으로 회전한다. 이것은, micro wave나 UHF, VHF를 사용한 종래의 ECR 플라즈마원에서, 특히 전계를 특정 방향으로 회전시키지 않아도 ECR 방전이 생기는 것과 동일하다.

[0139] [실시예 7]

[0140] 이 도 11에 대하여, 도 6(또는 도 7, 도 10)의 효과를 넣으면, 도 12와 같이, 간단한 구성으로 ECR 현상을 일으킬 수 있다. 도 12에서는, 위상을 반전시킨 고주파를 공급하지 않고, 각각의 고주파 유도 안테나 요소에 동일한 위상의 고주파를 공급하나, 각각의 고주파 유도 안테나 요소의 급전단(A)과 접지단(B)을 동일하게 함으로써 전류의 방향이 반전하기 때문에, 도 11과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 단, 고주파 유도 안테나의 분할 수(n)가 $n = 2$ 인 경우, 2개의 고주파 유도 안테나 요소에 흐르는 전류가 동시에 제로가 되는 경우가 존재하기 때문에, 예외적으로 유도전장(E)이 $E = 0$ 이 되는 순간이 존재한다. 고주파 유도 안테나의 분할 수(n)가 $n \geq 3$ 인 경우, 각각의 경우에 따른 도 3(a), 도 3(b)와 동일한 도면을 작성하면 분명한 바와 같이, 항상 2개 이상의 고주파 유도 안테나 요소에 전류가 흐르기 때문에, 유도전장(E)이 $E = 0$ 이 되는 순간은 존재하지 않는다.

[0141] 서로 등간격으로 안테나의 중심으로부터 방사상으로 배치된 적어도 3개의 직선형상 도체로 이루어지고, 당해 직선형상 도체의 각각은 한쪽 끝이 접지된 다른쪽 끝이 RF 고주파 전원에 접속되는 것이 나타나 있다(예를 들면,

특허문헌 6 참조). 이 특허문헌 6의 도 3(c), 도 3(e)에는, (a) 안테나는 진공 중에 도입되어 있고, (b) 또, 안테나는 직선형상 도체로 구성되어 있고, (c) 또한, 당해 직선형상 도체가 절연 피복되어 있고, (d) 자장을 인가하는 구성이 개시되어 있다. 이들 구성은, 본 발명의 도 12인 $n = 2$ 의 구성과 매우 닮아있다. 특허문헌 6의 구성의 목적은, 진공 중에 도입한 안테나에 대전력을 안정적으로 투입하여 고밀도의 플라즈마를 생성하고, 자장에 의하여 그 확산을 제어하여 균일한 분포를 얻는다는 것이다. 그러나 이 구성은, 본 특허와 비교하면 치명적인 결함이 있다. 이 기본 원인은, 진공 중에 안테나가 도입되어 있는 것이다. 이 문헌에서 설명하고 있는 바와 같이, 진공 중에 도체 안테나를 도입하면 이상 방전 등에 의하여 안정적인 플라즈마를 생성하는 것이 곤란하다. 이것은, 비특허문헌 3 문헌에도 기재된 사실이다. 이 때문에 특허문헌 6의 발명에서는, 안테나를 안정되게 플라즈마로부터 절연 피복하기 위하여 직선형상 도체로 하고 있다. 그런데, 이 안테나는 플라즈마와 유도 결합할 뿐만 아니라, 용량 결합도 한다. 즉, 안테나 도체와 플라즈마는, 절연 피복의 정전용량에 의하여 연결되어 있고, 절연 피복의 플라즈마측 표면에는 고주파 전압에 의한 셀프 바이어스 전압이 발생하고, 절연 피복표면은 항상 플라즈마의 이온에 의하여 스퍼터된다. 이것에 의하여, 문제가 발생한다. 먼저, 절연 피복이 스퍼터됨으로써, 플라즈마 처리를 하는 반도체 웨이퍼는, 절연 피복의 원료물질에 오염되거나, 또는, 절연 피복이 스퍼터에 의하여 이물이 되어 반도체 웨이퍼의 위에 실려, 정상적인 플라즈마 처리를 할 수 없게 된다. 다음 문제는, 절연 피복이 시간 경과에 따라 얇아져, 절연 피복부의 정전용량의 증가와 함께 안테나 도체와 플라즈마간의 용량 결합이 강하게 되어 가는 것이다. 이것에 의하여, 먼저, 용량 결합에 의하여 생성되는 플라즈마의 특성이 시간과 함께 변화되어, 일정한 특성의 플라즈마가 발생할 수 없게 된다. 즉 플라즈마 특성의 경시 변화가 발생한다. 또한, 절연 피복이 얇아져 용량 결합이 강해지면, 더욱 높은 셀프 바이어스 전압이 발생하고, 절연 피복은 가속도적으로 소모하여, 이물발생이나 오염도 가속적으로 증가한다. 최종적으로는, 가장 약한 절연 피복부가 찢어져, 안테나 도체가 직접 플라즈마와 접촉하여, 이상 방전을 일으켜 플라즈마 처리를 계속할 수 없게 된다. 당연히, 안테나의 수명은 유한하다. 즉, 특허문헌 6의 발명의 구성은, 산업용으로는 적합하지 않다. 처음 사용하기 시작했을 때는 좋아도, 사용하고 있는 중에 특성이 점점 열화하여 사용할 수 없게 되는데다가, 안테나는 소모품으로서 교환할 필요가 있어 시간과 비용이 소요되는 장치가 된다. 이것에 대하여, 본 특허의 구성은 절연체 덮개(12)의 대기층에 있고, 그 수명은 반영구적이고, 소모품으로서 교환하는 시간이나 비용이 소요되지 않는다. 또한, 도 1에 나타난 바와 같이, 안테나와 플라즈마의 사이에는 패러데이 시일드가 있고, 안테나와 플라즈마 사이의 용량 결합을 차단할 수 있다. 따라서, 절연체 덮개(12)가 이온으로 스퍼터되어 반도체 웨이퍼의 오염이나 이물 발생은 없는데다가, 절연체 덮개(12)가 스퍼터로 얇아져 사용할 수 없게 되는 일도 없다. 또한 본 발명과 특허문헌 6의 발명의 차이는, 특허문헌 6의 발명은 회전하는 유도전장을 만들어내는 것도, 이 회전 유도전장과 자장에 의하여 ECR을 일으키는 것도, 양쪽 모두 의도되어 있지 않은 것이다.

[0142] 도 1에서는, 자장의 구성요건으로서, 2개의 전자석인 상부 코일(81)과 하부 코일(82) 및 요크(83)를 나타내고 있다. 그러나, 본 발명에서 필수인 것은, 상기 필요 충분 조건을 만족하는 자장을 실현하는 것뿐이고, 요크(83)도, 2개의 전자석도 필수적인 구성은 아니다. 예를 들면, 상부 코일(81)[또는 하부 코일(82)]뿐이어도, 상기 필요 충분 조건을 만족하면 된다. 자장의 발생수단으로서, 전자석이어도 고정 자석이어도 되고, 또한, 전자석과 고정 자석의 조합이어도 된다.

[0143] 도 1에서는, 패러데이 시일드(9)를 나타내고 있다. 이 패러데이 시일드는 원래 고주파를 방사하는 안테나와 플라즈마의 사이의 용량 결합을 억제하는 기능이 있기 때문에, 용량 결합형의 ECR 플라즈마원에서는 사용할 수 없다(예를 들면 특허문헌 5). 본 발명에서는, 통상의 ICP원과 마찬가지로, 패러데이 시일드를 사용할 수 있다. 그러나, 본 발명에서 "패러데이 시일드"는 필수적인 구성은 아니다. 상기 필요 충분 조건과는 관계없기 때문이다. 단, 통상의 ICP원과 마찬가지로, 산업에서의 이용상, 패러데이 시일드는 유용성이 있다. 패러데이 시일드는, 안테나로부터 방사되는 유도자장(H)[즉, 유도전장(E)]에는 거의 영향을 주지 않고, 안테나와 플라즈마의 용량 결합을 차단하는 기능이 있기 때문이다. 이 차단을 더욱 완전하게 하기 위해서는, 패러데이 시일드는 접지되어야 한다. 통상, ICP원에서는, 상기 용량 결합을 차단하면 플라즈마의 착화성이 더욱 나빠진다. 그러나, 본 발명에서는, 유도 결합으로 생긴 유도전장(E)에 의한 고효율인 ECR 가열을 이용하기 때문에, 상기 용량 결합을 완전히 차단해도 양호한 착화성이 얻어진다. 그러나, 여러가지 이유에 의하여, 이 패러데이 시일드에 전기회로를 접속하여, 패러데이 시일드에 발생하는 고주파 전압을 0V 또는 0V 이상으로 제어하는 것도 가능하다.

[0144] 도 1에는, 지금까지 설명한 구성요소 이외에도, 가스 도입구(3), 게이트 밸브(21), 웨이퍼 바이어스[바이어스 전원(41) 및 정합기(42)]를 나타내고 있으나, 이것들도, 상기 필요 충분 조건과는 관계없기 때문에, 본 발명에서는 필수적인 구성은 아니다. 가스 도입구는, 플라즈마를 생성하기 위해서는 필요하나, 그 위치는 진공용기(11)의 벽면에 있어도 되고, 웨이퍼(W)를 탑재하는 전극(14)에 있어도 된다. 또, 가스의 분출방법도, 면형상으로 분출하여도 되고, 점형상으로 분출하여도 된다. 게이트 밸브(21)는, 산업상의 이용에 있어서, 웨이퍼를 반송

하는 것을 목적으로 그 구성을 나타내고 있을 뿐이다. 또한, 산업상의 플라즈마 처리장치의 이용에서, 웨이퍼 바이어스[바이어스 전원(41) 및 정합기(42)]는 반드시 필요로 하고 있지는 않고, 본 발명의 산업상의 이용에 있어서, 필수적인 것은 아니다.

[0145] 본 발명에서는, 고주파 유도 안테나에 의하여 형성된 유도전장(E)은, 자장의 자력선의 방향에 대하여 우회전한다. 회전면의 형상은 고주파 유도 안테나의 구조에 의하여 결정되어, 원형이나 타원형 등이 된다. 따라서, 회전면의 중심축은 반드시 존재한다. 산업상의 응용에 있어서, 이와 같은 중심축이 존재하는 것은 그 외에도, 자장(B), 피처리체(원형의 웨이퍼나 직사각형의 유리기관 등), 진공용기, 가스 분출구, 피처리체를 탑재하는 전극이나 진공 배기구 등이 있다. 본 발명에서, 이들의 중심축이 일치할 필요는 전혀 없고, 필수 구성요건은 아니다. 상기 필요 충분 조건과는 관계없기 때문이다. 그러나, 피처리체 표면의 처리의 균일성[에칭 레이트나 디포지트 레이트(Deposit Rate), 또는 형상 등]이 문제가 되는 경우, 이들의 중심축은 일치하는 것이 바람직하다.

[0146] 이상과 같이, 본 발명에 의하면, 항상 처리실 내에 전류를 구동하는 고주파 유도자장이 형성되어 있기 때문에, 플라즈마의 착화 성능을 올려, 고밀도의 플라즈마를 얻을 수 있다. 또, 본 발명에 의하면, 고주파 유도 안테나의 길이를 제어할 수 있어, 어떠한 대구경화의 요구에도 대응할 수 있고, 또, 둘레방향의 플라즈마 균일성을 올릴 수 있다.

[0147] 실시예 1 내지 실시예 7의 고주파 유도 안테나의 구조는, 상기 제 2 내지 제 4 진공용기 덮개(12)의 형상 중 어느 것에도 적용할 수 있다.

[0148] 이하, 본 발명의 다른 발명의 형태를 설명한다. 이하의 발명의 형태는, 복수개의 고주파 유도 안테나 요소로 이루어지는 고주파 유도 안테나의 세트를 복수 세트 설치하는 형태이다. 여기서, 회전하는 유도전장(E)을 형성하는 복수의 고주파 유도 안테나 소자로 이루어지는 안테나의 세트 수를 m으로 놓는다. 본 발명의 경우, m은 자연수이면 구축 가능하다. 즉, 2개의 원주를 생각할 뿐만 아니라, 3개 이상의 원주 상에, 각각 분할된 안테나를 배치하는 것도 가능하다. 도 1, 도 2, 도 6 내지 도 12, 도 14 내지 도 16은, 모두 m = 1인 경우이다. m을 몇으로 할 것인지는, 목적에 따라 선택해야 한다. 산업상의 응용에 있어서, 어느 정도의 면적을 가지는 플라즈마가 필요하게 되는지, 어느 정도의 면적을 가지는 피처리체를 처리하는지, 또는, 플라즈마의 균일성은 어느 정도 필요한지에 의하여 m의 수를 결정해야 한다. m이 1인 경우와 2 이상인 경우에는 결정적인 차이가 있다. 뒤에서 설명하는 바와 같이, m이 2인 경우는 m이 1인 경우에 비하여, 안테나의 각 세트에 흘리는 전류의 크기를 제어하여, 플라즈마의 생성 분포를 제어할 수 있다는 튜닝 노브가 1개 증가하기 때문이다. m이 3 이상인 경우는 번잡해 질 뿐이기 때문에, 여기서는 m = 2인 경우에 대하여 설명한다.

[0149] [실시예 8]

[0150] 도 19를 이용하여, 제 8 실시예를 설명한다. 도 19는, 도 2(a), 도 2(b) 또는 도 8의 구성(m = 1)을 m = 2(복수 세트)로 확장한 경우를 나타내고 있다. 고주파 전원, 정합기, 전류의 지연회로나 급전선 등을 기재하면 도면이 번잡해지기 때문에, 여기서는 각 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전단(A)(화살표)과 접지단(B)만을 사용한다. 도 19는, 도 2(a), 도 2(b) 또는 도 8의 각 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)의 안쪽에 폐어가 되는 안테나 요소(7'-1, 7'-2, 7'-3, 7'-4)를 설치하고 있다. 이후, 고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)를 외측 안테나(7), 고주파 유도 안테나 요소(7'-1, 7'-2, 7'-3, 7'-4)를 내측 안테나(7')라 부른다. 균일성이 높은 플라즈마를 발생시키기 위해서는, 이들 외측 안테나(7)와 내측 안테나(7')는, 동심원이 되도록 구성한다. 또, 이 구성에서는, 예를 들면, 고주파 유도 안테나 요소(7-1)와 이것에 대응하는 안테나 요소(7'-1)의 급전단(A)과 접지단(B)의 둘레방향에서의 위상각은 일치하고 있다. 이 경우, 도 19 오른쪽에 나타낸 바와 같이, I₁, I₁'로 하여 동일한 상의 전류를 흘리고, I₂, I₂', I₃, I₃', I₄, I₄'를 각각 λ/4씩 위상을 어긋나게 하여 공급한다. 이 경우, 전류(I₁, I₁')가 만드는 유도전장(유도자장)의 합은 가장 높아지고, 안테나에서 플라즈마로의 전력의 수송 효율은 최대가 된다. 플라즈마의 생성은, 내측 안테나(7')의 내부(원형상에 된다)는 주로 내측 안테나(7')가, 외측 안테나(7)의 주변(원고리 형상이 된다)은 주로 외측 안테나(7)가 담당하게 된다. 따라서, 플라즈마의 분포 제어는, 전류의 절대값(|I₁|)(= |I₂| = |I₃| = |I₄|)과 |I₁'| (= |I₂'| = |I₃'| = |I₄'|)의 비율을 바꿈으로써 실현할 수 있다. 이것은, m = 1인 경우에는 얻을 수 없었던 튜닝 노브이다. 전류비(|I₁'|/|I₁|)는, 0(|I₁'| = 0, |I₁|은 유한의 값을 취한다)에서 무한대(|I₁'|는 유한의 값을 취하고, |I₁| = 0)까지 자유롭게 설정할 수 있다.

[0151] 본 발명에서는, 하나의 고주파 유도 안테나 세트는, 예를 들면 도 2(a), 도 2(b)에서 설명한 바와 같이 고주파 유도 안테나 세트 중에서 전류의 위상이 제어되어 있어야 한다. 이것은, 도 19의 외측 안테나(7)[고주파 유도 안테나 요소(7-1, 7-2, 7-3, 7-4)]에서도, 내측 안테나(7')[고주파 유도 안테나 요소(7'-1, 7'-2, 7'-3, 7'-4)]에서도 성립할 필요가 있다. 또, 도 19에서 설명한 예에서는, 외측 안테나(7)와 내측 안테나(7')의 전류의 위상차는 0° 로 제어되어 있다. 그러나, 도 19의 구성에서, 내측 안테나와 외측 안테나의 위상차는, 반드시 0° 로 제어되어 있을 필요는 없다. 전장(자장)은, 가산과 감산이 가능한 물리량이고, 외측 안테나가 만들어내는 유도전계와 내측 안테나가 만들어내는 유도전계는, 반드시, 어느 장소에서는 서로 강해지고, 또 다른 장소에서는 서로 약해진다. 도 19에서 위상차가 0° 인 것은, 서로 약해지는 전장이 최소가 되고, 서로 강해지는 전장이 최대가 될 뿐이다. 따라서, 안테나에서 플라즈마로의 전력의 수송 효율은 최대가 된다. 0° 이외에서는, 0° 인 경우와 비교하여, 서로 약해지는 전장이 증가하고, 서로 강해지는 전장이 감소할 뿐이다. 플라즈마의 분포 제어라는 관점에서는, 서로 약해지는 전장을 최소로 하고, 서로 강해지는 전장을 최대로 할 필요성은 없다. 설명을 알기 쉽게 하기 위하여, 도 19에서는 내측 안테나와 외측 안테나의 전류의 위상차는 0° 로 하였으나, 0° 이외로도 설정할 수 있다.

[0152] [실시예 9]

[0153] 도 20을 이용하여 제 9 실시예를 설명한다. 도 20은, 외측 안테나와 내측 안테나의 전류의 위상차를 45° 로 설정한 일 실시예이다. 이 경우, 고주파 유도 안테나 요소의 개수(안테나의 분할 수)는 $n = 4$ 이기 때문에, 45° 와는 $2\pi/n$ (radian)이다. 도 20에서는, 내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)가 만들어내는 전계가 가장 강해지도록, 내측 안테나와 외측 안테나를 둘레방향으로 45° 어긋나게 하여 설치하고 있다. 이것은, 예를 들면, 외측 안테나의 고주파 유도 안테나 요소(7-1)의 급전단(A)과, 내측 안테나의 고주파 유도 안테나 요소(7'-1)의 급전단(A)이 둘레방향으로 45° 회전하고 있는 것을 의미한다. 이와 같은 구성의 경우, 각 고주파 유도 안테나 요소로 흘러야하는 전류의 위상차는, 도 20의 오른쪽에 기재한 바와 같이, 45° (λ/n)가 된다.

[0154] 도 20의 구성은, 도 19의 구성과 비교하면 이점이 있다. 이 때문에, 먼저 도 19의 구성이 불리한 점을 설명한다. 도 2에서도 동일하나, 도 19의 외측 안테나(7)가 만들어내는 유도전계가 매끄럽게 회전하는 조건은, 하나의 고주파 유도 안테나 요소, 예를 들면 7-1의 길이(l)가, $l \leq \lambda/n$ 을 만족하는 것이다(외측 안테나가 $l \leq \lambda/n$ 을 만족하는 경우, 내측 안테나는 반드시 $l \leq \lambda/n$ 을 만족하기 때문에, 여기서는 외측 안테나만으로 설명한다). 여기서, $l < \lambda/n$ 인 경우, 안테나 요소(7-1)의 급전단(A)을 흐르는 고주파 전류(I_{1A})와 접지단(B)을 흐르는 고주파 전류(I_{1B})는 같다고 생각할 수 있어, $I_{1A} = I_{1B}$ 이다. 그러나, l 가 λ/n 의 길이에 가까워지면, 정재파[파장(λ)]에 의하여 고주파 유도 안테나 요소 중에 전류 분포가 발생한다. 이 모습을 도 27(a)에 나타낸다. 급전단(A)에서 본 I_1 방향의 임피던스는, 안테나 요소(7-1)가 가지는 어느 유한의 임피던스를 취하는 것에 대하여, 접지단(B)에서 본 I_1 방향의 임피던스는 대략 0Ω가 된다. 이 때문에, 정재파의 영향이 현저하게 나온 경우는, 도 27(a)에 나타내는 바와 같이 통상 $I_{1A} < I_{1B}$ 가 된다. 당연히, 급전단(A)의 바로 아래의 전장 강도, 즉 플라즈마의 밀도는, 접지단(B)의 바로 아래의 플라즈마 밀도보다 낮아진다. 즉, 외측 안테나의 둘레방향으로 플라즈마 분포가 생긴다. 이 플라즈마 분포가 가장 크게 변화하는 부분은, 안테나 요소와 안테나 요소의 이음매, 예를 들면, 도 19의 안테나 요소(7-1)의 접지단(B)과 안테나 요소(7-2)의 급전단(A)의 사이이다.

[0155] 이 둘레방향의 플라즈마 분포를 더욱 균일하게 하는 방법은 2가지 있다. 하나는, 도 20에 나타낸 바와 같이, 접지단(B)을 직접 접지하는 것은 아니고, 콘덴서(C)를 거쳐 접지하는 것이다. 콘덴서(C)의 값을 적절하게 설계함으로써, $I_{1A} = I_{1B}$ 를 실현할 수 있다. 이 모습을 도 27(b)에 나타낸다. 안테나 요소(7-1)가 가지는 인덕턴스를 L로 놓으면, $I_{1A} = I_{1B}$ 가 되는 것은, 콘덴서(C)[용량(C)]와 L 사이에 $1/\omega C = \omega L/2$ 의 관계가 성립할 때이다. 도 27(b)에 나타내는 바와 같이, 이때, 전류(I_1)의 분포는 안테나 요소(7-1)의 중심에서 최대값을 취하고, 또, 전압(V_1)의 분포는 안테나 요소(7-1)의 중심에서 0V가 된다. 이것은, 비특허문헌 4 및 비특허문헌 3에 자세하게 기재되어 있다.

[0156] 또 하나의 방법은, 외측 안테나 급전단(A)과 접지단(B)의 둘레방향의 위치에 대하여, 내측 안테나의 급전단(A)과 접지단(B)의 둘레방향의 위치를 어긋나게 하는, 즉 위상각을 두는 것이다. 도 20에서는 이 위상각은 45° 이다. 이와 같은 구성으로 함으로써, 플라즈마의 농담(濃淡)을 챔버 내에 분산하여, 플라즈마의 확산에 의한 균일성 향상을 도모할 수 있다. 도 20의 구성은, 이 2개의 요건을 동시에 만족할 일 실시예이다.

- [0157] [실시에 10]
- [0158] 도 21을 이용하여 제 10 실시예를 설명한다. 도 20에서 설명한 바와 같이, 정재파의 영향으로 안테나의 둘레방향으로 플라즈마 분포가 생기는 경우, 이 플라즈마 분포를 더욱 균일하게 하는 다른 안테나 구성이 있다. 이것은, 안테나 요소를 겹치는 것으로서, 도 21에 이 일 실시예를 나타낸다. 도 21에서는, 고주파 유도 안테나 요소(7-1)는, 그 반이 고주파 유도 안테나 요소(7-4)와 겹쳐져 있고, 또 남은 반이 고주파 유도 안테나 요소(7-2)와 겹쳐져 있다. 고주파 유도 안테나 요소가 겹친 부분에서는, 2개의 고주파 유도 안테나 요소에 흐르는 전류에 의하여 생기는 유도전장이 가산된다. 즉, 고주파 유도 안테나 요소(7-1)의 반은 전류(I_1 , I_4)에 의한 유도전장이 형성되고, 남은 반은 전류(I_1 , I_2)에 의한 유도전장이 형성된다. 따라서, 이 구성에 의하여 둘레방향의 유도전장을 더욱 매끄럽게 한 상태에서, 회전 전장을 형성할 수 있다. 이 구성을 모든 안테나 요소에 대하여 행한 것이, 도 21이다.
- [0159] 이상, 도 20과 도 21을 이용하여, 외측 안테나(7)와 내측 안테나(7')를 사용하여 더욱 매끄러운 회전 전장을 형성하는 방법을 설명하였다. 여기서 설명한, (1) 외측 안테나와 내측 안테나의 둘레방향의 설치 위상각을 설정하는 방법과, (2) 접지단(B)을 콘덴서를 거쳐 접지하는 방법과, (3) 안테나 요소를 겹치는 방법은, 각각 다른 도면에서 설명하였으나, 이들 방법을 동시에 실시하는 것이 가능하다.
- [0160] [실시에 11]
- [0161] 도 22를 이용하여 제 11 실시예를 설명한다. 고주파 유도 안테나 요소의 길이(l)가, $l \ll \lambda/n$, 즉, $I_1A = I_2B$ 인 경우, 가장 간단한 $m = 2$ 가 되는 구성의 일 실시예를 도 22에 나타낸다. 이 구성은, 도 12에서 설명한 구성을 각각 내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)에 사용한 것이다. 이 경우, 고주파 유도 안테나 요소에 흐르는 전류(I_1 , I_1' , I_2 , I_2')는, 모두 동일한 상의 전류로 할 수 있다. 따라서, 내측 안테나의 급전점(A)와 외측 안테나의 급전점(A)에, 1대의 전원으로부터 전류를 공급할 수 있다. 이 경우, 내측 안테나와 외측 안테나에 공급하는 전류량을 조정하는 전류 조정기(55)를 도면에 나타낸 위치에 삽입하는 것이 바람직하다. 물론, 내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)에 각각의 전원으로부터 전류를 공급해도 상관없다.
- [0162] 평판 형상 진공용기 덮개(12)의 경우와 동일하도록, 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)가, 사다리꼴의 회전체 형상이나 중공의 반구체 즉 돔 형상이나 바닥이 있는 원통형인 경우에서도, 고주파 유도 안테나를 그 내주, 외주에 배치하는 것도, 상하나 비스듬하게 배치하는 것도 가능하다. 도 13(a) 내지 도 13(e)에서 설명한 바와 같이, 진공용기 덮개(12)에 대한 안테나의 위치는, 플라즈마의 생성 분포와 확산 분포를 제어하는 데 있어서 매우 중요하다. 같은 의미에서, 내측 안테나와 외측 안테나를 진공용기 덮개(12)에 대하여 어떻게 배치할지는 중요하다.
- [0163] 도 23(a) 내지 도 23(g)에 진공용기 덮개(12)에 대한 내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)의 배치의 배리에이션을 나타낸다. 도 23(a)는, 평판 형상 진공용기 덮개(12) 위에 내측 안테나(7)와 외측 안테나(7')를 설치한 예이다. 도 13(a)와 비교하면, 더욱 중심으로 집중한 플라즈마 분포를 만들어낼 수 있다. 물론, 내측 안테나(7') 또는 외측 안테나(7)의 한쪽의 전류를 0A로 하면, 도 23(a)와 도 13(a)는 등가의 구성이다. 평판 형상 진공용기 덮개(12)는, 하나의 면(상면)을 가지고 있을 뿐이기 때문에, 이와 같은 구성이 된다. 도 23(b)는, 돔 형상 진공용기 덮개(12)에 대한 내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)의 배치의 배리에이션이다. 돔의 곡면상에 외측 안테나와 내측 안테나를 배치하여, 플라즈마의 분포 제어성을 높인 구성이다. 도 23(a)와 동일하게, 내측 안테나(7') 또는 외측 안테나(7)의 한쪽의 전류를 0A로 하면, 도 23(b)와 도 13(b)는 등가의 구성이다.
- [0164] 도 23(c), 도 23(d)는, 사다리꼴의 회전체 형상 진공용기 덮개(12)에 대한 내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)의 배치의 배리에이션이다. 이 사다리꼴의 회전체 형상 진공용기 덮개(12)는, 경사진 측면과 플랫폼 상면을 가지기 때문에, 도 23(c), 도 23(d)와 같은 배리에이션이 가능하게 된다. 도 23(c)는, 측면에 외측 안테나(7), 상면에 내측 안테나(7')를 배치하고 있다. 도 23(d)는, 경사진 측면에 내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)를 배치하고 있다. 도 23(c), 도 23(d) 모두, 내측 안테나(7') 또는 외측 안테나(7)의 한쪽의 전류를 0A로 하면, 도 13(d)와 등가의 구성이 된다. 또, 도 23(c)보다 도 23(d) 쪽이, 더 중심부의 플라즈마 분포를 제어할 수 있다. 도시 생략하나, 양 안테나를 모두 상면에 배치하는 것도 가능하다.
- [0165] 도 23(e), 도 23(f), 도 23(g)는, 바닥이 있는 원통형 진공용기 덮개(12)에 대한 내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)의 배치의 배리에이션이다. 이 사다리꼴의 회전체 형상 진공용기 덮개(12)는, 수직인 측면과 넓은 플랫폼 상면을 가지기 때문에, 도 23(e), 도 23(f), 도 23(g)와 같은 배리에이션이 가능하게 된다. 도 23(e)는, 측면에

내측 안테나(7')와 외측 안테나(7)를 배치하고 있다. 도 23(f)는, 측면에 외측 안테나(7), 상면에 내측 안테나(7')를 배치하고 있다. 도 23(e), 도 23(f) 모두, 내측 안테나(7') 또는 외측 안테나(7)의 한쪽의 전류를 0A로 하면, 도 13(e)와 등가의 구성이 된다.

[0166] 도 23(g)는, 상면에 외측 안테나(7)와 내측 안테나(7')를 배치하고 있다. 도 23(g)는, 내측 안테나(7') 또는 외측 안테나(7)의 한쪽의 전류를 0A로 하면, 도 13(a)와 동일한 구성이 된 것처럼 보인다. 그러나, 도 13(a)는 측벽이 도체인 진공용기(접지되어 있다)인 것에 대하여, 도 23(g)에서는 측벽이 절연체로 이루어지는 진공용기 덮개(12)(전기적으로 떠있다)이기 때문에, 발생하는 유도전장의 분포가 다르고, 동일하지 않다. 이상과 같은 진공용기 덮개(12)의 형태와 그것에 대한 고주파 유도 안테나의 세트 수와 배치는, 그것들이 발생하는 플라즈마를 어떠한 프로세스에 적용할지로 결정해야 한다.

[0167] 도 2, 도 11, 도 13, 도 18 및 도 23(a) 내지 도 23(g)에서 설명한 것을 다시 요약한다. 본 발명에서는, 안테나의 분할 수(n), 진공용기 덮개(12)의 형태, 고주파 유도 안테나의 세트 수(m), 진공용기 덮개(12)에 대한 안테나의 배치라는 다수의 플라즈마 분포 제어기능을 가진다. 그러나, 이것들은 종래의 ICP원에서도, 장치구성으로서 실현 가능한 것이다. 플라즈마 분포 제어에 관하여, 본 발명에서 가장 중요한 것은, 이들 장치 구성상 유연한 플라즈마 제어성에, 더욱, ECR 면이라는 전기적으로 외부에서 제어 가능한 튜닝 노부를 도입한 것이다. ICP원에서 회전 유도전장을 만들어내어, ECR 방전을 가능하게 한다는 것은, 플라즈마 착화성이 우수하고, 또, 더 낮은 가스 압력으로 플라즈마 생성이 가능해진다는 것뿐만 아니라, 외부 제어 가능한 ECR 면이라는 우수한 플라즈마 제어성을 부여하는 것을 의미한다. 이만큼의 유연성이 있는 플라즈마 제어성을 가지는 플라즈마원은, 종래에 예가 없는 것이다.

[0168] [실시예 12]

[0169] 도 24를 이용하여, 본 발명의 제 12 실시예를 설명한다. 이 실시예는, 도 19에 나타난 고주파 유도 안테나 소자(7-1 ~ 7-2, 7'-1 ~ 7'-2)를, 직선형상으로 하고, 각각의 세트의 외측 안테나(7), 내측 안테나(7')를 직사각형 형상으로 한 실시예이다. 도 24에, 안테나 분할 수 $n = 4$, 안테나 세트 수 $m = 2$ 의 경우의 고주파 유도 안테나의 구성을 나타낸다. 외측 안테나(7)는, 직선형상으로 배치되어 분할된 고주파 유도 안테나 소자(7-1 ~ 7-4)가 배치되고, 안테나 분할 수가 4이기 때문에, 사각형(직사각형)을 구성한다. 내측 안테나(7')도 동일하게 구성된다. 이것은, 도 19에 나타난 안테나 구성을, 직사각형으로 하였다고 생각하면 된다. 그러나, 사각형으로 한 것에 의하여, 사각형의 유도전계가 회전하게 된다. 이것은, 도 3(a), 도 3(b)에서 원형으로 한 전계의 형태가 사각형이 된다고 이해하면 된다. 단, 완벽하게 사각형의 전계 분포라는 것은 존재하지 않는다. 왜냐하면, 전계는 항상 미분 가능한 곡면으로 형성되기 때문이다. 그러나, 도 24의 구성은, 내측 안테나가 만들어내는 유도전계 분포가 가지는 사각형으로부터의 붕괴를, 외측 전극이 보정한다는 효과를 가진다. 도 24에서는, 내측 안테나와 외측 안테나의 전류의 위상차는 0° 로 하였으나, 도 19와 마찬가지로, 0° 이외로도 설정할 수 있다.

[0170] [실시예 13]

[0171] 도 25를 이용하여, 본 발명의 제 13 실시예를 설명한다. 이 실시예는, 도 24보다도, 유도전장을 더욱 사각형인 채로 회전시키도록 구성한 고주파 유도 안테나의 구성에 관한 실시예이다. 이 구성은, 도 20에서 설명한 사고방식을, n각형으로 확장한 것으로서, 각 안테나 요소에 흐리는 전류의 위상도, 도 20과 동일하게 된다. 즉, 고주파 유도 안테나 소자(7-1 ~ 7-4)로 이루어지는 외측(제 1) 안테나(7)와, 고주파 유도 안테나 소자(7'-1 ~ 7'-4)로 이루어지는 내측(제 2) 안테나(7')를 45° 어긋나게 하여 배치함으로써, 우회전 유도전장을 형성하는 것이다. 제 1 안테나(7)는, 직선형상의 고주파 유도 안테나 소자(7-1 ~ 7-4)를 직사각형으로 배치하고 있다. 각각의 고주파 유도 안테나 소자(7-1 ~ 7-4)에는, 급전단(A)으로부터 $\lambda/4$ 위상이 어긋난 전류가 공급되고, 접지단(B)이 접지되어 있다. 마찬가지로, 제 2 안테나(7')는, 직선형상의 고주파 유도 안테나 소자(7'-1 ~ 7'-4)를 직사각형으로 배치하고 있다. 각각의 고주파 유도 안테나 소자(7'-1 ~ 7'-4)에는, 급전단(A)으로부터 $\lambda/4$ 위상이 어긋난 전류가 공급되고, 접지단(B)이 접지되어 있다. 대응하는 고주파 유도 안테나 소자(7-1, 7'-1)에는, 각각 동일 위상의 전류가 공급되고, 다른 고주파 유도 안테나 소자(7-2, 7'-2, 7-3, 7'-3, 7-4, 7'-4)에도 동일하게 각각 동일 위상의 전류가 공급된다. 제 1 안테나(7)와 제 2 안테나(7')는, 상하로 겹쳐지고, 또한 45° 어긋나게 하여 배치된다. 이것에 의하면, 인접하는 각 고주파 유도 안테나 소자에는, 각각 $\lambda/8$ 위상이 어긋난 전류($I_1, I_1', I_2, I_2', I_3, I_3', I_4, I_4'$)가 흘러, 도 24보다도 더 사각형에 가까운 형태로 우회전 유도전장을 형성할 수 있다.

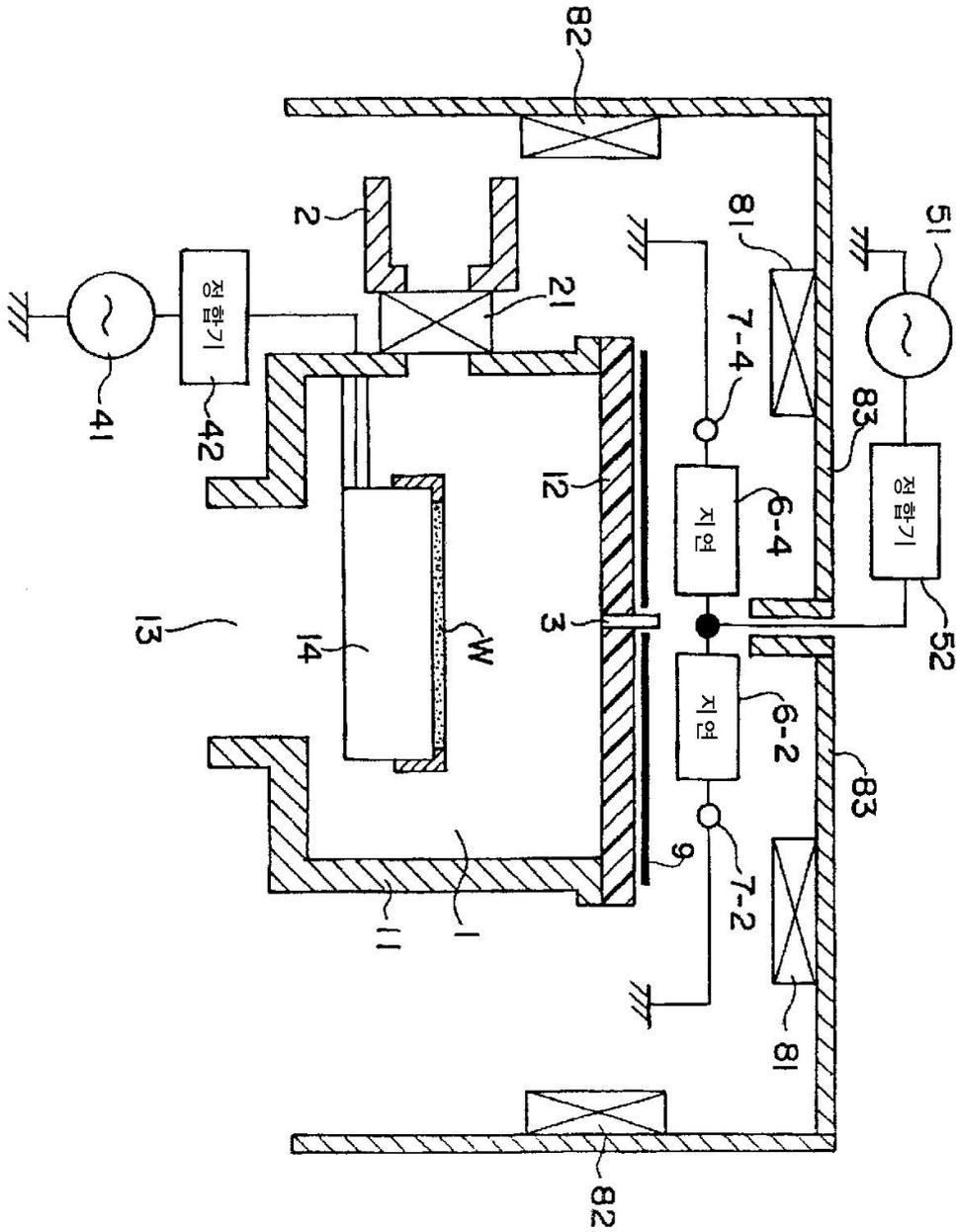
도면의 간단한 설명

- [0172] 도 1은, 본 발명이 적용되는 플라즈마 처리장치의 구성의 개요를 설명하는 종단면도,
- [0173] 도 2(a)는, 본 발명의 제 1 실시예에 관한 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0174] 도 2(b)는, 도 2(a)의 급전방법에서의 고주파 유도 안테나 요소의 위상차를 설명하는 도,
- [0175] 도 3(a)는, 본 발명에서의 전장 형태에 의하여 플라즈마의 생성 형태를 설명하는 도($t = t_1$),
- [0176] 도 3(b)는, 본 발명에서의 전장 형태에 의하여 플라즈마의 생성 형태를 설명하는 도($t = t_2$),
- [0177] 도 4는, 종래의 안테나에 의하여 생성되는 전장 강도의 분포를 설명하는 도,
- [0178] 도 5는, 본 발명의 안테나에 의하여 생성되는 전장 강도의 분포를 설명하는 도,
- [0179] 도 6은, 본 발명의 제 1 실시예에 관한 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법의 변형예를 설명하는 도,
- [0180] 도 7은, 본 발명의 제 2 실시예에 관한 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0181] 도 8은, 본 발명의 제 3 실시예에 관한 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0182] 도 9는, 본 발명의 제 4 실시예에 관한 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0183] 도 10은, 본 발명의 제 5 실시예에 관한 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0184] 도 11은, 본 발명의 제 6 실시예에 관한 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0185] 도 12는, 본 발명의 제 7 실시예에 관한 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0186] 도 13(a)는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개의 형상을 원통형으로 한 예의 이온 분포의 형태를 설명하는 도,
- [0187] 도 13(b)는, 도 13(a)의 고주파 유도 안테나 요소의 위치를 바꾸었을 때의 이온 분포의 변화의 형태를 설명하는 도,
- [0188] 도 13(c)는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개를 돔 형상으로 한 변형예의 이온 분포의 형태를 설명하는 도,
- [0189] 도 13(d)는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개를 원뿔형으로 한 변형예의 이온 분포의 형태를 설명하는 도,
- [0190] 도 13(e)는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개를 원통형으로 하고 고주파 유도 안테나 요소를 둘레 벽에 설치한 변형예의 이온 분포의 형태를 설명하는 도,
- [0191] 도 14는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개의 형상을 반구 형상으로 한 예를 설명하는 도,
- [0192] 도 15는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개의 형상을 회전하는 사다리꼴 형상으로 한 예를 설명하는 도,
- [0193] 도 16은, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개의 형상을 바닥이 있는 원통 형상으로 한 예를 설명하는 도,
- [0194] 도 17은, 본 발명에서 형성되는 등자장면(ECR 면)과 자력선의 관계를 설명하는 도,
- [0195] 도 18(a)는, 본 발명에서 진공용기 덮개를 원통형으로 하고 자장을 인가하지 않은 예의 ECR 면과 플라즈마 생성 영역의 관계를 설명하는 도,
- [0196] 도 18(b)는, 도 18(a)에서 자장을 인가한 예의 ECR 면과 플라즈마 생성영역의 관계를 설명하는 도,
- [0197] 도 18(c)는, 본 발명에서 진공용기 덮개를 돔 형상으로 한 예의 ECR 면과 플라즈마 생성영역의 관계를 설명하는 도,
- [0198] 도 18(d)는, 본 발명에서 진공용기 덮개를 원뿔형으로 한 예의 ECR 면과 플라즈마 생성영역의 관계를 설명하는 도,

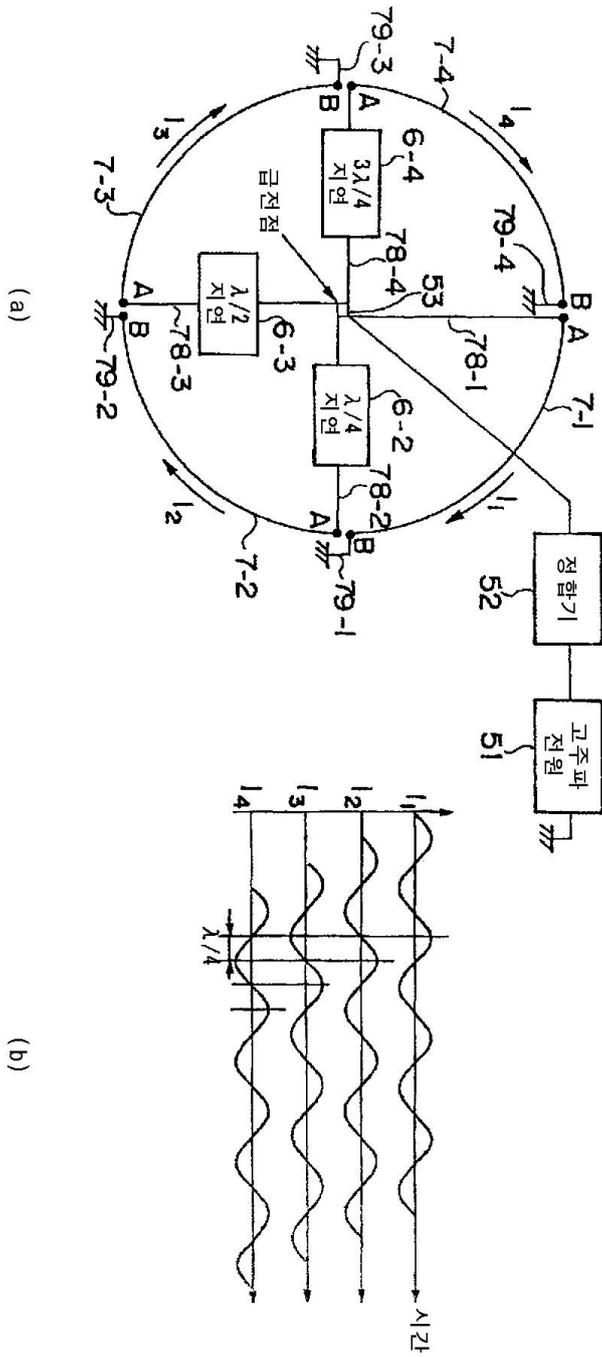
- [0199] 도 18(e)는, 본 발명에서 진공용기 덮개를 원통형으로 하고 고주파 유도 안테나 요소를 둘레벽에 설치한 예의 ECR 면과 플라즈마 생성영역의 관계를 설명하는 도,
- [0200] 도 19는, 본 발명의 제 8 실시예에 관한 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0201] 도 20은, 본 발명의 제 9 실시예에 관한 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0202] 도 21은, 본 발명의 제 10 실시예에 관한 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0203] 도 22는, 본 발명의 제 11 실시예에 관한 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0204] 도 23(a)는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개를 원통형으로 하고 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소를 배치하는 예를 설명하는 도,
- [0205] 도 23(b)는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개를 돔 형상으로 하고 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소를 배치하는 예를 설명하는 도,
- [0206] 도 23(c)는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개를 원뿔형으로 하고 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소를 배치하는 예를 설명하는 도,
- [0207] 도 23(d)는, 도 23(c)에 나타내는 예의 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소의 배치를 변경한 예를 설명하는 도,
- [0208] 도 23(e)는, 본 발명에 관한 플라즈마 처리장치에서의 진공용기의 덮개를 원통형으로 하고 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소를 주변에 배치한 예를 설명하는 도,
- [0209] 도 23(f)는, 도 23(e)에 나타내는 예의 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소의 배치를 변경한 예를 설명하는 도,
- [0210] 도 23(g)는, 도 23(e)에 나타내는 예의 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소의 배치를 변경한 예를 설명하는 도,
- [0211] 도 24는, 본 발명의 제 12 실시예에 관한 직사각형 형상으로 배치한 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0212] 도 25는, 본 발명의 제 13 실시예에 관한 직사각형 형상으로 배치한 복수 세트의 고주파 유도 안테나 요소에 대한 급전방법을 설명하는 도,
- [0213] 도 26은, 전자파의 주파수(f)와 컷 오프 밀도(nc)의 관계를 설명하는 도,
- [0214] 도 27(a)는, 하나의 안테나 요소 중에서 정재파가 무시할 수 없는 상태인 때, 이 안테나 요소에 발생하는 전압과 전류의 정재파의 분포를 설명하는 도,
- [0215] 도 27(b)는, 하나의 안테나 요소 중에서 정재파가 무시할 수 없는 상태인 때, 이 안테나 요소에 발생하는 전압과 전류의 정재파의 분포의 다른 예를 설명하는 도면이다.

도면

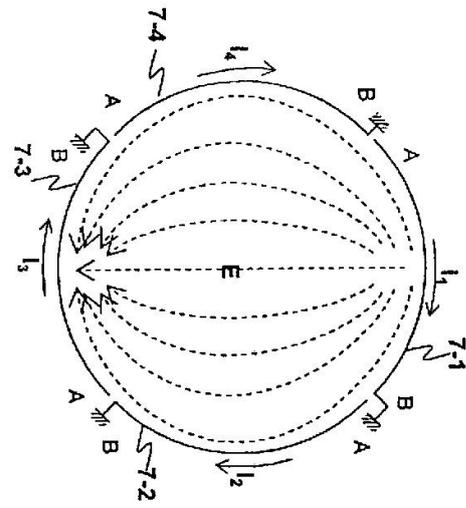
도면1



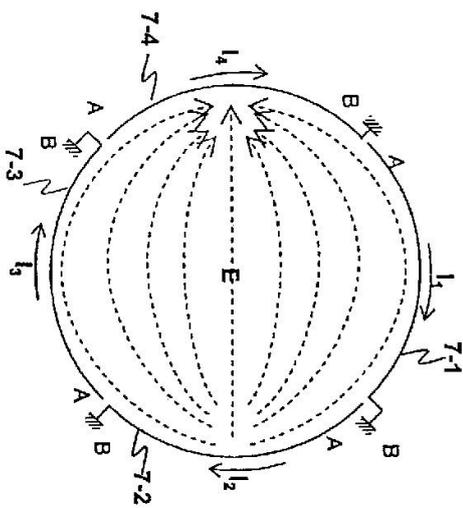
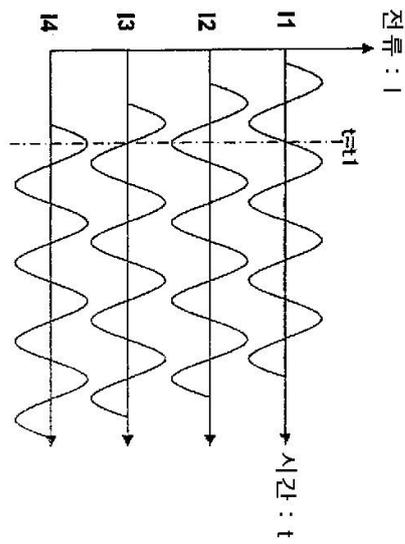
도면2



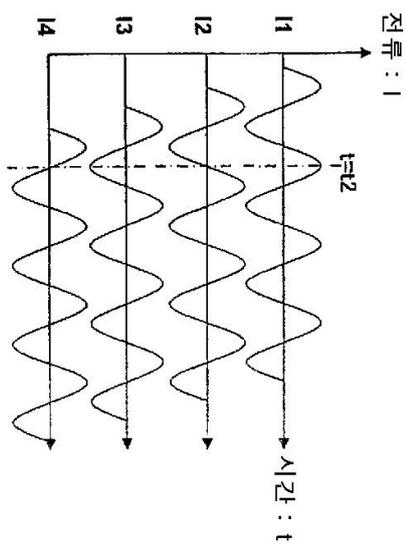
도면3



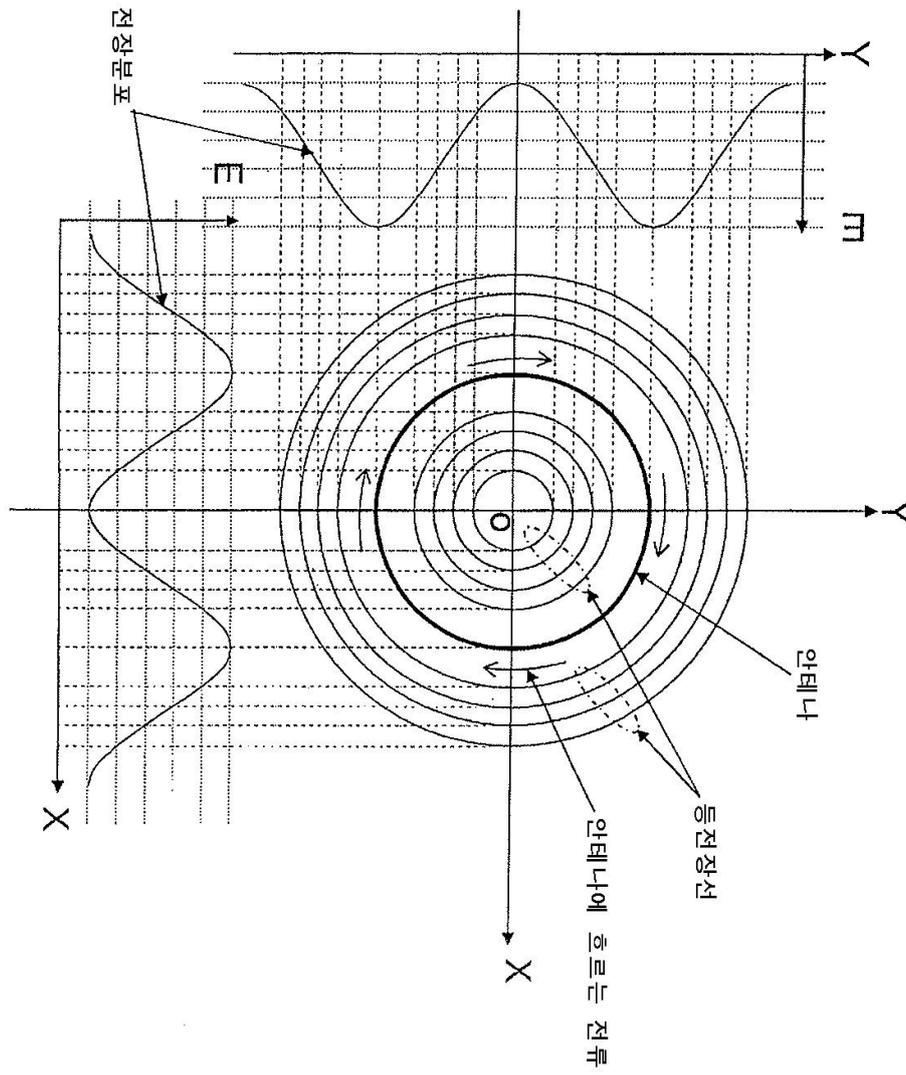
(a) $t = t_1$



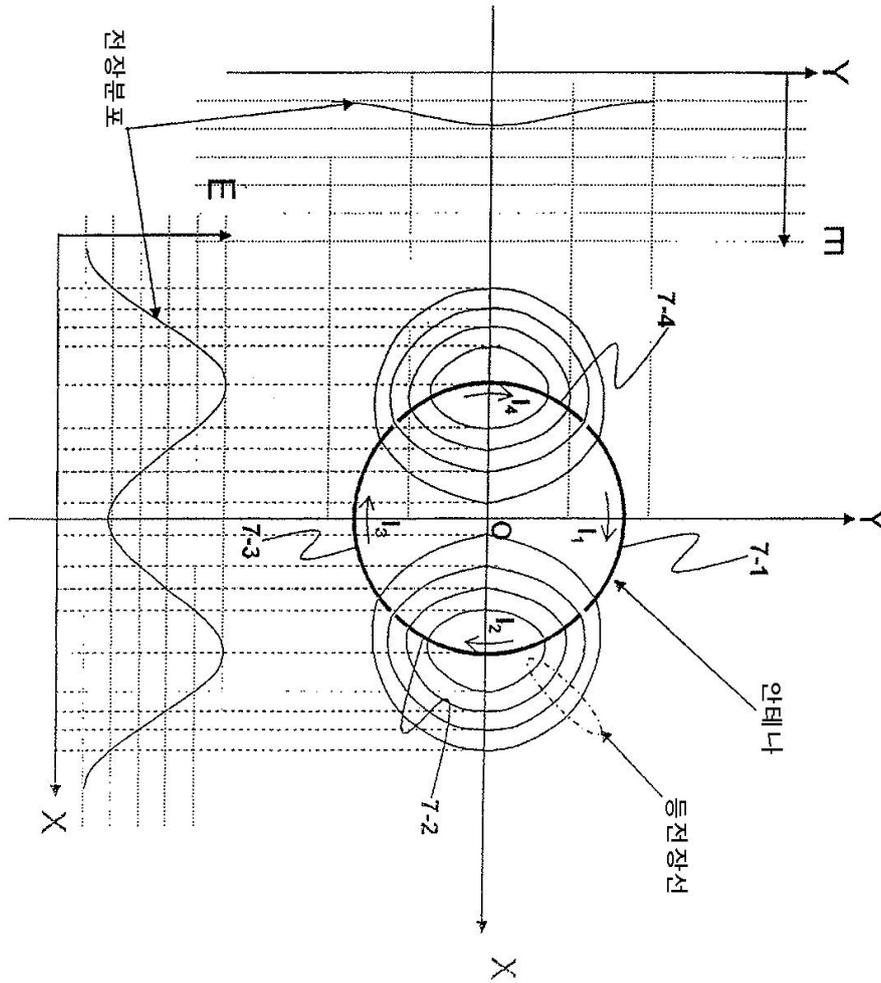
(b) $t = t_2$



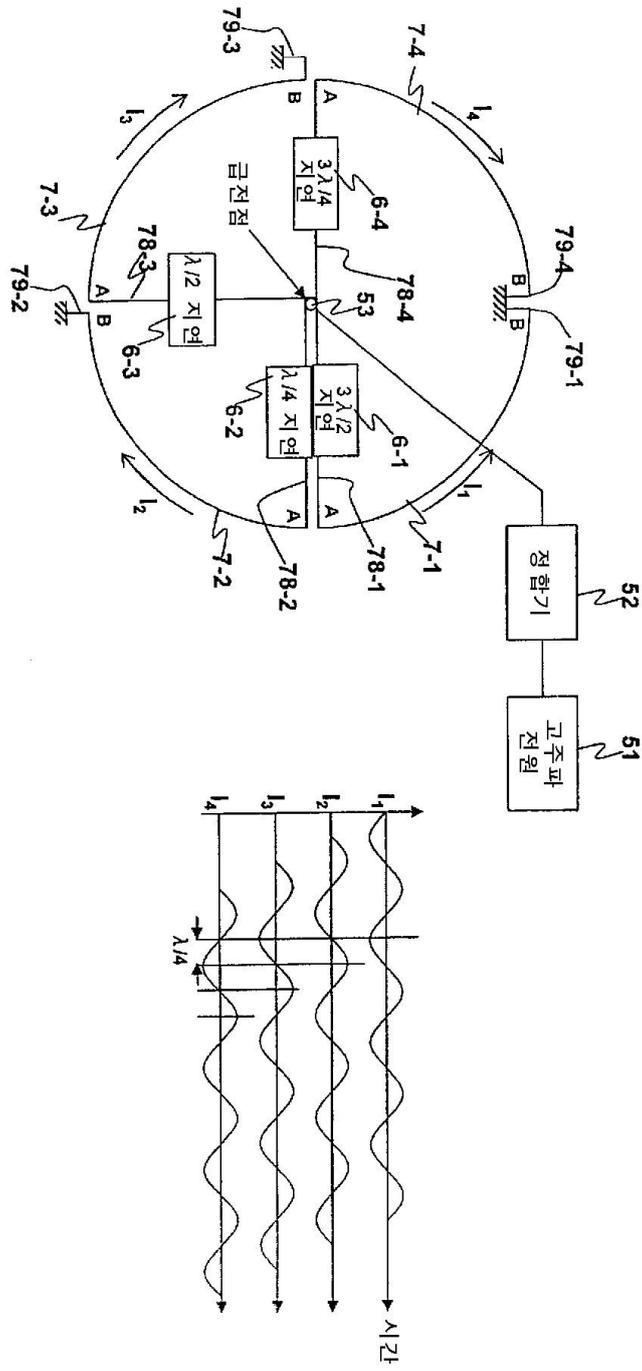
도면4



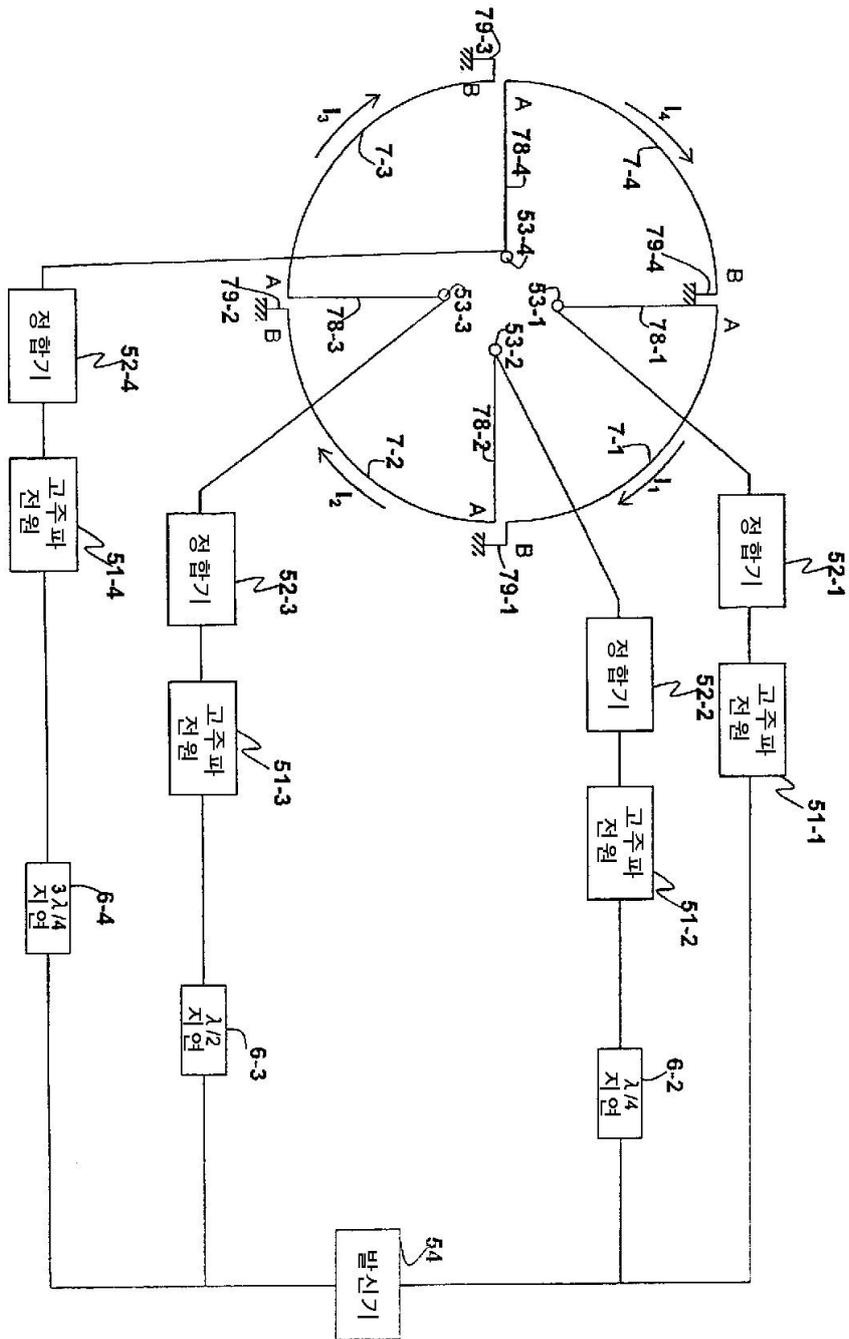
도면5



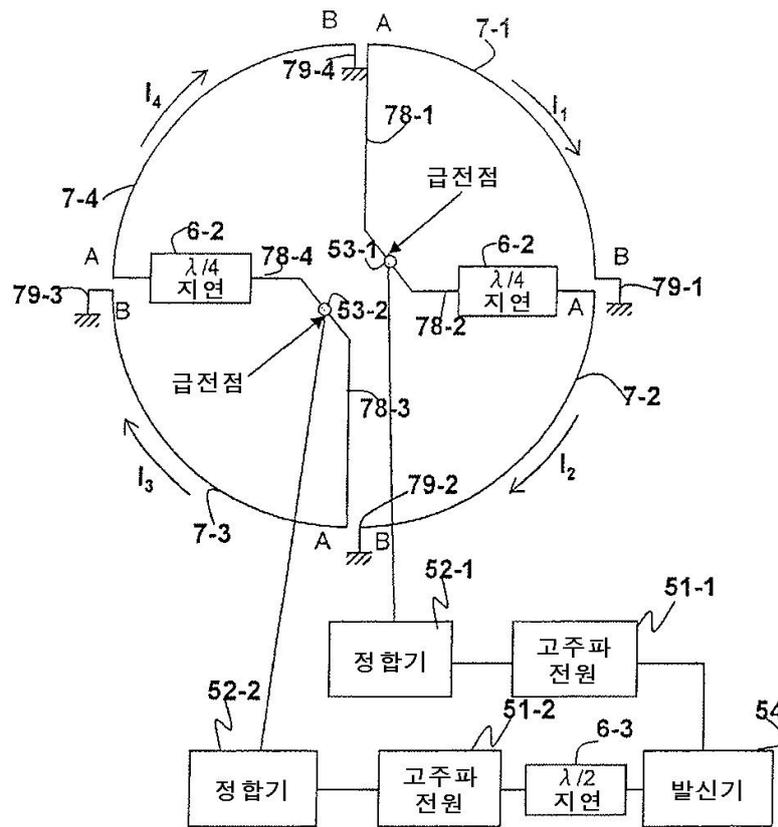
도면6



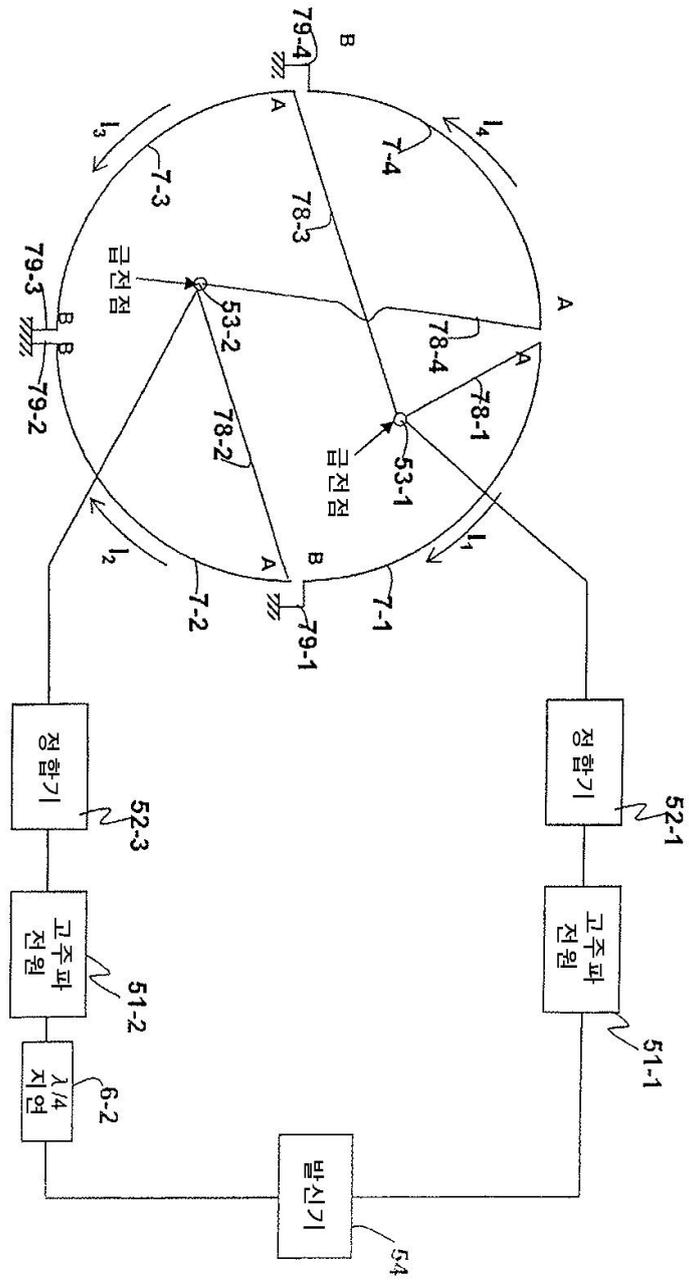
도면8



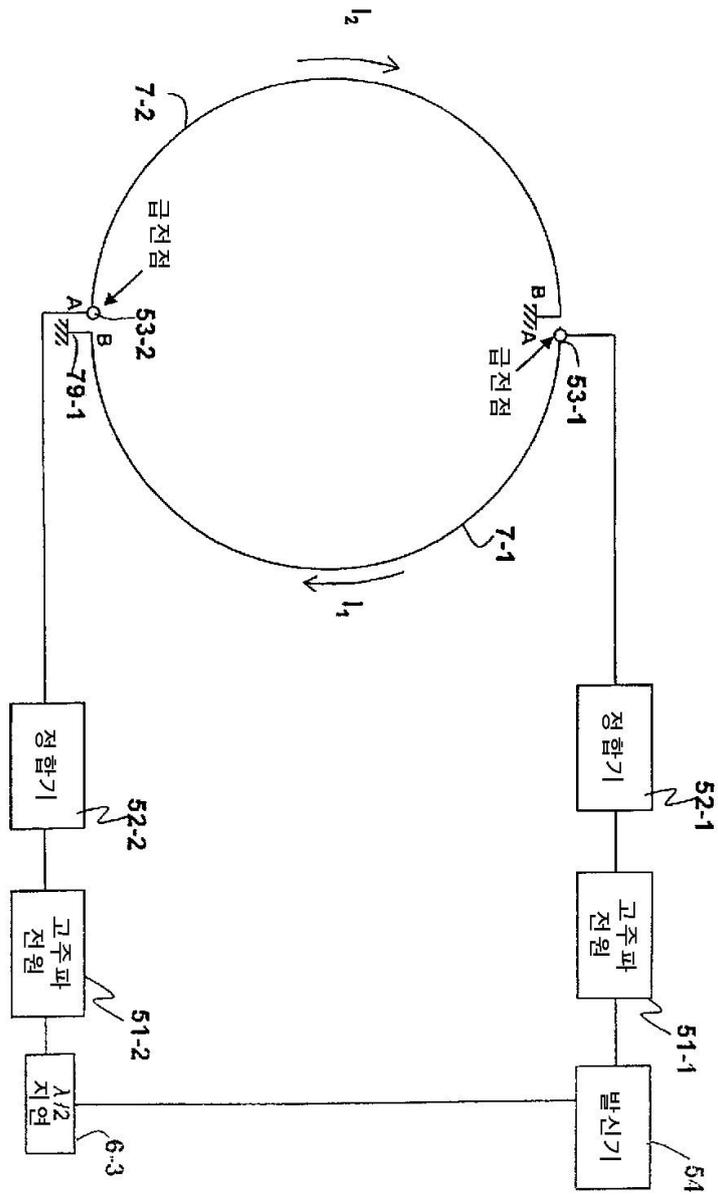
도면9



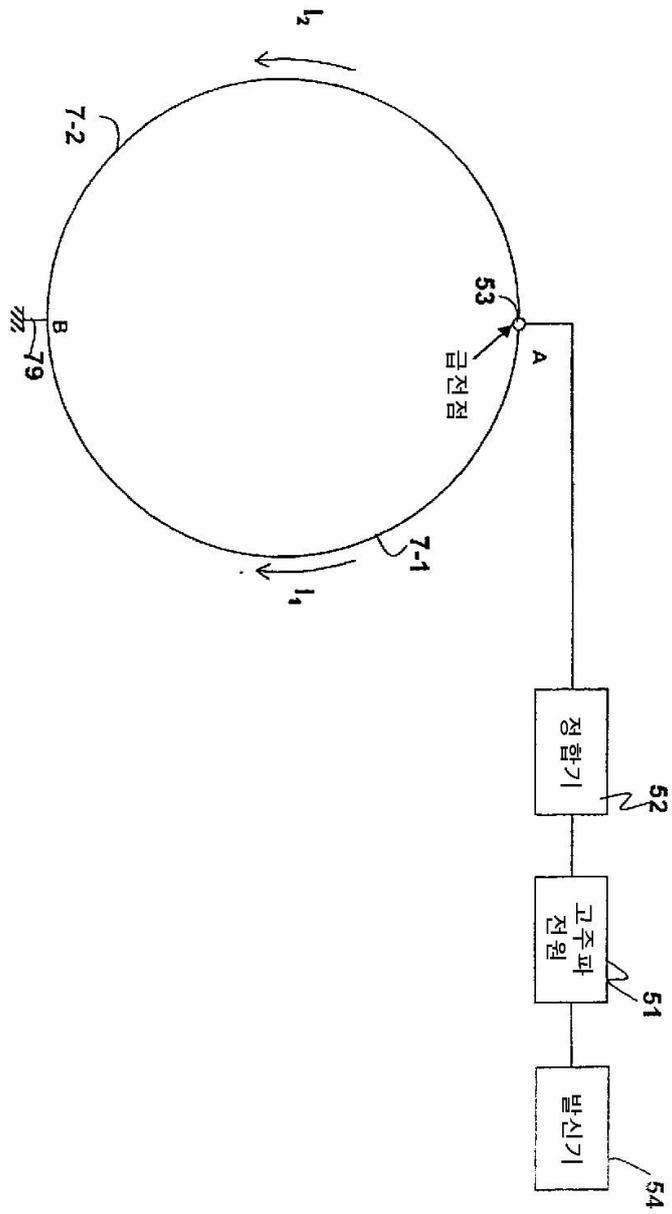
도면10



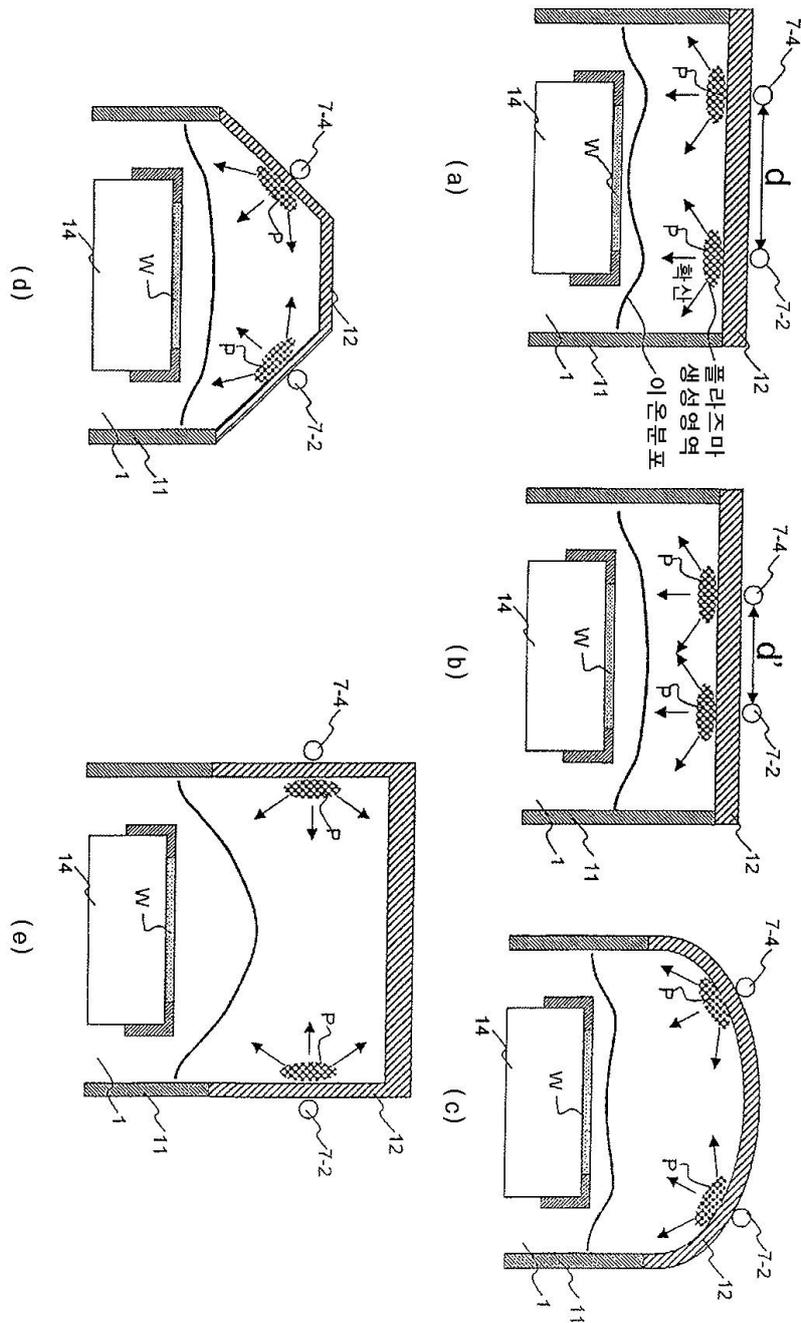
도면11



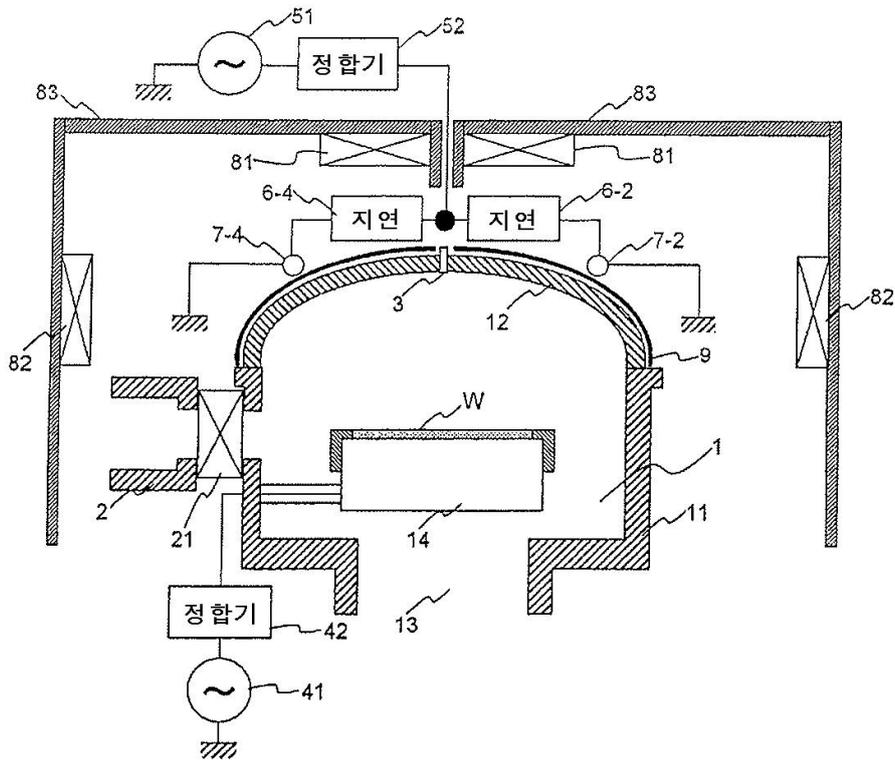
도면12



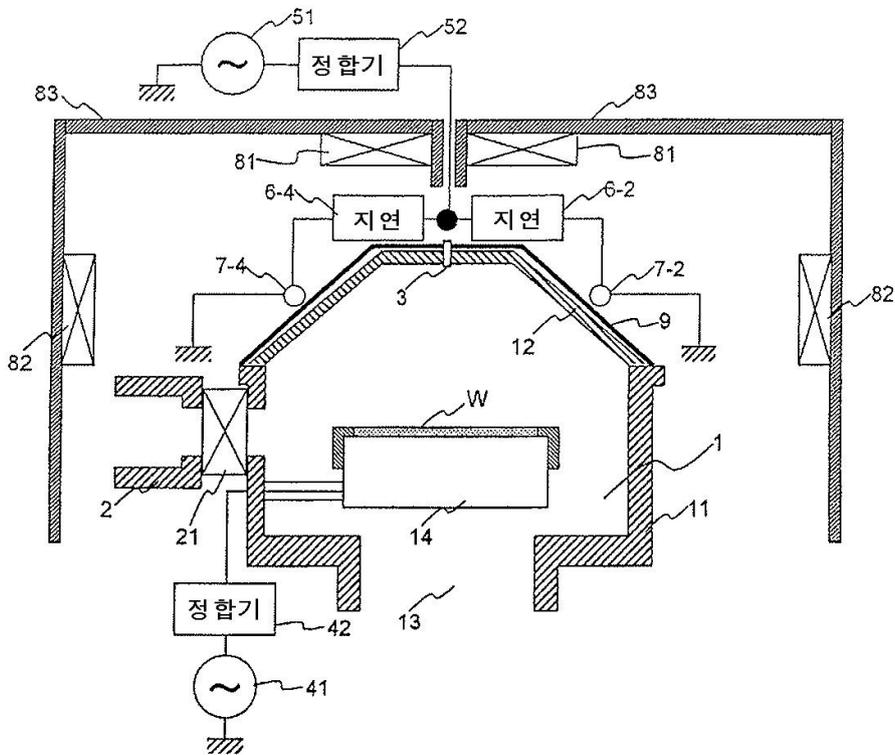
도면13



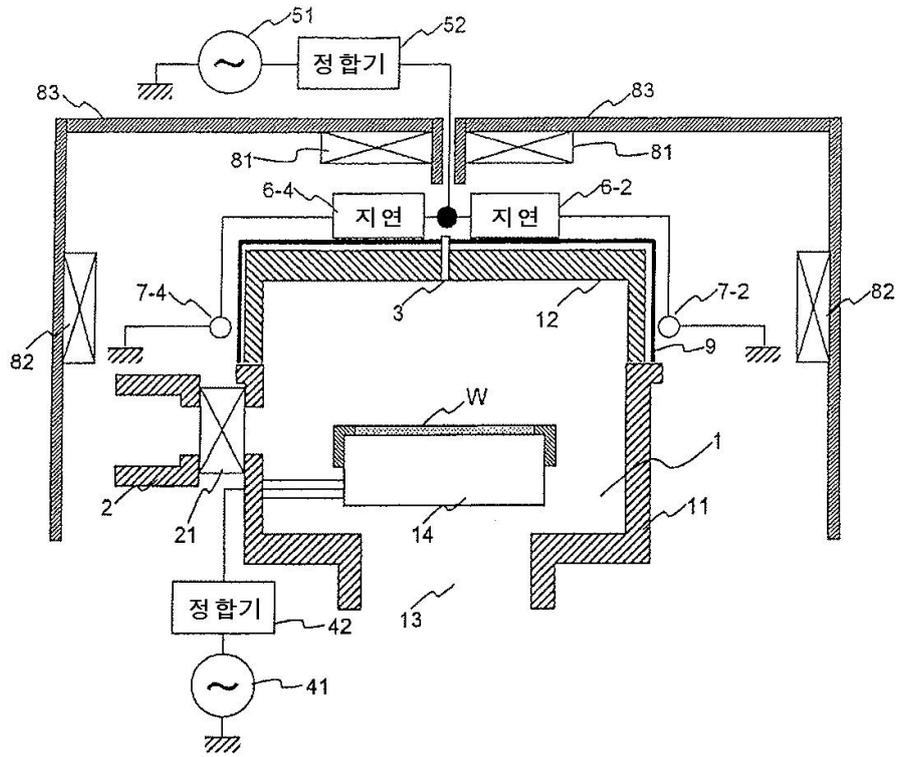
도면14



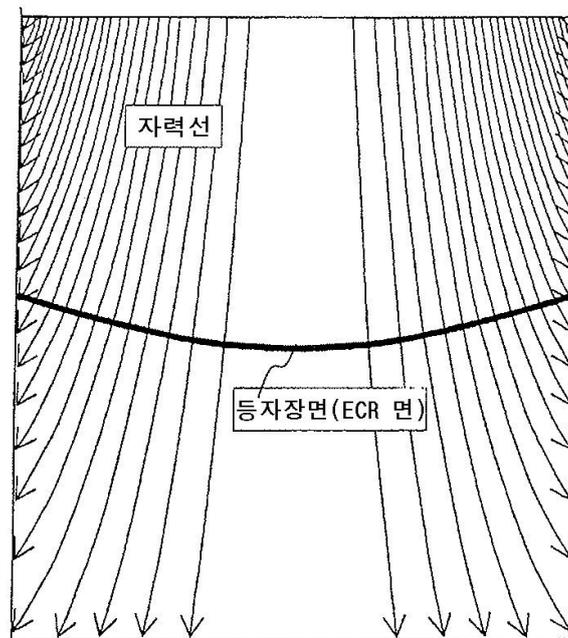
도면15



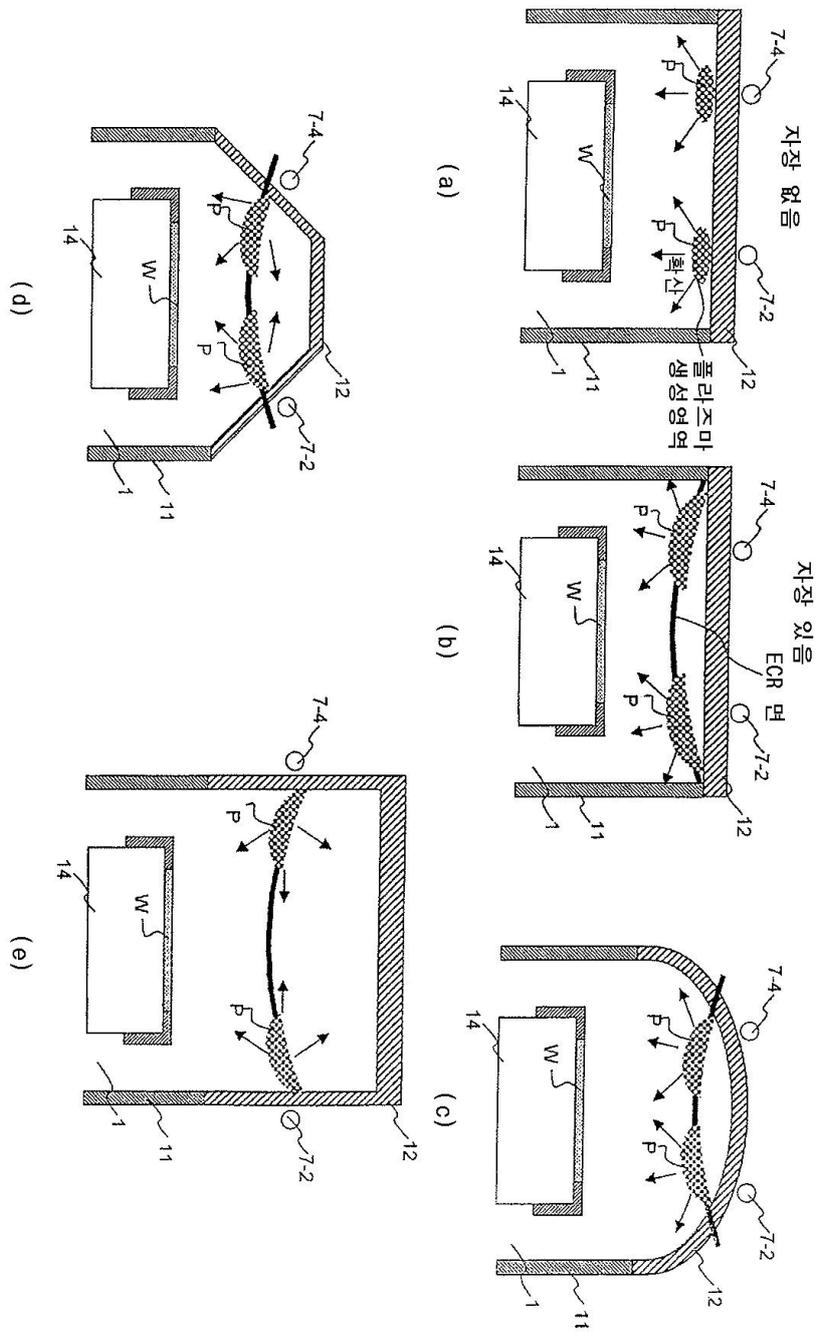
도면16



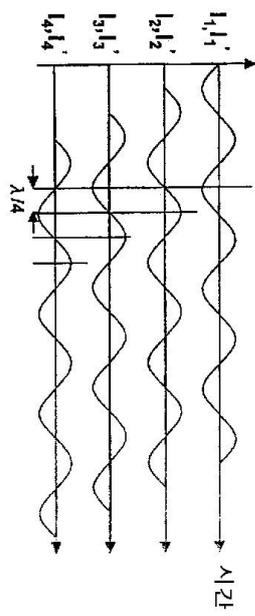
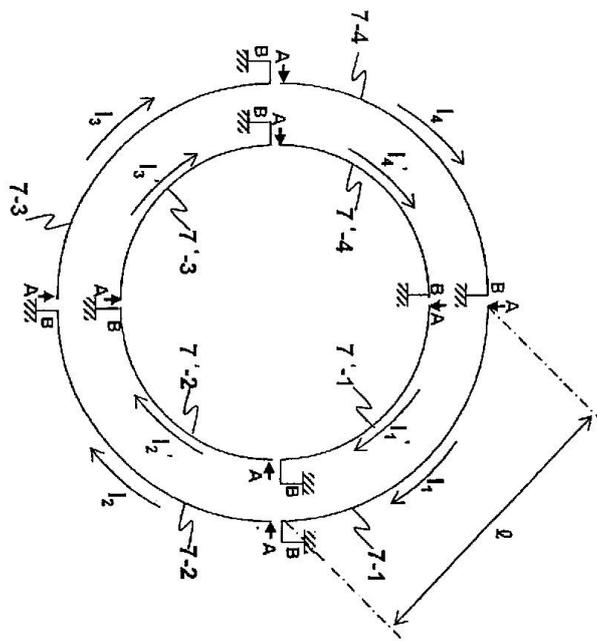
도면17



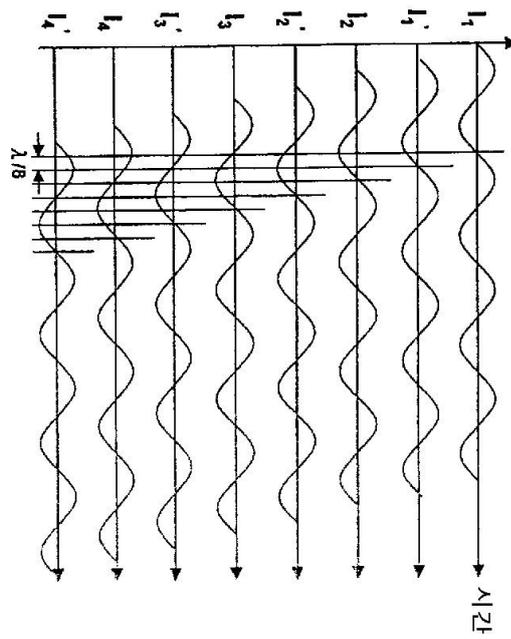
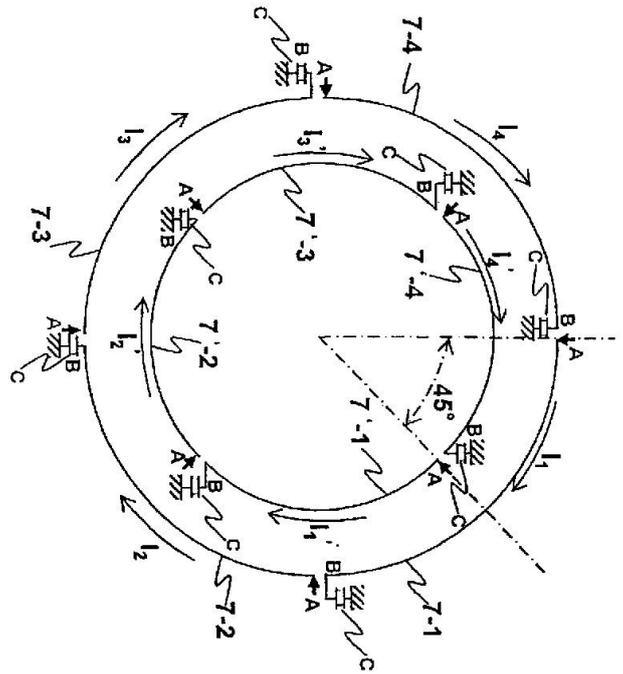
도면18



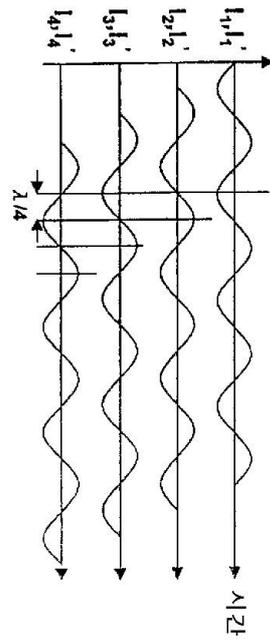
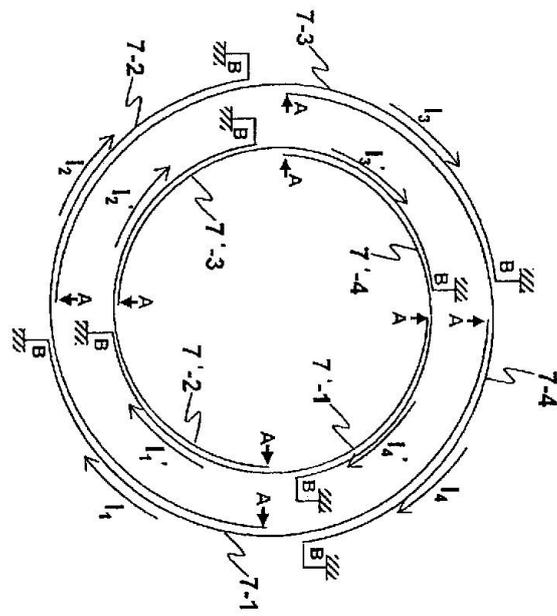
도면19



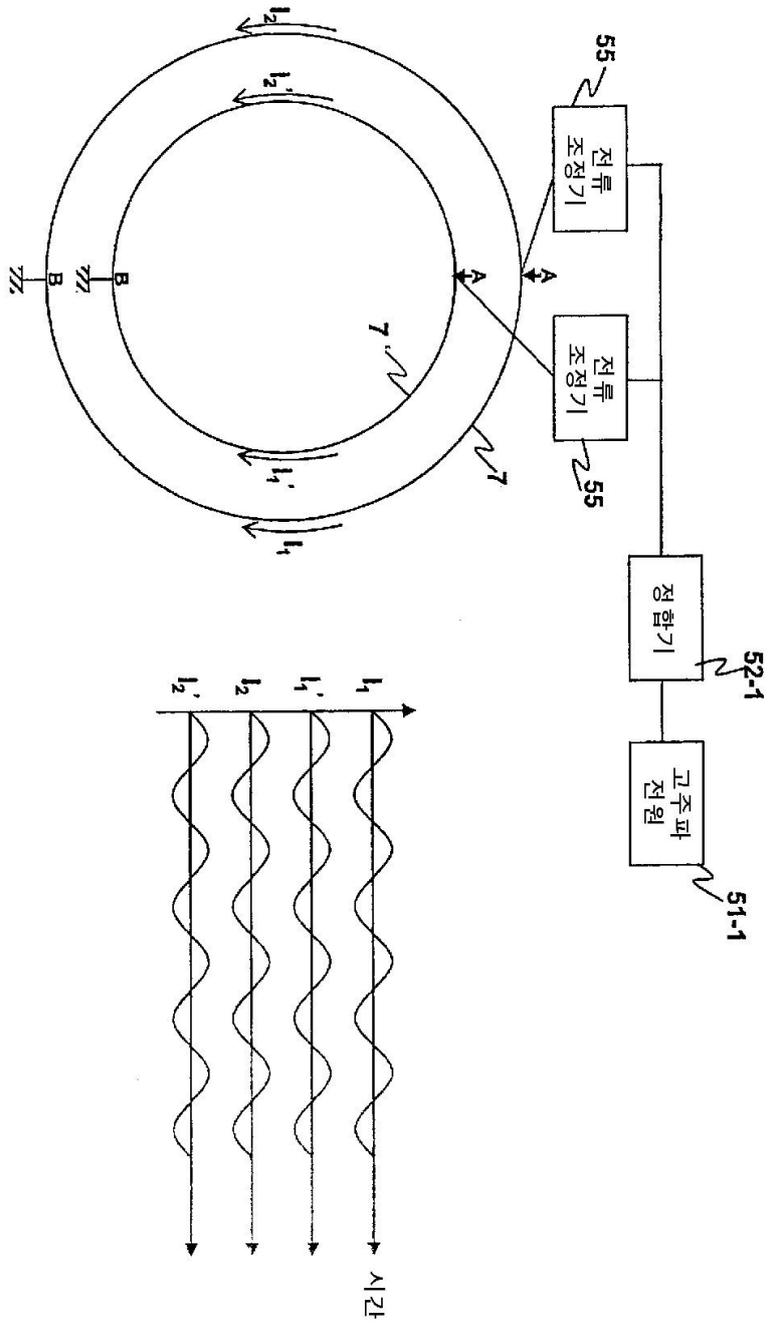
도면20



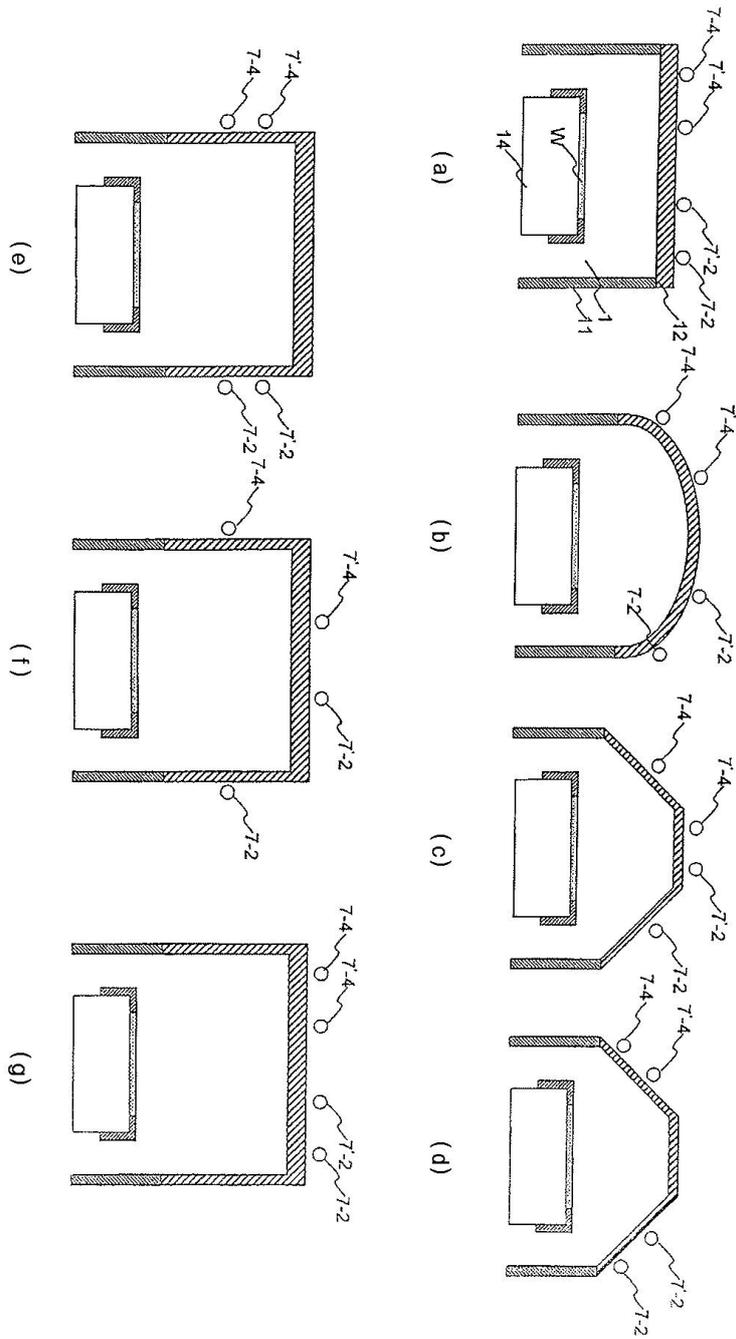
도면21



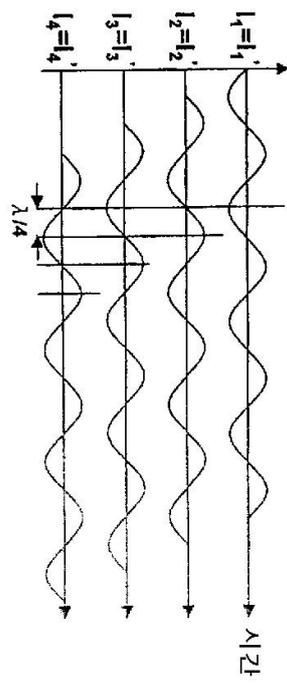
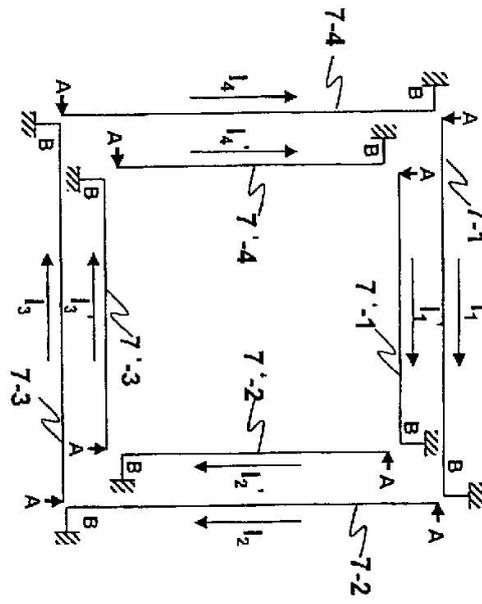
도면22



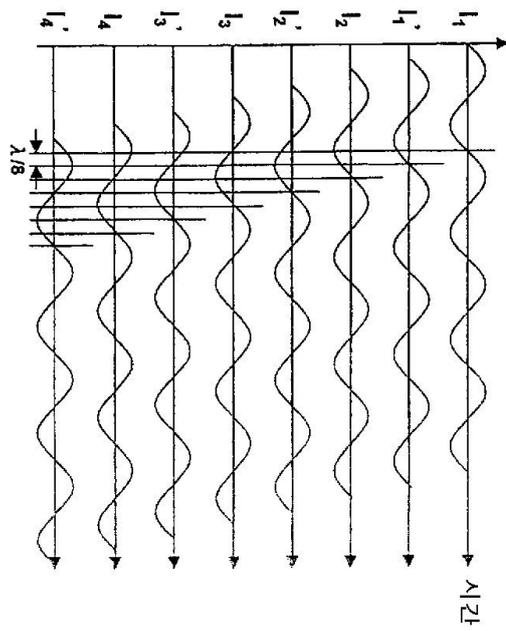
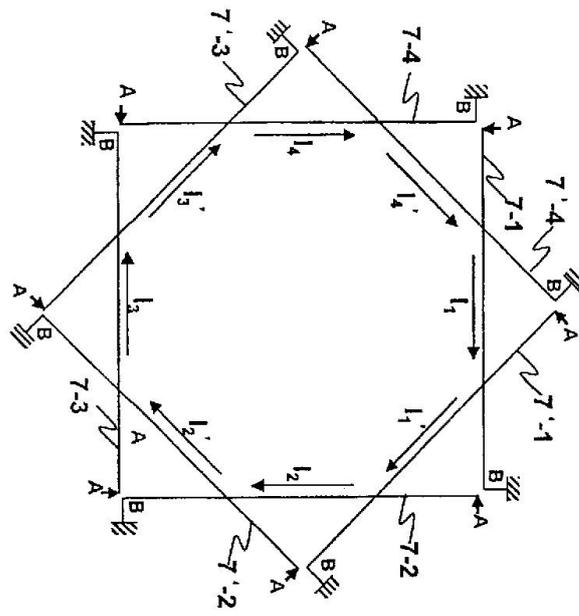
도면23



도면24

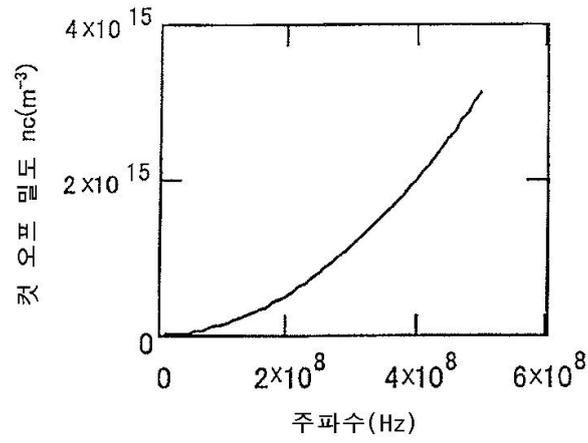


도면25



l_2

도면26



도면27

