



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년08월11일
(11) 등록번호 10-0974844
(24) 등록일자 2010년08월03일

(51) Int. Cl.

H01L 21/3065 (2006.01) H01J 37/32 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2005-7001224

(22) 출원일자(국제출원일자) 2003년07월17일

심사청구일자 2008년07월17일

(85) 번역문제출일자 2005년01월22일

(65) 공개번호 10-2005-0025975

(43) 공개일자 2005년03월14일

(86) 국제출원번호 PCT/US2003/022206

(87) 국제공개번호 WO 2004/010457

국제공개일자 2004년01월29일

(30) 우선권주장

10/200,833 2002년07월22일 미국(US)

(56) 선행기술조사문현

JP10106797 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문현

(73) 특허권자

램 리씨치 코포레이션

미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이
4650

(72) 발명자

하월드, 아더엠.

미국, 캘리포니아 94566, 플레잔톤, 캐버넷 코트
4233

쿠씨, 안드리스

미국, 캘리포니아 91320, 싸우전드 옥스, 파멜라
우드 스트리트 717
(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인코리아나

전체 청구항 수 : 총 25 항

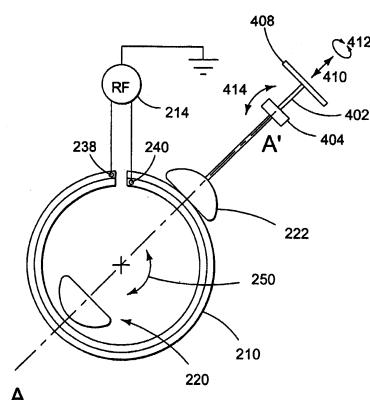
심사관 : 박귀만

(54) 균일한 처리 속도를 발생하기 위한 장치 및 방법

(57) 요 약

본 발명은 플라즈마 처리 장치의 처리 챔버 벽 내부의 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드 분포를 발생하기 위한 안테나 배열에 관한 것이다. 안테나 배열은 플라즈마 발생 영역으로 연장하는 제 1 rf 필드를 발생하기 위하여 rf 전류를 공급하도록 rf 전원이 접속될 수 있는 rf 유도성 안테나를 포함한다. rf 유도성 안테나에 유도적으로 결합되고 제 1 rf 필드를 변경시키는 제 2 rf 필드를 발생하도록 구성되는 수동 안테나가 또한 제공된다. 플라즈마 발생 영역에서의 rf 필드 분포는 수동 안테나가 없는 경우에 비하여 처리 장치의 처리 균일성을 증가시킨다.

대 표 도 - 도4



(72) 발명자

윌콕슨, 마크헨리

미국, 캘리포니아 94611, 피드몬트, 로나다 애비뉴
85

베일리, 앤드류디.Ⅲ

미국, 캘리포니아 94566, 플레잔톤, 노스웨이 로드
5167

특허청구의 범위

청구항 1

삭제

청구항 2

플라즈마 처리 장치의 처리 챔버의 챔버 벽 내부의 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드 분포를 발생시키기 위한 안테나 배열로서,

rf 전원이 접속되어 rf 전류를 공급하여, 상기 플라즈마 발생 영역으로 연장되는 제 1 rf 필드를 발생시키는, rf 유도성 안테나, 및

수동 안테나를 포함하며,

상기 수동 안테나는, 상기 rf 유도성 안테나에 유도적으로 결합되며, 상기 플라즈마 발생 영역에서의 rf 필드 분포가 상기 수동 안테나가 없는 경우에 비해 상기 처리 장치의 처리 균일성을 증가시키도록, 상기 제 1 rf 필드를 변경하는 제 2 rf 필드를 발생시키도록 구성되고,

상기 제 2 rf 필드는 상기 플라즈마 발생 영역에서의 rf 필드 분포가 상기 수동 안테나가 없는 경우와 다른 대칭성을 갖도록 상기 제 1 rf 필드를 변경시키는, 안테나 배열.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 수동 안테나는 상기 플라즈마 발생 영역에서의 상기 rf 필드 분포의 방위 대칭성(azimuthal symmetry)을 변화시키는, 안테나 배열.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 rf 필드 분포의 방위 대칭성은 상기 수동 안테나가 없는 경우에 비해 증가되는, 안테나 배열.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 안테나 배열은 다수의 수동 안테나를 포함하고, 각각의 수동 안테나는 상기 rf 유도성 안테나에 유도적으로 결합되고, 상기 플라즈마 발생 영역에서의 rf 필드 분포가 상기 수동 안테나가 없는 경우에 비해 상기 처리 장치의 처리 균일성을 증가시키도록 상기 제 1 rf 필드를 추가로 변경하는 각각의 rf 필드를 발생시키도록 구성되는, 안테나 배열.

청구항 6

플라즈마 처리 장치의 처리 챔버의 챔버 벽 내부의 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드 분포를 발생시키기 위한 안테나 배열로서,

rf 전원이 접속되어 rf 전류를 공급하여, 상기 플라즈마 발생 영역으로 연장되는 제 1 rf 필드를 발생시키는, rf 유도성 안테나, 및

수동 안테나를 포함하며,

상기 수동 안테나는, 상기 rf 유도성 안테나에 유도적으로 결합되며, 상기 플라즈마 발생 영역에서의 rf 필드 분포가 상기 수동 안테나가 없는 경우에 비해 상기 처리 장치의 처리 균일성을 증가시키도록, 상기 제 1 rf 필드를 변경하는 제 2 rf 필드를 발생시키도록 구성되고,

상기 수동 안테나는 유도된 전류가 흐름으로써 적어도 상기 제 2 rf 필드의 일부분을 발생시키는 도전 경로를 제공하는, 안테나 배열.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 수동 안테나는 상기 유도성 안테나의 길이의 적어도 일부분을 따라 연장하는, 안테나 배열.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 수동 안테나는 상기 유도성 안테나의 일부분의 주위에서 적어도 부분적으로 연장하는 채널 형상을 갖는, 안테나 배열.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 수동 안테나는 상기 유도성 안테나의 일부분을 둘러싸는, 안테나 배열.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 수동 안테나는 상기 유도성 안테나를 상기 유도성 안테나의 실질적으로 모든 길이를 따라 둘러싸는, 안테나 배열.

청구항 11

제 6 항에 있어서,

상기 수동 안테나는 상기 제 1 rf 필드의 대칭성에 어떠한 불완전함도 없는 경우, 상기 제 1 rf 필드가 상기 수동 안테나의 위치에서 가지게 될 자계선(magnetic field lines)의 형상과 실질적으로 일치하는 단면 형상을 갖는, 안테나 배열.

청구항 12

제 6 항에 있어서,

상기 수동 안테나는 가장자리가 있는 단부 영역을 가지며, 상기 수동 안테나의 상기 단부 영역의 가장자리는 상기 수동 안테나가 없는 경우에 상기 수동 안테나의 상기 단부 영역의 가장자리의 위치에서 상기 제 1 rf 필드가 가지게 될 자계선의 형상과 실질적으로 일치하는 단면 형상을 갖는, 안테나 배열.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

다수의 수동 안테나들을 추가로 포함하며,

상기 수동 안테나 및 상기 다수의 수동 안테나들은 상기 rf 유도성 안테나 주위에서 각도상으로(angularly) 배치되는, 안테나 배열.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 수동 안테나 및 상기 다수의 수동 안테나들은 상기 rf 유도성 안테나 주위에서 실질적으로 등각으로 배치되는, 안테나 배열.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

플라즈마 처리 장치의 처리 챔버의 챔버 벽 내부의 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드 분포를 발생시키기 위한 안테나 배열로서,

rf 전원이 접속되어 rf 전류를 공급하여, 상기 플라즈마 발생 영역으로 연장되는 제 1 rf 필드를 발생시키는, rf 유도성 안테나,

수동 안테나, 및

상기 처리 챔버 내에서 DC 자기장을 발생시키는 전자석 배열을 포함하며,

상기 수동 안테나는, 상기 rf 유도성 안테나에 유도적으로 결합되며, 상기 플라즈마 발생 영역에서의 rf 필드 분포가 상기 수동 안테나가 없는 경우에 비해 상기 처리 장치의 처리 균일성을 증가시키도록, 상기 제 1 rf 필드를 변경하는 제 2 rf 필드를 발생시키도록 구성되는, 안테나 배열.

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

처리 챔버를 갖는 플라즈마 처리 장치로서, 상기 처리 챔버는, 챔버 벽, 및 상기 처리 챔버 내부의 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드 분포를 발생시키기 위한 안테나 배열을 구비하며, 상기 안테나 배열은, rf 전원에 접속되어 rf 전류를 공급함으로써 상기 플라즈마 발생 영역으로 연장되는 제 1 rf 필드를 발생시키는 rf 유도성 안테나, 및 제 2 rf 필드를 발생시키도록 구성된 수동 안테나를 구비하는, 상기 플라즈마 처리 장치에서 플라즈마 처리 균일성을 향상시키는 방법으로서,

상기 수동 안테나 및 상기 rf 유도성 안테나를 유도적으로 결합하는 단계,

상기 플라즈마 발생 영역에서의 상기 rf 필드 분포가 상기 수동 안테나가 없는 경우에 비해 상기 플라즈마 처리 장치의 처리 균일성을 증가시키기 위해, 상기 제 2 rf 필드가 상기 제 1 rf 필드를 변경시키도록 상기 수동 안테나를 위치시키는 단계, 및

DC 자기장을 인가하는 단계를 포함하는, 플라즈마 처리 균일성을 향상시키는 방법.

청구항 24

제 23 항에 있어서,

상기 DC 자기장은 전자석에 의해 인가되고, 상기 DC 자기장은 플라즈마 처리 균일성에 영향을 미치는데 효과적인 방사상 변화를 갖는, 플라즈마 처리 균일성을 향상시키는 방법.

청구항 25

제 23 항에 있어서,

상기 DC 자기장은 영구 자석의 자기 버킷(magnetic bucket)에 의해 인가되는, 플라즈마 처리 균일성을 향상시키는 방법.

청구항 26

삭제

청구항 27

플라즈마 처리 장치에서 사용하기 위한 rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법으로서,

- (a) 상기 rf 안테나의 rf 필드 분포를 결정하는 단계,
- (b) 상기 rf 안테나에 유도적으로 결합된 하나 이상의 수동 안테나들을 제공하는 단계,
- (c) 상기 수동 안테나의 상기 rf 필드 분포에 대한 효과를 결정하는 단계, 및
- (d) 상기 (b) 및 (c) 단계를 반복하는 단계를 포함하는, rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법.

청구항 28

플라즈마 처리 장치에서 사용하기 위한 rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법으로서,

- (a) 상기 rf 안테나의 rf 필드 분포를 결정하는 단계,
- (b) 상기 rf 안테나에 유도적으로 결합된 하나 이상의 수동 안테나들을 제공하는 단계, 및
- (c) 상기 수동 안테나의 상기 rf 필드 분포에 대한 효과를 결정하는 단계를 포함하고,

상기 방법은 계산에 의해(computationally) 수행되는, rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법.

청구항 29

플라즈마 처리 장치에서 사용하기 위한 rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법으로서,

- (a) 상기 rf 안테나의 rf 필드 분포를 결정하는 단계,
- (b) 상기 rf 안테나에 유도적으로 결합된 하나 이상의 수동 안테나들을 제공하는 단계, 및
- (c) 상기 수동 안테나의 상기 rf 필드 분포에 대한 효과를 결정하는 단계를 포함하고,

상기 (a) 및 (c) 단계는, rf 자기장에 민감한 장치를 이용하여 상기 rf 안테나의 필드 분포를 측정함으로써 수행되는, rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법.

청구항 30

플라즈마 처리 장치에서 사용하기 위한 rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법으로서,

- (a) 상기 rf 안테나의 rf 필드 분포를 결정하는 단계,
- (b) 상기 rf 안테나에 유도적으로 결합된 하나 이상의 수동 안테나들을 제공하는 단계, 및
- (c) 상기 수동 안테나의 상기 rf 필드 분포에 대한 효과를 결정하는 단계를 포함하고,

상기 (a) 및 (c) 단계는, 워크피스(work piece)의 플라즈마 처리에 대한 상기 rf 필드 분포의 효과를 결정함으로써 수행되는, rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법.

청구항 31

플라즈마 처리 장치에서 사용하기 위한 rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법으로서,

- (a) 상기 rf 안테나의 rf 필드 분포를 결정하는 단계,
- (b) 상기 rf 안테나에 유도적으로 결합된 하나 이상의 수동 안테나들을 제공하는 단계,

- (c) 상기 수동 안테나의 상기 rf 필드 분포에 대한 효과를 결정하는 단계, 및
- (d) 상기 rf 안테나에 대한 상기 수동 안테나의 위치를 고정시키는 단계를 포함하는, rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법.

청구항 32

제 27 항에 있어서,

상기 (b) 단계를 반복하는 것은, 추가적인 수동 안테나를 추가하는 단계를 포함하는, rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법.

청구항 33

제 27 항에 있어서,

상기 (b) 단계를 반복하는 것은, 상기 수동 안테나를 재구성하는 단계를 포함하는, rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법.

청구항 34

제 33 항에 있어서,

상기 수동 안테나를 재구성하는 단계는, 상기 수동 안테나의 위치를 변경하는 것, 상기 수동 안테나의 배향을 변경하는 것, 상기 수동 안테나의 크기를 변경하는 것, 상기 수동 안테나의 형상을 변경하는 것, 및 상기 수동 안테나의 재료를 변경하는 것을 포함하는 그룹 중에서 선택된 재구성 단계를 포함하는, rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법.

명세서

기술 분야

[0001]

본 발명은 IC 제조시 사용되는 반도체 기판 또는 평판 디스플레이용으로 사용되는 유리 패널을 포함한 기판을 처리하는 장치 및 방법에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 기판 표면의 전역에 걸쳐 고도의 처리 균일성으로 기판을 처리할 수 있는 향상된 플라즈마 처리 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

플라즈마 처리 시스템이 개발되어 왔다. 수년 동안, 유도적으로 결합된 플라즈마 소스, 전자 사이클로 트론 공명(ECR) 소스, 및 용량성 소스 등을 이용한 플라즈마 처리 시스템이 도입됨으로써 반도체 기판 및 유리 패널과 같은 다양한 아이템을 처리하는데 다양한 정도로 사용되었다.

[0003]

처리 중에, 다중 증착 및/또는 에칭 단계가 통상적으로 이용된다. 증착 중에 기판 표면(가령, 유리 패널 또는 웨이퍼의 표면) 위로 재료들이 증착된다. 예를 들어, 규소, 이산화규소, 질화규소, 금속 등과 같은 다양한 형태의 증착층이 기판의 표면 위에 형성될 수도 있다. 역으로, 에칭이 기판 표면 위에 지정된 영역으로부터 재료들을 선택적으로 제거하는데 이용될 수도 있다. 예를 들어, 비아, 콘택트, 또는 트렌치(trench)와 같은 에칭된 퍼쳐들이 기판의 층에 형성될 수도 있다.

[0004]

플라즈마 처리의 일 특정 방법은, 플라즈마를 발생하는데 유도성 소스를 사용한다. 도 1은 플라즈마 처리에 사용되는 종래 기술의 유도 플라즈마 처리 반응기(200)를 도시하고 있다. 통상적인 유도 플라즈마 처리 반응기는 유전체 윈도우(212) 위로 배치된 안테나 또는 유도 코일(210)을 갖는 챔버(202)를 포함한다. 통상적으로, 안테나(210)는 제 1 무선주파수(rf) 전력원(214)과 동작가능하게 결합된다. 더욱이, 기체 포트(215)는 챔버(202)의 벽(208) 내부에 형성되며, 기체 상태의 소스 재료들(가령, 에센트 소스 기체)을 유전체 윈도우(212)와 기판(206) 사이의 rf-유도 플라즈마 영역(204) 내로 제공하도록 배열된다. 이 기판(206)은 챔버(202) 내부로 도입되고, 일반적으로 척(chuck)(216) 위에 배치되며, 척은 전극으로 작용하며 제 2 rf 전력원(218)에 통상적으로 결합된다.

[0005]

플라즈마를 생성하기 위해서, 처리 기체가 기체 포트(215)를 통해 챔버(202) 내부로 입력된다. 이후 제 1 rf 전력원(214)을 이용하여 전력이 유도 코일(210)로 공급된다. 공급된 rf 에너지는 유전체 윈도우(212)를 통

해 챔버(202) 내부로 연결되고, rf 자기장 및 그에 수반되는 큰 전기장이 챔버(202) 내부에 유도된다. 전기장은 챔버내에 존재하는 작은 수의 전자들을 가속하고, 챔버내에서 순환 전류를 유도하고, 순환하는 전자들은 처리기체의 기체 분자들과 충돌한다. 이러한 충돌은 방전 또는 플라즈마(204)의 이온화를 일으켜 개시를 초래한다. 당분야에 공지된 바와 같이, 이러한 강한 전기장에 지배를 받는 처리 기체의 중성 기체 분자들은 전자를 상실하게 되고, 그리고 양성으로 충전된 이온들 뒤에 남게 된다. 결과적으로, 양으로 하전된 이온, 음으로 하전된 전자 및 중성 기체 분자들(및/또는 원자들)은 플라즈마(204) 내부에 포함된다. 자유 전자들의 생성 속도가 상실 속도를 초과하면, 플라즈마가 점화된다.

[0006] 본원 및 청구항에서, rf 유도성 안테나에 의해 발생된 전자기장은 rf 전자기장이다. 도면에서 전자기장이 정적인 것으로 나타날 수도 있지만, rf 유도성 안테나에 의해 발생된 전자기장은 일반적인 rf 전자기장이다.

[0007] 일단 플라즈마가 형성되면, 플라즈마 내부의 중성 기체 분자들은 기판의 표면쪽으로 향하는 경향이 있다. 예에서, 중성 기체 분자가 기판에 존재하는데 기여하는 메커니즘 중 하나는 확산일 수도 있다(즉, 챔버내 분자들의 무작위 운동). 따라서, 중성 계열의 층(가령, 중성 기체 분자)은 기판(206)의 표면을 따라 통상적으로 발견될 수도 있다. 따라서, 바닥 전극(216)에 전원이 공급될 때, 이온들은 중성 종과 결합하여 에칭 반응을 활성화시키는 기판 방향으로 가속화하는 경향이 있다.

[0008] 유도 플라즈마 시스템에서 겪게 될 하나의 문제는, 기판 전역에 걸쳐 에칭 성능의 변동(가령, 불균일한 에칭 속도)을 들 수 있다. 즉, 기판의 한 영역이 다른 영역과 다르게 에칭된다. 결과적으로, 워크피스와 관련된 매개변수들, 예를 들어, 집적 회로의 경우 임계 치수, 애스펙트비 등을 제어하는 것은 매우 어렵다. 부가적으로, 불균일한 에칭 속도는 반도체 회로에서 장치 실패를 야기할 수도 있고, 이는 통상적으로 제조업자에게 더 높은 비용을 전가시킨다. 더욱이, 전체적인 에칭 속도, 에칭 프로파일, 마이크로-로딩, 선택도 등과 같은 다른 문제점들도 또한 존재한다.

[0009] 최근에, 이러한 불균일 에칭 속도에서의 한 요인은, 기판 표면의 전역에 걸쳐 플라즈마 밀도에서의 변동을 일으키는 결과가 될 수도 있음이 발견되었고, 이는 즉 반응 종(가령, 양으로 하전된 이온)의 양이 더 큰 영역 또는 더 작은 영역을 갖는 플라즈마가 됨을 의미한다. 이론에 의해 한정되기를 원하지 않지만, 플라즈마 밀도에서의 변동은 플라즈마 영역내의 자기장 및 전기장에서 발견되는 비대칭에 의해 발생된다고 생각된다. 만일 플라즈마 영역 내의 자기장이 비대칭일 경우, 유도된 전기장의 순환 전류는 비대칭일 것이고, 따라서 이온화 및 플라즈마의 개시는 비대칭일 것이고, 플라즈마 밀도에서의 변동이 이루어질 것이다.

[0010] 도 1에 도시된 예시적인 안테나(210)는 비대칭 전력 결합을 줄이도록 설계된다. 안테나(210)는 두 쌍의 동심원형 평면 안테나를 포함하며, 안테나 구성요소가 접속되고 rf 전력 공급이 접속되는 복잡한 교차 구조를 갖는다. 그러나, rf 전력 공급을 제공하는 요건은, 안테나가 방위적으로 완전히 대칭이 될 수는 없음을 의미한다. rf 파워 공급이 없는 경우에도, 플라즈마 처리에 통상적으로 사용되는 rf 주파수에서, 안테나 구성요소는 집중 정수 요소(lumped component)로서 보다는 전송 라인과 같이 작용하고, 따라서 안테나 주위에서 전류 강도에서의 변동이 이루어지는 경향으로 인해 발생된 자기장 패턴에서 방위 비대칭성(azimuthal asymmetry)이 생기게 된다.

[0011] 플라즈마 영역에서의 전자기장의 대칭성 및 플라즈마 균일성을 향상시키기 위해서 다른 안테나 구조가 제시되었다. 미국 특허 제 5,729,280(Holland 외)는 전송 라인 효과에 따라 상대적으로 더 높은 전류 영역, 및 더 낮은 전류 영역들을 시도하고 평균하도록 특정 나선형 구조를 갖는 안테나를 설명한다. 많은 접근 방식들은 다중 활성 파워 안테나들을 사용한다. 미국 특허 제 5,401,350(Patrick 외)는 제 1 정합 네트워크에 의해 제 1 rf 서플라이에 부착된 제 1 나선형 코일 및 제 2 정합 네트워크에 의하여 제 2 rf 서플라이에 접속되고, 제 1 코일 내부에 위치한 제 2 나선형 코일을 포함하는 코일 구조를 설명한다. 미국 특허 제 5,731,565(Gates)는 서플라이에 접속된 코일형 안테나를 설명하며, 여기서는 안테나의 중앙 코일 부분이 안테나 내부로 선택적으로 접속될 수 있다.

[0012] 안테나가 완전히 대칭형 전자기장을 발생하도록 만들어질 수 있는 경우에도, 처리 챔버의 완전한 원형의 원통형 대칭으로부터 벗어나거나 혹은 처리 챔버 내의 임의의 구성요소는 플라즈마 처리 영역에서 rf 필드에 비대칭을 도입하게 될 것이다. 예를 들어, 척(216), 워크피스(206), 챔버 하우징, 윈도우(212) 또는 안테나(210)의 원통형 대칭성으로부터의 임의의 오정렬은, 플라즈마 처리 시스템에 어떤 비대칭을 유도할 것이다. 또한, 통상적인 제조 오차는 플라즈마 처리 시스템의 몇몇 일부분이 완전히 원통형으로 대칭이 되지 못할 것임을 의미할 것이다. 예를 들어, 플라즈마 챔버 벽의 두께에서의 변동은, 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드의 대칭에 영향을 줄 수 있다. 플라즈마 영역에서의 rf 필드가 완전히 대칭이 되도록 만들어질 수 있는 경우에도, 만일 웨

이피가 올바르게 정렬되지 않거나 또는 플라즈마 발생 영역과 워크피스의 표면 사이에 rf 필드 분포에서 변동이 있다면, 워크피스의 플라즈마 처리에서의 불균일이 발생할 것이다.

[0013] 따라서, 안테나에 의해 발생된 전자기장의 대칭에서의 향상과 관계없이, 웨이퍼 표면 상부로 플라즈마 처리에서의 불균일성이 생길 것이고, 플라즈마 챔버에서 완전한 대칭형 전자기장 분포는 웨이퍼의 완전히 균일한 에칭을 보장하지 못할 것이다.

[0014] 하기에서는 기판의 표면에서 처리의 균일성을 향상시키는 바람직한 방법 및 장치가 주어진다. 현재 프로세스에서는 더 작은 사이즈를 향해 진행, 가령 $0.1\mu\text{m}$ 사이즈가 요구되기 때문에, 이에 대응하여 예칭 속도에서의 균일성에 있어서 정확한 개선이 특히 바람직할 것이다.

발명의 상세한 설명

[0015] 본 발명의 제 1 양태에 따르면, 플라즈마 처리 장치에서 rf 필드 분포를 발생시키는 안테나 배열이 제공된다. 이 배열은 rf 유도성 안테나가 포함되며, rf 전원이 접속되어 rf 전류를 공급함으로써 제 1 rf 필드를 발생시킨다. rf 필드는 플라즈마 발생 영역으로 연장될 수 있다. 수동 안테나는 rf 유도성 안테나에 유도적으로 결합된다. 수동 안테나는 제 2 rf 필드를 발생하도록 구성된다. 제 2 rf 필드는 플라즈마 챔버내의 rf 필드 분포가 처리 장치의 처리 균일성을 향상시키도록 제 1 rf 필드를 변경한다.

[0016] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 플라즈마 처리 장치내 플라즈마 영역에서 rf 필드 분포를 발생시키기 위한 안테나 배열이 제공된다. 이 배열은 rf 유도성 안테나 및 수동 안테나를 포함한다. 이 수동 안테나는 rf 유도성 안테나에 유도적으로 결합되고, rf 필드 분포의 방사상 분포를 변경시키는 rf 필드를 발생하도록 구성된다. rf 필드 분포의 방사상 분포를 변경시키도록 수동 안테나를 움직이는 장치가 제공된다.

[0017] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 플라즈마 처리 장치내 플라즈마 처리 균일성을 개선하기 위한 방법이 제공된다. 안테나 배열은, 플라즈마 처리 장치 내부에 rf 필드 분포를 발생시키고, 플라즈마 발생 영역으로 연장하는 제 1 rf 필드를 발생하도록 rf 전류를 공급하기 위한 rf 전원에 접속된 rf 유도성 안테나를 포함하고 또한 제 2 rf 필드를 발생하도록 구성된 수동 안테나를 포함한다. 이 방법은 수동 안테나 및 rf 유도성 안테나를 유도적으로 결합하는 단계를 포함한다. 수동 안테나는 제 2 rf 필드가 제 1 rf 필드를 변경시키도록 위치됨으로써, 플라즈마 처리 장치내 rf 필드 분포가 처리 장치의 처리 균일성을 증가시키도록 한다.

[0018] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 플라즈마 처리 장치 내에서 이용하기 위한 rf 안테나의 rf 필드 분포를 조정하는 방법이 제공된다. rf 안테나의 rf 필드 분포가 결정된다. rf 안테나에 유도적으로 결합된 하나 이상의 수동 안테나가 제공된다. rf 필드 분포에 대한 수동 안테나의 효과가 이후 결정된다.

실시예

[0039] 본 발명은 플라즈마 처리 장치 또는 툴에서 워크피스의 전역에 걸쳐 처리 균일성을 증가시키는 방법 및 장치에 관한 것이다. 도 1은 앞서 논의된 바와 같이 종래 기술의 플라즈마 처리 장치를 도시한다. 이 장치는 rf 전원에 접속된 유도 rf 안테나(210)가 포함되며, rf 전원은 안테나에 rf 전류원을 제공한다. 간단하게, rf 안테나는 플라즈마(204)를 점화시키고 유지하는 처리 챔버(202) 내 플라즈마 처리 영역에서 rf 전자기장 분포를 발생시킨다.

[0040] rf 안테나 상에 rf 전압, 또한 rf 안테나내에 rf 전류가 존재한다. rf 전압은 안테나의 길이에 따라 변화하고, 가장 큰 전압 차이는 통상적으로 일단부(즉, 단자)에서 타단부(즉, 단자)까지가 된다. 가장 큰 전압 차이는 수천 볼트 정도가 될 수 있다. rf 안테나 상의 rf 전압 및 rf 안테나 내의 rf 전류 모두는 플라즈마에 영향을 미칠 수 있다.

[0041] rf 안테나 상의 rf 전압은, 플라즈마 내에서 전기장을 직접 만든다. 안테나 상에서 rf 전압의 플라즈마로의 결합은, 통상적으로 용량성 결합으로 일컬어진다. rf 안테나내의 rf 전류는 플라즈마내에서 rf 전기장을 유도하는 플라즈마내의 rf 자기장을 만든다. rf 안테나내의 rf 전류의 플라즈마로의 결합은, 일반적으로 유도성 결합으로 일컬어진다. 따라서, rf 안테나와 플라즈마 사이에는 rf 유도성 결합 및 rf 용량성 결합이 모두 존재할 수 있다. 아래에서 용어 "rf 필드 분포"는, 본원에서 달리 표시되지 않는다면, 유도성(즉, 자기) 부분과 용량성(즉, 전기) 부분을 갖는 rf 전자기장 분포를 일컫는데 사용될 것이다.

[0042] 유도성 플라즈마 소스의 경우, 유도성 결합에 의해 안테나로부터 플라즈마에 결합된 전력의 양이, 용량성 결합에 의해 플라즈마에 결합된 전력의 양보다 크다. 유도성 rf 안테나의 경우에도, 용량성 결합의 효과는

중요할 수 있다. 플라즈마는 용량성 결합에 의해 개시되고, 이후 유도성 결합에 의해 지속된다. 또한, rf 전압이 rf 안테나의 길이를 따라 변할 때, 안테나로부터 플라즈마로의 용량성 결합은 안테나의 다른 부분들로부터 변화한다. 용량성 결합의 변화는, 용량성 결합이 가장 큰 영역에서 유전체 윈도우로부터 재료를 스퍼터링하는 플라즈마 이온들에 의해 유전체 윈도우의 바닥면으로 예치될 수 있는 가시적 패턴으로 보여질 수 있다.

[0043] 일부 플라즈마 처리 시스템은 플라즈마로의 유도성 안테나의 용량성 결합을 줄이기 위하여 패러데이 차폐(Faraday shields)를 사용하였다. 이러한 패러데이 차폐는 다수의 방사상 슬롯을 갖는 큰 평평한 금속 디스크로서, 유도성 안테나와 유전체 윈도우 사이에 위치한다. 만일 패러데이 차폐가 0 볼트의 rf 전위에 있다면, 플라즈마로의 용량성 결합은 존재하지 않을 것이다. 만일 패러데이 차폐가 균일한 0 아닌 rf 전위에 있다면, 플라즈마로의 용량성 결합은 균일할 것이다. 그렇지 않다면, 방사상 슬롯은 rf 안테나와 플라즈마의 유도성 결합을 차단할 rf 안테나에 의해 rf 전류가 유도되는 것을 막도록 패러데이 차폐내에 제공된다. 용량성 결합이 없는 경우에도, 챔버내의 rf 필드 분포는 rf 자기부의 결과로서 일부 rf 전기부를 여전히 가질 것이다.

[0044] 도 2는 도 1에 도시된 것과 유사하지만 본 발명에 따른 안테나 배열의 실시형태를 포함하는 플라즈마 처리 장치의 개략적 단면도를 보여준다. 안테나 배열은 유도성 rf 안테나(210) 및 제 1 수동 안테나(220) 및 제 2 수동 안테나(222)를 포함한다. 도 3은 유도성 안테나에 대한 전류 경로를 도시한 개략적 회로도를 도시하고, 도 4는 유도성 안테나에 대한 수동 안테나의 위치를 도시한 개략적 평면도를 도시한다. 도 2는 도 4의 라인 A'를 따른 단면을 도시한다.

[0045] 유도성 안테나(210)는 원형 안테나 구성요소의 제 1 상부 쌍(224) 및 원형 안테나 구성요소의 제 2 하부 쌍(226)을 포함한다. 상부 쌍은 내부 루프 안테나 구성요소(228) 및 외부 루프 안테나 구성요소(230)를 포함한다. 하부 쌍은 또한 내부 루프 안테나 구성요소(232) 및 외부 루프 안테나 구성요소(234)를 포함한다. 상부 및 하부 쌍은 안테나의 평면에 실질적으로 수직으로 연장하는 중심축(245)에 대하여 동심적이다. 중심축은 플라즈마 챔버 자체(202)의 실질적으로 원통인 대칭 축과 공통인 축을 갖는다.

[0046] 각각의 안테나 구성요소는, 대략 3/8인치(0.9cm) 제곱의 단면을 갖는 은도금된 구리로 만들어진다. 유도성 안테나는 대략 6인치(14.5cm)의 내부 직경과 대략 8인치(19.4cm)의 외부 직경을 갖는다. 안테나 구성요소는 텤플론이라는 상품명으로 구할 수 있는 PTFE로 만들어진 원형의 십자형 단면 지지부(236) 위에 장착된다. 지지부의 치수는 안테나 구성요소 사이의 아킹(arcing)을 막기에 충분하다. 지지부는 안테나 구성요소를 올바른 상대적 공간 위치에 유지하도록 동작하며, 안테나 요소가 작동시 자기력 하에서 반발되지 않도록 한다.

[0047] 도 3에서 도시된 바와 같이, 안테나 구성요소는 안테나 평면내에서 동일하게 전류가 흐르게 하는 단일 전류 경로를 제공하도록 자유 단부들(free end)에 접속된다. rf 전류 공급(238 및 240)은 안테나(210)의 자유 단부들에서 제공되고, 안테나(210)에 의하여 rf 전원(214)은 동작시 rf 전류를 안테나에 공급한다. 유도성 안테나가 rf 전력원에 접속되어 rf 전류가 안테나에서 흐름으로써, 유도성 안테나는 액티브 안테나로 간주될 수 있다. rf 전류 공급은, 안테나가 발생시킬 주로 대칭형 전자기장 패턴에서 방위 비대칭성의 원인이다. 일반적으로, 모든 rf 안테나가 방위적으로 대칭이 되도록 설계되지는 않는다. rf 유도성 안테나(210)의 구조물의 상세사항은 2001년 12월 18일 출원된 미국 특허 출원 10/033,807 "Method and Apparatus For producing Uniform Process Rates" (Wilcoxon 외)에 더욱 상세히 제시되어 있으며, 그 내용은 본원에서 참조로 인용된다.

[0048] 본 발명은 도면에 도시된 예시적인 rf 안테나에 한정되지 않는다. 본 발명은 임의의 rf 유도성 안테나 구조를 이용하여 구현될 수 있다. 예를 들어, 대안적 rf 유도성 안테나는 평면 나선형으로 감겨있거나 혹은 반구 표면 위에 놓이도록 감겨있는 단일 또는 다중 나선형 안테나 구성요소를 가질 수 있다. rf 안테나의 이러한 대안적 실시형태에서, 나선형의 인접한 코일 사이의 캡이 안테나 부분들 사이의 아킹을 방지하는데 사용될 수 있다.

[0049] 도 2 및 도 4에 도시된 바와 같이, 수동 안테나(222)는 지지부(400) 위에 장착된다. 지지부(400)는 플라즈마 챔버 상에서 지지부 풋(406)에 의해 선회하도록 장착되는 지지체(404)에 저널(journalized) 암(402)을 포함한다. 암은 제 1 단부에 핸들(408)을 가지며, 수동 안테나는 타단부에 부착되어 있다. 지지부는 수동 안테나의 배향 및 위치가 유도성 안테나에 대하여 조정되도록 한다. 수동 안테나는 암의 축을 따라 평행이동될 수 있고(410), 암의 축에 대하여 회전될 수 있고(412), 지지체(404)는 회전될 수 있다(414). 각 수동 안테나의 제세 중 어느 것, 또는 각 자세는 필요에 따라 어떤 방식으로도 변경될 수 있다. 예를 들어, 수동 안테나는 rf 안테나에 대하여 3차원으로 평행이동되거나, 회전되거나, 기울어지거나 또는 다른 방향으로 정해질 수 있다.

[0050] 실제로, 각 수동 안테나는, 수동 안테나를 플라즈마 처리 장치의 한 부분에 접속하는 지지 구조물에 의해 적절하게 고정된다. 제 2 수동 안테나용 지지부는 명료한 설명을 위해 도시되어 있지 않다. 지지부는 수동 안테나의 위치 및 배향을 변경하고, 수동 안테나를 선호되는 위치에 유지하고, 수동 안테나를 움직이는 자기력을 막도록 작용할 수 있다. 대안으로, 수동 안테나는 안테나에 대한 지지부를 제공하는 플라즈마 챔버의 보조 부분(가령, 원도우 온도 조절 장치) 위에 배치될 수 있다.

[0051] 도 4는 본 발명의 안테나 배열의 개략도를 보여준다. 제 1 수동 안테나(220) 및 제 2 수동 안테나(222)는 각각 'D' 모양을 가지며, 대략 1인치(2.4cm) 폭의 은도금된 구리로부터 만들어진다. 수동 안테나는 임의의 전기적 도전 재료로 만들어질 수 있지만, 금속이 선호되며 가능한 높은 도전율을 갖는다. 안테나 급전점에서 rf 유도성 안테나에 캡을 12시 방향으로 하면, 제 2 수동 안테나(222)는 대략 1시 방향에 상응하는 각도상 위치에서, 유도성 안테나의 둘레 외부에 위치지정된다. 제 1 수동 안테나(220)는 대략 7시 방향에 상응하는 각도상 위치에서 유도성 안테나의 둘레 내부에 위치지정된다. 두 수동 안테나는 유도성 안테나의 상부 표면의 약간 위로, 유도성 안테나 평면에 실질적으로 평행한 평면 내부에 위치지정된다.

[0052] 안테나 배열의 구성 및 구조가 설명되었으므로, 이제 안테나 배열의 동작이 도 5, 6, 및 7을 참조로 설명될 것이다. 명료한 설명을 위해, '방위각'이라는 용어는 도 4에서 라인(250)에 의해 도시된 바와 같이 플라즈마 처리 장치의 중심축(245)에 대해 각도 변위를 일컫는데 사용된다.

[0053] 도 5는 도 1에 도시된 것과 유사한 종래 기술의 플라즈마 처리 장치를 사용하여 처리된 웨이퍼의 표면 상부로 위치 함수로서 예칭 속도의 등고선 플롯(260)을 보여준다. 플롯의 상부 중심은 rf 안테나 공급 위치에 상응하고, 플롯의 중심은 플라즈마 처리 장치의 중심축(245)에 상응한다. 등고선의 라벨은 예칭 속도를 분당 옹스트롬 단위로 표시한다. 도시된 바와 같이, 예칭 속도는 플롯의 좌측 하단부 방향의 섹터에서 가장 높고, 플롯의 우측 상단부 방향의 섹터에서 가장 낮다. 따라서, 웨이퍼 전역에 걸쳐 예칭 속도의 기울기가 있다. 또한 예칭 속도는 웨이퍼 주위의 서로 다른 방향에서 상이하고, 따라서 웨이퍼 상부의 예칭 속도에 방위 비대칭이 존재한다. 웨이퍼 표면 상부의 평균 예칭 속도는 29.9nm/min이고, 표준 편차는 1.0nm/min이고 3.5nm/min의 범위를 갖는다.

[0054] 도 6은 도 5의 260에 상응하는 프로세스에서 사용된 동일한 프로세스를 이용하지만, 도 2 및 도 4에 도시된 안테나 배열을 갖는 플라즈마 처리 장치를 사용하여 처리된 웨이퍼 표면 상부의 위치 함수로서 예칭 속도의 등고선 플롯(270)을 보여준다. 플롯의 상부 중심은 rf 안테나 공급의 위치에 상응하고, 플롯의 중심은 플라즈마 처리 장치의 중심축(245)에 상응한다. 등고선 라벨은 분당 옹스트롬의 단위로 예칭 속도를 표시한다. 도시된 바와 같이, 예칭 속도는 플롯의 좌측 방향의 섹터에서 가장 높고, 플롯의 우측 상부 방향의 섹터에서 가장 낮다. 그러나, 웨이퍼 표면 상부의 평균 예칭 속도는 29.7nm/min로서 종래 기술의 프로세스와 비교될 수 있지만, 표준 편차는 0.5nm/min이고 1.8nm/min의 범위를 갖는다. 즉, 예칭 속도의 균일성은 두 배로 증가하고, 각도에 따른 예칭 속도에서의 변화는 감소된다. 따라서, 본 발명의 안테나 배열을 이용한 예칭 속도는, 종래 기술보다 더 큰 균일성과 방위 대칭성을 갖는다.

[0055] 이론적으로 얹매이기를 원하지 않지만, 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드 분포의 방위 대칭성을 증가시키기 위해, 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드 분포를 변경하는 수동 안테나가 일 요인이라고 믿어진다. rf 안테나 및 웨이퍼가 동일 축에서 정렬되지 않을 경우에는 다른 요인이 중요할 것이다. 이 경우, rf 안테나에 의해 서만 발생된 rf 필드 분포가 아무리 대칭이 되더라도, 웨이퍼 표면 상부의 예칭 속도에서는 심각한 변화가 있을 것이다. 수동 안테나는 이후 플라즈마 챔버 내의 rf 필드 분포를 변경하는데 사용되고, 실제로 플라즈마 챔버 내의 rf 안테나의 rf 필드 분포의 대칭성을 확실히 줄일 수도 있지만, 웨이퍼 표면 상부의 낮은 예칭 속도의 영역에서 예칭 속도를 증가시키는 rf 필드 분포를 발생시키는 것, 및 그 역을 행하는 것으로, 실제로 웨이퍼 표면 상부의 처리 속도의 균일성을 증가시킨다.

[0056] 도 7은 rf 안테나(210), 제 1 수동 안테나(220) 및 제 2 수동 안테나(222), 플라즈마 발생 영역(252) 및 도 4의 AA' 라인을 따른 웨이퍼(206)의 개략적 단면을 보여준다. 또한, 도 7은 안테나 배열의 순간 전류 및 자기장 분포를 보여준다. rf 사이클의 도시된 순간에서, rf 안테나의 rf 전류는 rf 안테나의 우측편으로 들어가서(페이지 속으로 통과) rf 안테나의 좌측편으로 빠져나온다(페이지 밖으로 나옴). 이러한 전류는 실선으로 주어진 자기장 패턴을 생기게 한다.

[0057] 제 1 수동 안테나(220)는 rf 안테나 자기장의 자속을 링크하고, 렌즈의 법칙에 따라, 전류가 수동 안테나에서 유도되며, 수동 안테나는, 수동 안테나 내부의 rf 안테나 자기장과 반대로, 파선으로 표시되는 수동 안테나 자기장을 발생시킨다. 따라서 수동 안테나의 영역상부의 순(net)자기장은 감소된다. 이 예에서, 수동 안테

나 자기장은 수동 안테나 영역 밖에서 rf 안테나 자기장과 동일한 방향에 있을 수도 있어서, 순자기장은 증가될 수도 있다. 실제로, 수동 안테나의 재료가 완전한 도체가 아닐 때, 수동 안테나 내부의 자기장은 완전히 없어지지 않는다. 제 1 수동 안테나(220)의 효과는 rf 안테나 내부의 수동 안테나의 위치에서 자기장이 감소되고, 따라서 처리 챔버 내부 및 플라즈마 발생 영역(252) 상부의 rf 필드 분포를 또한 변화시키게 되는 것이다. rf 안테나로부터의 자기장이 rf 자기장이므로, 수동 안테나에 의해 발생된 자기장은 또한 rf 자기장이다.

[0058] 또한, 제 2 수동 안테나(222)는 rf 안테나 자기장의 자속을 링크하고, 렌즈의 법칙에 따라, 전류가 수동 안테나(222)에 유도되며, 수동 안테나는, 수동 안테나 내부의 rf 안테나 자기장과 반대로 과선으로 표시되는 수동 안테나 rf 자기장을 발생시킨다. 따라서 수동 안테나의 영역 상부의 순자기장이 감소된다. 실제로, 수동 안테나의 재료가 완전한 도체가 아니기 때문에, 수동 안테나 내부의 자기장은 완전히 소멸되지 않는다. 제 2 수동 안테나(220)의 효과는, rf 안테나 외부의 수동 안테나 위치에서 자기장이 감소되고, 따라서 챔버내에서, 플라즈마 발생 영역(252) 상부의 rf 필드 분포를 또한 변화시키게 되는 것이다. 도 6에 도시된 바와 같이, 두 수동 안테나의 순수한 효과는 웨이퍼 표면 상부의 에칭 속도의 균일성을 증가시키는 것이다.

[0059] 앞서 논의된 바와 같이, 수동 안테나를 이용하여 감소시킬 수 있는 프로세스 불균일성에 기여하는 수많은 요인이 있을 수도 있다. 수동 안테나는 플라즈마 발생 영역에서 rf 필드 분포의 대칭성(가령, 방위 대칭성)을 증가시키는데 사용될 수도 있다. 수동 안테나는 처리 챔버내의 rf 필드 분포를 변경하는데 사용될 수도 있어서, rf 안테나 또는 플라즈마 처리 장치에서 임의의 고유한 비대칭성을 감소시킨다. 또한 가령, 웨이퍼와 rf 안테나의 오정렬 때문에, 더욱 균일한 처리 속도가 된다면, 수동 안테나는 rf 안테나의 rf 필드 분포의 대칭성을 감소시키는데 사용될 수도 있다. 또한 수동 안테나는 플라즈마 챔버 내부의 rf 필드 분포를 변경하는데 사용될 수 있어서, 전자기장 분포에 대한 플라즈마 처리 챔버의 구성요소의 임의의 효과를 방해하게 되고, 결과적으로 웨이퍼의 전역에 걸쳐 플라즈마 처리에서 균일성을 향상하게 된다.

[0060] 도 2, 도 4, 및 도 7에서, 수동 안테나는 rf 안테나 자기장의 자속을 링크함으로써 rf 안테나에 유도적으로 결합된다. 수동 안테나는 자체 전원을 필요로 하지 않는다. 대안적 실시형태에서, 하나의 수동 안테나 또는 모든 수동 안테나는 rf 안테나와 전기적으로 접촉하도록 배치될 수 있다. 그러나, 안테나는 유도된 rf 전류(구동된 rf 전류가 아님)만이 흐르게 될 때 수동 안테나가 된다. 수동 안테나는 rf 안테나와 동일한 전압에서 유지될 것이다.

[0061] 따라서, 본 발명은 수동 안테나를 적절히 배치 및 정형하여 이용하고, rf 필드 분포를 변경함으로써, 웨이퍼에서 처리 균일성을 증가시키도록 플라즈마 처리 장치내의 rf 전자기장 분포를 미세 조정 또는 트리밍하는 방법을 제공한다.

[0062] 앞선 논의에서, 형상, 크기 및 만들어질 필요가 있는 rf 필드 분포로의 변경 특성, 그리고 수동 안테나가 위치할 수 있는 플라즈마 처리 장치 내의 가용 공간 등과 같은 실제적인 문제를 포함하는 많은 요인에 의존하게 되는 수동 안테나를 구현하는 많은 방법이 있다. rf 안테나에 대한 수동 안테나의 위치는 또한 rf 안테나에 대한 수동 안테나의 배향과 같이 한 요인이 될 것이다.

[0063] 도 8A-J는 수동 안테나의 예시적인 대안적 실시형태를 보여준다. 수동 안테나는 낮은 저항의 전류 경로를 제공하는 전기적 도전 루프의 구조를 가짐으로써, 적절한 강도의 자기장이 수동 안테나에 링크된 rf 안테나 자속에 의하여 유도될 것이다. 도 8A-G는 대안적 수동 안테나 형상의 투시도를 보여준다. 수동 안테나는 원형 형상, 호(segmental) 형상, 초승달 형상, 달걀 형상, 또는 타원형 형상과 같은 곡선 형상을 가질 수 있다. 또한, 수동 안테나는 정사각형, 삼각형과 같은 실질적으로 다각형 형상을 가질 수 있고, 그리고 규칙적이거나 불규칙적인 다각형이 될 수 있다. 안테나는 선형 및 곡선 또는 이들의 결합으로 된 불규칙한 형상을 가질 수 있다. 도 8A-G의 수동 안테나는 실체적으로 평평한 평면 형상을 가진다. 도 8H의 수동 안테나는 덜 평평하고, '안장' 형상을 가지며, 또한 도 8I의 수동 안테나는 평평하지 않은 평면 형상을 갖는다. 도 8J에 도시된 추가 실시 형태에서, 수동 안테나는 구, 편구, 회전타원체, 장구, 입방체, 및 다수의 면을 갖는 다면체 등과 같은 3차원이 될 수 있다. 다면체들은 규칙적이거나 불규칙할 수 있고, 단단한 표면을 가질 수 있거나 혹은 내부에 개구 또는 개구들을 가질 수 있다.

[0064] 도 9는 본 발명의 안테나 배열(300)의 대안적 실시형태를 보여준다. rf 유도성 안테나(210)는 앞서 설명된 것과 대체로 동일하다. 이 배열에서, 은도금된 구리의 원형 밴드의 형태로 수동 안테나(280)가 제공되고, 이는 rf 안테나와 동축상에 위치한다. 수동 안테나는 플라즈마 처리 장치의 중심축(245)을 따라 수동 안테나의 위치가 변경될 수 있도록 지지부(500) 위에 장착된다.

[0065]

지지부는 암(502)을 포함하고, 이는 지지체(504) 내부의 개구를 통과하고, 암은 축(245)을 따라 활주할 수 있다. 암의 제 1 단부는 핸들(506)을 가지며, 암의 제 2 단부는 방사상으로 연장되는 장착 요소(508)를 가지며, 장착 요소(508)에 의하여 수동 안테나(280)는 지지부에 부착된다. 장착 요소는 방위 대칭성을 가지고 제공될 수 있다. 지지부는 비전기적으로 도전될 수 있고, 추가로 실질적으로 어떠한 전기장 또는 자기장 비대칭도 일으키지 않도록 구성될 수 있다. 지지부는 유도성 안테나와 동축인 수동 안테나를 유지하고, 지지부의 핸들(506)은 축(245)을 따라 수동 안테나의 위치를 변경하도록 동작될 수 있다.

[0066]

rf 안테나에 의해 발생된 자기장의 자계선은 도시된 전류 분포에서 rf 사이클의 한 순간에 대해 도시된다. 수동 안테나는 rf 안테나 자기장의 자속을 링크하고, 렌즈의 법칙에 따라, 전류는 수동 안테나(280)에서 유도되며, 이때 수동 안테나(280)는 수동 안테나의 영역 내부에서 rf 안테나 필드와 반대의 자기장(일부가 점선으로 도시됨)을 발생한다. 따라서, 중심으로 향하는 플라즈마 영역(252)내의 자기장 세기는 감소된다. 그러나, 도 9에 도시된 바와 같이 수동 안테나 자기장은 수동 안테나 외부의 자기장을 증가시키도록 작용한다. 따라서, 둘레 주위의 플라즈마 영역(252)에서 자기장 세기는 증가된다. 그러므로, 원형의 수동 안테나를 원형의 rf 안테나와 동축으로 위치시키는 것은, 플라즈마 챔버 내부 및 플라즈마 발생 영역(252)에서 rf 필드 분포의 방사상 분포를 변경한다. 따라서, 방사상 rf 필드 분포는 플라즈마 발생 챔버 내에서 변경될 수 있어서, 아르곤 및 염소와 같은 서로 다른 에센트를 사용하여 플라즈마 처리 장치를 최적화하도록 자기장을 조정하게 된다.

[0067]

서로 다른 직경의 수동 안테나는 플라즈마 발생 영역에서 전자기장의 방사상 분포를 변경할 것이다. 또한 수동 루프를 중심축(245)을 따라 움직이면, rf 필드 분포를 변경시킬 것이다. 수동 코일을 rf 안테나 및 플라즈마 영역으로부터 떨어진 위치(282)로(도 9에서 도시된 바와 같이 상향) 움직이면, 링크된 rf 안테나 자속의 양을 바꿀 것이고 또한 수동 안테나 필드가 챔버내 rf 필드 분포로의 기여를 감소시킬 것이다. 또한, 수동 코일을 플라즈마 영역(252) 방향으로 위치(284)에 이동시키면, rf 자속 결합을 변경시킬 것이지만, 수동 안테나와 챔버 사이의 거리를 감소시키게 되어, rf 필드 분포에 대한 수동 안테나 필드의 효과를 증가시킨다.

[0068]

대안적 실시형태에서, 수동 안테나(286)는 rf 안테나 외부에 있고, 플라즈마 영역에서 전자기장의 방사상 분포를 변화시키도록 rf 안테나를 둘러싸게 된다. 원형 rf 안테나가 도 9에 도시되어 있지만, 안테나 배열은 나선형 안테나 또는 반구형 나선형 안테나와 같은 다른 형태의 rf 안테나를 포함할 수 있다. 다른 실시형태에서, 수동 안테나는 rf 안테나와 비동축으로 놓일 수 있고, rf 안테나와 동일한 형상이 되거나 되지 않을 수도 있다. 도 9에 주어진 예시적인 실시형태에서, 수동 안테나를 rf 안테나 축을 따라 이동시키는 것은, 실질적으로 rf 필드 분포의 방사상 성분이 변경됨을 의미한다. 다른 rf 안테나 및 수동 안테나 구조에 대하여, 그리고 수동 안테나 및 rf 안테나의 서로 다른 상대적 움직임에 대하여, rf 필드 분포의 다른 성분들은 처리의 미세한 조정을 증가시키거나 처리의 균일성을 증가시키도록 요구되는 바와 같이 더 큰 범위로 혹은 더 작은 범위로 변경될 것이다.

[0069]

도 10은 본 발명의 안테나 배열의 추가 실시형태(320)에 대한 개략적 투시도를 보여준다. 이 실시형태에서, 수동 안테나(330)는 rf 안테나(210)를 둘러싸고, rf 안테나의 rf 공급부를 제외한 rf 안테나의 길이 대부분을 따라 연장되는 차폐 형태로 제공된다. 대안적 실시형태에서, 수동 안테나는 rf 안테나의 rf 공급부를 또한 둘러싼다. 이는 안테나의 rf 공급부가 rf 안테나의 rf 필드에서 비대칭의 주된 원인이 되는 경우에 유리하다. 수동 안테나(330)는 실질적으로 고리형상을 갖는다. 수동 안테나는 적절히 형상화된 은도금된 구리의 시트(sheet) 형태로 만들어진다. 수동 안테나에는 하나 이상의 캡이 제공되어야 하며, 이는 길이 전체를 따라 rf 안테나를 둘러싸고 있는 차폐 수동 안테나가, 안테나의 rf 자기장을 완전히 포함하기 때문이며, rf 자기장이 플라즈마 발생 영역에 도달하지 못하도록 한다. 아래에서 상세히 설명될 예정이지만, 수동 안테나의 단면 형상은 rf 안테나가 대칭성이 없는 경우에 발생할 수 있는 자기장의 자계선과 같은 형상이다. 수동 안테나의 표면은, rf 안테나 필드의 원하는 대칭 부분과 평행하게 된다. 도 10에 주어진 수동 안테나의 실시형태(320)는 rf 안테나 자기장이 빠져나가는 공급 위치 및 캡을 요구하는 제약 중에서, rf 안테나 필드에서 일부 비대칭을 최대로 차단하는데 유리하다.

[0070]

또한, 수동 안테나(330)는 어느 정도 패러데이 차폐로서 작용한다. rf 안테나와 원도우 사이에 위치한 수동 안테나의 표면의 일부분은, 실제로 고리형상의 패러데이 차폐를 제공하고, rf 안테나와 플라즈마 사이의 용량성 결합을 감소시킨다(비록 플라즈마 챔버내에 rf 필드 분포의 용량성 성분이 여전히 존재하더라도). 그러나, 차폐 수동 안테나(330)는 원하지 않는 비대칭 부분을 유도 필드로부터 제거함으로써 rf 필드 분포를 변경하도록 구성된다. 대조적으로, 종래의 패러데이 차폐는 rf 필드의 유도성 부분을 변경없이 통과하도록 구성된다.

[0071]

도 11은 본 발명의 안테나 배열의 추가 실시형태(340)의 개략적 투시도를 보여준다. 이 실시형태에서,

수동 안테나(350)는 rf 안테나의 공급부에 직경 일부분에 rf 안테나(210)를 둘러싸는 차폐 형태로 제공된다. 수동 안테나는 은도금된 구리의 적절히 형상화된 시트로 만들어진다. 수동 안테나는 비대칭 부분을 차단하도록 rf 안테나 필드의 대칭 부분의 자계선에 평행한 단면 형상을 갖는다. rf 안테나의 공급부가 rf 안테나 자기장 패턴의 비대칭의 주된 원인이 되는 것으로 생각되기 때문에, 수동 차폐 안테나는 공급부와 rf 안테나에 대해 직경적으로 반대 위치에 놓일 수 있다.

[0072] 수동 안테나의 차폐 양태의 원리는 도 12a 내지 도 12c 및 도 13을 참조로 이제 설명될 것이다. 도 12a 내지 도 12c는 rf 안테나(210)의 단면도를 보여준다. 도 12a는 완전히 대칭인 rf 안테나에 대한 rf 사이클의 한 순간에서 자계선(342)을 보여준다. 도 12b는 비대칭인 rf 안테나에 대한 rf 사이클의 한 순간에서 자계선(344)을 보여주며, 비대칭 rf 안테나에서는 필드 패턴의 비대칭 부분을 나타내는 돌출부(346)가 도 12a에 도시된 완전한 필드 패턴에 추가되어 있다. 도 12c는 대칭적인 rf 안테나 필드 패턴과 동일한 단면 형상을 갖는 차폐 수동 안테나(360)를 보여준다. 수동 안테나의 표면은 돌출부를 제외한 모든 위치에서 자기장의 자계선(344)에 평행하다.

[0073] 돌출부(362)내의 모든 자기장 부분은, 대칭 자계선(342)에 평행한 성분(364) 및 대칭 자계선(342)에 수직인 부분(366)으로 분해될 수 있다. 수동 안테나 표면이 대칭 필드에 평행할 때, 수동 안테나 표면은 대칭 필드에 평행한 성분에 평행한 모든 위치에 있게 될 것이고, 모든 위치에서 어떤 수직 성분에 대해 직교인 표면을 제공한다. 도 13에서, 수동 안테나 상의 위치(368)에서, 수직 성분은, 렌즈의 법칙에 따라, 수동 안테나의 표면 전류(370)를 유도하고, 이는 수직 성분을 소멸시키도록 자기장(372)을 발생한다. 따라서, 수동 안테나(360)는 rf 안테나의 자기장과 유도적으로 결합하고, 수동 안테나 표면 위의 모든 곳에서 rf 안테나 필드의 비대칭 부분을 소멸시키는 표면 전류가 유도된다. 따라서, rf 안테나 필드의 대칭성은 증가되고, 따라서 플라즈마 발생 영역내의 전자기장의 대칭성을 증가시키게 된다.

[0074] 도 14 내지 도 17은 유도적으로 결합된 수동 안테나의 차폐에 대한 다른 실시형태를 보여준다. 도 14에 도시된 수동 안테나(380)는 제 1 캡(381) 및 제 2 캡(383)을 갖는 은도금된 구리로 만들어진 실질적으로 원형의 고리형상의 판 형태이다. 이 판의 고리형상 부분의 폭은 고리형상 판의 내부 직경의 반지름보다 작다. 두 개의 캡을 사용하면 수동 안테나의 패러데이 차폐 양태의 효과를 증가시킨다. 단일 캡의 경우에 비하여, 두 개의 캡은 고리형상 차폐의 인접한 단부들 사이의 전위차를 줄이게 된다. 두 개 이상의 캡이 사용될 수 있다. rf 안테나 필드의 원치않는 비대칭 부분을 제거하도록, 표면 전류가 유도되도록 함으로써, 수동 안테나의 형태는 rf 필드 분포의 유도성 부분을 변경하도록 구성된다. 실제 사용시, 이러한 차폐 안테나는 rf 안테나와 동심원으로, rf 안테나 위로 또는 아래로 위치할 것이다. 수동 안테나가 rf 안테나와 플라즈마 사이에 적어도 부분적으로 배치되지 않는다면 어떤 패러데이 차폐 효과도 제공하지 않을 것이다. 이러한 수동 안테나는, 그 표면에 수직한 rf 안테나 자기장의 비대칭 성분을 차단할 수 있다. 외견상으로 종래의 패러데이 차폐와 유사하게 보이지만, 수동 안테나(380)는, 표면 전류가 안테나 표면에서 유도되어 rf 안테나 필드의 원치않는 유도성 부분을 소멸시키는 전류 경로를 발생하도록 구성될 수 있는 점에서 구별된다. 반대로, 패러데이 차폐는 특히 rf 필드의 유도성 부분을 변화시키지 않고 통과하도록 구성된다.

[0075] 도 15는 rf 안테나 필드의 원치않는 유도 부분을 측면 및 하부로부터 차폐하기 위하여 고리 형상의, 3개의 측면의 직사각형 흄(trough) 형태로 수동 안테나(382)를 보여준다. 매칭에 필요한 rf 안테나 자기장 패턴의 형상에 따른 적절한 형태로 굽은 흄, 예를 들면, U 또는 C 형상의 단면을 갖는 것을 또한 사용할 수 있다. 또한 패러데이 차폐 성능을 향상시키도록 하나 이상의 캡이 수동 안테나 내부에 형성될 수 있다. 차폐 수동 안테나의 다른 실시형태는 실제 응용시 가능한 많은 캡과 함께, 차폐물의 내벽, 외벽, 상부 벽 또는 측벽, 또는 이들의 조합을 포함하여, 그 응용시에 적절한 갯수의 캡을 가질 수 있다.

[0076] 도 16은 안테나 배열의 추가적인 대안 실시형태(384)를 보여준다. 이 실시형태에서, rf 유도성 안테나(386)는 rf 공급 포인트(388)를 갖는 단순한 와이어 루프로서 도시된다. rf 공급 및 임의의 다른 방위 대칭성 도입 수단이 없는 경우에, 와이어 루프는 폴로이달(polloidal) 자기장 패턴을 가질 것이다. 수동 안테나(390)는 6개의 금속의, 굽은 원통형 섹션 형태로 제공되며, 각각은 rf 안테나 섹션을 포함한다. 이 섹션은 각각 방사상으로 연장되는 금속 림(1imb)(391)을 가지며, 금속 림에 의해 섹션들은 중앙 허브(392)에 접속된다. 이는 수동 안테나(390)의 패러데이 차폐 효과를 향상시킨다. 각 섹션은 거의 동일한 길이를 가지며 또한 섹션들 사이의 간격도 거의 동일하다. 따라서, 각 섹션 및 캡은 대략 30° 각도로 연장되고, 섹션들은 rf 안테나 주위에 등각으로 규칙적으로 이격되어 있다. 이러한 방식으로 수동 안테나는 가능한 방위 대칭적으로 만들어지며, 따라서 수동 안테나에 의해 임의의 방위 비대칭성을 줄이도록 한다. 또한, 실질적으로, rf 안테나의 길이 전체를 따라 수동 안테나를 제공하면, 플라즈마 영역 내에서 방위 대칭성에서 큰 규모의 비대칭을 줄이게 되고, 반면 플라즈마

의 작은 규모의 확산은 플라즈마 자체의 전체적 방위 대칭성을 증가시키도록 돋는다. 섹션의 미세한 규모의 위치 조정은 완전히 방위 대칭이 될 수도 없기 때문에, 안테나 공급의 위치 효과를 방해하게 된다. 추가로, 또 다른 실시형태에서 캡이 없는 하나의 섹션이 안테나 공급의 위치에 직경적으로 반대되도록 훌수개의 섹션이 있을 수도 있다.

[0077] 차폐 수동 안테나(390)의 각 섹션은 어느 정도 rf 안테나가 발생하는 자기장에 대해 섭동(perturbation)으로 작용한다. 차폐용 안테나 섹션의 섭동 효과는, 각 섹션의 단부 가장자리의 단면 형상을, 수동 안테나가 없는 경우 섹션들 사이의 캡 영역에서 rf 안테나 자기장의 자계선이 가질 때와 동일하게 함으로써 감소될 수 있다. 예를 들어, 차폐용 안테나(390)가 없는 경우, 원형 rf 안테나에 대한 자연스런 대칭형 자기장은, 와이어 루프 rf 안테나(386)의 와이어에 수직한 평면에서 원형 단면을 갖는 폴로이달 필드가 될 것이다. 따라서 차폐용 안테나 섹션의 섭동 효과는 섹션의 각 단부(389)의 가장자리(387)의 단면 형상을 원형으로 만듦으로써 또한 감소될 수 있다. 이는 수동 안테나에서 차폐용 섹션과 캡 사이의 전이를 원활하게 하도록 한다.

[0078] 도 16의 수동 안테나 섹션의 단면이, 각 섹션의 길이를 따라 동일하게 보이지만, 수동 안테나의 단면 형상은 rf 안테나의 길이를 따라 변화할 수 있다. 그러나, 수동 안테나 단부의 가장자리의 단면 형상을, 수동 안테나가 없는 경우에 rf 안테나 자기장이 가질 수 있는 자계선과 동일하게 함으로써, rf 필드 분포에서 수동 안테나의 섭동 효과를 줄이도록 돋는다.

[0079] 도 17은 차폐 수동 안테나(392)의 가장 단순한 실시형태를 보여준다. 이 실시형태에서, 수동 안테나는 은도금된 구리의 실질적으로 평면의, 직사각형 시트의 형태로 제공된다. 시트는 표면 전류 경로(394)를 제공하고, 시트가 rf 안테나에 인접하게 위치할 때, 시트는 rf 안테나 필드에 유도적으로 결합될 수 있고, 소멸 필드가 생성되는 것에 의해, rf 안테나 필드의 비대칭 부분을 감소시키고, 처리 균일성을 증가시키도록 플라즈마 챔버내의 rf 필드 분포를 변경시킨다.

[0080] 도 18은 도 2에 도시된 것과 유사하며 추가로 전자석 배열(510)을 갖는 플라즈마 처리 장치(500)의 개략적 단면도를 보여준다. 전자석 배열은 플라즈마 챔버와 동심을 이루는 제 1 외부 원형 코일(514) 및 제 2 내부 원형 코일(516)을 포함한다. 각 코일은 DC 전류를 각 코일에 공급하고 각 코일에서 반대 방향으로 전류를 보내는 DC 전원(520)의 가변 서플라이에 접속된다. 플라즈마 처리 장치(500)는 또한 자기 버킷(magnetic bucket) 배열(522)을 또한 포함하고, 이 배열(522)은 플라즈마 처리 챔버의 둘레 주위에서 축상으로 방향이 정해진 다수의 영구 자석을 포함한다. 자기 버킷 배열은 영구 DC 자기장은 플라즈마 전류 밀도 기울기를 웨이퍼(206)로부터 떨어져서 유지하면서 동시에 웨이퍼(206)에서 매우 작은 자기장을 유지하는 영구 DC 자기장을 제공하도록 구성된다. 자기장 버킷 배열은 플라즈마 처리 챔버의 벽으로의 플라즈마 손실을 감소하도록 한다. 한 실시형태에서, 자기 버킷 배열은, 챔버 주위로 교변하는 방사상 자화 인자들(가령, N,S,N,S 등)을 갖는 32개의 영구 자석 첨두(cusps)를 포함한다. 그러나, 첨두의 실제 수는 각 플라즈마 처리 시스템의 특정 설계에 따라 바뀔 수도 있다.

[0081] 전자기 코일 배열은 플라즈마 처리 챔버내의 원도우(212)에 가까운 영역에서 제어 가능한 방사 변화를 갖는 DC 자기장을 제공하도록 구성된다. DC 자기장 내에서의 방사상 변화는 코일들 중 하나 이상에서 흐르는 하나 이상의 DC 전류를 변화시킴으로써 이루어진다. DC 자기장내의 방사상 변화는 웨이퍼(206)의 전역을 통해 처리 균일성에 영향을 주는데 효과적이다. DC 자기장은 일정하거나 혹은 처리에서의 변화에 부합하도록 시간에 따라 서서히 변할 수 있다. 전자석 배열, 자기 버킷 배열 및 이들의 다른 실시형태는 Bailey III 등에 의해 2002년 1월 29일 발행된 미국 특허 제 6,341,574 "Plasma Processing System"에 상술되어 있으며, 그 내용은 본원에서 참고로 인용된다.

[0082] 코일 배열 및 버킷 배열(함께 또는 독립적으로)에 의하여 제공된 DC 자기장 분포는 플라즈마 종(plasma species)의 수평 확산을 막도록 돋고, 따라서 플라즈마를 제한하면서 플라즈마 종을 조준하도록 도움으로써 웨이퍼 표면을 향해 플라즈마의 전송을 개선한다. DC 필드가 없는 경우, 수평 플라즈마의 확산은 플라즈마가 웨이퍼에 도달하는 시간까지, 플라즈마 발생 영역에서 비대칭을 줄이거나 없애는 경향이 있다. DC 자기장이 플라즈마 구조와 유사한 구조에서 플라즈마 종을 웨이퍼 표면에 보유하도록 도울 때, 플라즈마 분포에서의 임의의 불균일성은 웨이퍼 표면에서 더욱 분명해질 것이다. 따라서 플라즈마 분포에서 임의의 비대칭성의 예상 균일성에 대한 효과는 DC 전자석 배열(510) 또는 버킷 배열(522) 혹은 이들 둘다에 의해 제공되는 DC 자기장을 이용하여 웨이퍼 표면에서 향상된다. 그러나, 수동 안테나를 이용하여, 플라즈마 분포에서의 비대칭성은 감소될 수 있고, 따라서 플라즈마 종류를 웨이퍼 표면으로의 전송을 증가시키기 위하여 DC 자기장을 이용하는 장점은, 예상 균일성을 크게 줄이지 않고서 구현될 수 있다. rf 안테나 비대칭이 웨이퍼에 대해 미치는 효과는 DC 자기장이 존재할 때 더욱 커지기 때문에, 수동 안테나를 사용하여 비대칭을 제거하는 장점은 DC 자기장이 존재할 때 더욱 커

질 수 있다.

[0083] 또 다른 관점에서, DC 자기장의 플라즈마 종류 조준 효과가 없는 경우, 수평 플라즈마 종류의 확산은 웨이퍼 표면 상에서 애칭의 균일성을 증가시킬 수 있다. DC 자기장에 의한 수평 확산의 감소는, 수동 안테나에 의해 야기된 플라즈마의 향상된 균일성보다 유용하게 웨이퍼 표면으로 전파되어, 균일한 애칭을 제공하는 것을 의미한다. 따라서 영구 버킷 자석 및/또는 전자식 배열에 의해 제공되는 일정한, 또는 시간에 따라 느리게 변하는 DC 자기장을 이용하게 되면, 달성할 수 있는 애칭 균일성에 대한 수동 안테나의 효과를 향상시키게 된다.

[0084] 도 19는 플라즈마 챔버에서 제공되는 rf 필드 분포를 조정하는 방법을 도시한 흐름도(600)를 보여준다. 일반적으로 이 방법의 개시에서(610), 제 1 단계는 rf 안테나로부터 야기되는 rf 필드 분포를 결정한다(620). 제 2 단계에서, 수동 안테나가 rf 안테나에 추가되고(630), rf 안테나에 유도적으로 결합된다. 이후 단계(640)에서는 수동 안테나와 rf 안테나 사이의 상호작용의 결과로 발생하는 변경된 rf 필드 분포가 결정된다. rf 필드 분포가 처리의 균일성을 증가시키고, 그 결과 소정의 기준을 만족시키도록 결정되면(650), 이 방법은 단계(600)에서 종료될 수 있다.

[0085] 대안으로, 수동 안테나의 변경이 단계(650)에서 처리 균일성을 증가시키지 못하거나 기준을 충족시키지 않다고 판단되는 경우, 분기 단계(635)에서, 수동 안테나에는 추가로 수동 안테나 또는 안테나들을 추가함으로써 수동 안테나가 추가될 수 있고(630), 또는 원래의 수동 안테나가 다른 수동 안테나로 대체될 수 있고, 또는 rf 안테나에 대해 본래의 수동 안테나의 위치를 재설정함으로써 본래의 수동 안테나가 재구성될 수 있다. 새로 변경된 rf 필드 분포는 이후 재결정되고(640), 처리 균일성에서의 증가가 재결정된다(650). 수동 안테나를 추가하고 rf 필드 분포를 재결정하는 단계는, 선택된 처리 균일성 계량값(metric) 또는 임계값(threshold)이 달성될 때까지 필요한 만큼 반복될 수 있다.

[0086] 이 조정 방법(600)의 대안적 실시형태가 이제 상세히 설명될 것이다.

[0087] 일 실시형태에서, 이 조정 방법은 계산을 필요로 할 수 있고, 플라즈마 챔버내의 플라즈마 발생 영역에서 rf 안테나 및 수동 안테나에 의해 발생된 rf 필드의 대칭을 증가시키도록 행해질 수 있거나, 그렇지 않으면 플라즈마 처리 장치에서 rf 필드 분포를 변경시키도록 처리 균일성을 증가시키기 위하여 행해질 수 있다. rf 필드 분포는 컴퓨터 및 적절한 전자기장 모형 소프트웨어를 이용하여 수행될 수 있다. 상업적으로 이용가능한 소프트웨어 패키지의 예로서 Ansoft Corp.에 의해 제공되는 Maxwell 3d가 있다. rf 안테나의 형상 및 경계 조건이 주어질 경우, 안테나 주위의 공간에서 벡터 rf 필드의 다양한 성분들이 계산될 수 있다. 안테나의 형상을 변경될 수 있고, 다양한 수동 안테나가 계산에 추가됨으로써 아킬을 방지하기 위한 최소 안테나 부분 분리와 같은 어떤 제한에 있어서 가장 균일한 결과의 rf 필드를 획득하도록 최적화할 수 있다.

[0088] 도 20a 내지 도 20c에 도시된 바와 같이 실제 rf 안테나(700)는 완전하게 대칭성을 갖는 rf 안테나(710) 및 rf 안테나 공급부 및 교차 부분을 나타내는 섭동 부분(720)으로 개념화될 수 있다. 그 목적은 섭동 부분(720)이 rf 필드 분포에 기여하는 바를 줄이면서, 동시에 대칭 부분(710)에 의해 제공되는 rf 필드 분포 상의 수동 안테나의 효과를 최소화하는 것이다. 이상적인 해결책으로는, 섭동 부분(720)과 동일한 형상을 가지고, 또한 수동 안테나 내부에 흐르는 대등하면서 반대 위상을 갖는 rf 전류를 갖는 수동 안테나가 될 것이다. 그러나, 수동 안테나는 물리적 공급부 및 교차 부분과 동일한 물리적 공간을 차지할 수 없다. 초기에, 전력이 공급된 rf 안테나만에 대한 rf 공급부, 임의의 누락된 세그먼트 및 다른 비대칭 소스들에 대하여 고려하면, 수동 안테나가 없는 경우 rf 필드 분포가 계산된다.

[0089] 그러면, 하나 이상의 수동 안테나가 도입되고(630), rf 필드 분포가 다시 계산되고, 처리 균일성에 관한 영향이 평가된다(650). 다른 수동 안테나 구조가 제공될 수 있으며 또한 rf 필드 분포는 가장 대칭적이도록 계산된 rf 필드 분포를 제공하는 선호되는 수동 안테나 또는 안테나들의 구조가 이루어질 때까지 다시 계산되거나(635), rf 필드 분포가 교정을 위해 변경되어져야 할 플라즈마 처리 장치내의 처리 불균일성의 특별한 근원이 있다는 것이 알려져 있다면, 증가된 처리 균일성을 달리 제공하는 rf 필드 분포를 제공하는 선호되는 수동 안테나 구조가 이루어질 때까지 다시 계산된다. 그 후, 계산적으로 유도된 수동 안테나가 실현되어 실장될 수 있다.

[0090] 상기 방법의 또 다른 실시형태에서, rf 안테나 및 안테나들 그리고 수동 안테나 구조의 rf 필드 분포는 전자기장 측정 장치를 사용하여 측정된다. rf 안테나는 애칭 챔버내에 배치되거나, 또는 rf 테스트 스탠드내에 놓이고, 낮은 전압의 신호를 이용하여 전력이 공급된다. rf 안테나 주위의 공간에서 벡터 rf 필드 분포는, 수동 안테나가 없는 경우 rf 퍽업 프로브를 사용하여 측정되어 rf 필드 분포를 결정한다(620). 적절한 rf 퍽업 프로

브는, 단일 루프 속으로 굽은 딱딱한 동축 도체의 짧은 섹션을 포함해, 내부 도체가 외부 도체에 대해 단락된다. 하나 이상의 수동 안테나가 rf 안테나에 추가되며(630), 결과적인 rf 필드 분포는 rf 프로브를 사용하여 변경된 rf 필드 분포를 결정(640)하도록 다시 측정된다. 측정된 rf 필드 분포가, 특별한 정도의 대칭성과 같은 처리 균일성 기준 또는 기준들을 충족하도록 결정되고(650), 그렇지 않다면 다른 수동 안테나 구조가 조립되고(635), rf 필드 분포가 측정된다. rf 필드에 영향을 미치는 수동 안테나 수, 위치, 배향, 형상 및 다른 특성은, 최적화된 처리 균일성을 제공하도록 변경될 수 있다. 적절한 rf 안테나 및 수동 안테나 구조가 유도될 때, rf 안테나 및 수동 안테나는 플라즈마 에칭 장치내에 설치될 수 있고, 안테나들의 상대적 위치가 고정되며, 추가 측정이나 테스팅이 이루어지도록, 또는 플라즈마 처리가 직접 수행되도록 고정된다.

[0091] 처리 균일성 조정 방법(600)의 또 다른 실시형태에서는 rf 필드 분포를 결정하도록 워크피스 처리가 이용된다. 웨이퍼는 워크피스로 사용되고 플라즈마 처리 도구내에 위치한다. rf 안테나를 이용하여, 그리고 수동 안테나를 이용하지 않고서 에칭이 실행되고, 웨이퍼에서의 프로세스 균일성은 가령, 웨이퍼 표면 전역을 통해 에칭 속도를 측정함으로써 측정되고 정량화된다. 에칭 균일성은 플라즈마 챔버내의 rf 필드 분포에 관련되고, 따라서 rf 필드 분포의 측정은 단계(620)에 의해 결정된다. 수동 안테나는 rf 안테나에 이후 추가되고(830), 그렇지 않으며, 또 다른 워크피스 웨이퍼는 동일한 처리 아래에서 에칭되고, 처리된 웨이퍼는 측정되고 웨이퍼 표면 전역을 통한 에칭 정도가 정량화된다. rf 안테나 및 안테나들 그리고 수동 안테나의 처리 사이의 차이점은, 에칭 균일성에 대해 수동 안테나가 미치는 영향을 측정하여 얻어진다. 예를 들어, rf 안테나의 제 1 각도상 위치에서 수동 안테나는, 웨이퍼 상의 상응하는 각도상 위치에서 에칭 속도를 증가시킬 수도 있다. 수동 안테나는 다른 형상 및 크기의 수동 안테나로 대체될 수 있고, 혹은 수동 안테나의 위치나 배향이 변화될 수 있으며, 혹은 추가 수동 안테나가 추가될 수 있고(630), 새로운 웨이퍼 상에 또 다른 에칭이 수행되어 그 구조에 있어서 처리 균일성을 결정한다(640). 새로운 rf 안테나 및 수동 안테나 구조가 rf 필드 분포에 미치는 영향, 또한 처리 균일성이, 그 에칭 균일성을 rf 안테나만에 대한 경우와 비교함으로써 평가될 수 있다. 이러한 단계들은 다양한 rf 안테나 및 수동 안테나 구조에서 여러 번 반복될 수도 있다(635).

[0092] 최적의 균일성을 제공하는데 필요한 교정은, rf 안테나만에 의한 에칭 패턴과 전체적으로 균일한 에칭 패턴 사이의 차이로부터 결정될 수 있다. 이 차이를 충분히 근접하게 매칭시키는 수동 안테나 및 rf 안테나의 조합은, 지금까지 측정된 안테나 구조에 기초하여 최적의 균일성을 제공할 것이다. 수동 안테나 크기 증가나 rf 안테나로부터의 거리가, 처리 속도에 미치는 효과에 대하여 일정한 관계를 갖는 일반적인 관계가 확정되면, 적절한 수동 안테나 크기 및 위치에 대한 이성적으로 정확한 평가가 측정된 결과에 기초하여 이루어질 수 있다. 예를 들어, 수동 안테나에 의하여 둘러싸인 영역을 두 배로 늘이게 되면, 웨이퍼에서의 에칭 속도의 변화를 예측할 수 있는 방식으로 증가시킬 수 있다. rf 안테나 및 수동 안테나 구조가 수용 가능한 범위내에서 처리 균일성을 제공하도록 결정될 때, 틀은 워크피스를 적절히 처리하도록 조정되고, 이 방법은 종결된다(660). 대안으로 추가적인 반복 및 미세 조정이 최적화된 rf 안테나 및 수동 안테나 구조를 사용하여 실행될 수 있다.

[0093] 이러한 후반의 방법을 이용하여 rf 필드 분포를 조정하는 것은, 불균일성의 주된 원인이 제거된 후에, 그렇지 않으면, 동일한 처리 틀에서 불균일성의 원인을 처리하는 소스는 틀마다 다르기 때문에 매우 유용한 것으로 생각된다. 따라서 처리 균일성을 증가시키기 위하여 틀마다 각각의 에칭 처리 틀을 미세하게 조정하는 것은, 각 틀에 최적의 rf 안테나 및 수동 안테나 구조를 결정하도록 실행될 수 있다.

기재된 여러 실시형태의 많은 특징은, 다른 실시형태의 특징과 조합되고, 그것에 의해 본 발명에 따른 안테나 구성을 제공한다. 따라서, 본 발명은, 도면에서 보여지는 특정 예에 한정되지 않는다.

전술한 본 발명은 명료한 이해를 위해 어느 정도, 상세하게 기재되어 있지만, 모든 종류의 변경 및 개조가 첨부된 특허청구범위 내에서 실시될 수 있는 것은 명백하다. 따라서, 기재된 실시형태는, 예시적이며, 한정적으로 해석되어서는 않되고, 본 발명은, 여기에 서술한 상세에 제한되지 않고, 첨부된 특허청구범위 및 그 전체 범위의 등가물에 의해서만 한정된다.

도면의 간단한 설명

[0019] 본 발명은, 본 발명의 추가적인 장점들과 함께, 첨부 도면들에 관련하여 취해진 다음 설명들을 참조하여 최선적으로 이해될 수도 있다.

도 1은 종래 기술의 rf 유도성 안테나를 포함하는 플라즈마 처리 장치의 개략적 단면도를 보여준다.

도 2는 도 1의 단면도와 유사하고 본 발명의 안테나 배열을 갖는 플라즈마 처리 장치의 개략적 단면도

를 보여준다.

[0021] 도 3은 rf 유도성 안테나에 대한 전류 경로를 도시한 개략적 회로도를 보여준다.

[0022] 도 4는 도 2의 안테나 배열의 개략도를 보여준다.

[0023] 도 5는 전자기장 분포에서 비대칭의 에칭 속도 균일성에 대한 효과를 도시한 등고선 플롯(contour plot)을 보여준다.

[0024] 도 6은 도 2 및 도 4에 도시된 안테나 배열로 인한 향상된 에칭 속도 균일성을 도시한 등고선 플롯을 보여준다.

[0025] 도 7은 도 2 및 도 4의 안테나 배열의 개략적 단면도를 보여주며, rf 사이클의 일 순간에서 수동 안테나의 자기장 패턴에 대한 효과를 보여준다.

[0026] 도 8A-J는 안테나 배열의 수동 안테나의 예시적 교번 형태를 보여준다.

[0027] 도 9는 플라즈마 영역에서 전자기장의 방사상 분포를 변경하기 위하여 안테나 배열의 실시형태에 대한 개략적 단면도를 보여준다.

[0028] 도 10은 차폐 수동 안테나를 포함하는 안테나 배열의 실시형태의 개략적 투시도를 보여준다.

[0029] 도 11은 차폐 수동 안테나를 포함하는 안테나 배열의 다른 실시형태에 대한 개략적 투시도를 보여준다.

[0030] 도 12a, 도 12b, 및 도 12c는 rf 안테나의 개략적인 단면을 도시하는데, 각각, 대칭형 자기장 패턴, 비대칭형 자기장 패턴 및 수동 안테나 차폐를 갖는 rf 안테나를 보여준다.

[0031] 도 13은 수동 안테나의 효과를 도시한 도 12c에 도시된 안테나 배열의 투시도를 보여준다.

[0032] 도 14는 수동 안테나의 대안적 실시형태의 개략적 투시도를 보여준다.

[0033] 도 15는 수동 안테나의 다른 대안적 실시형태의 개략적 투시도를 보여준다.

[0034] 도 16은 수동 안테나의 또다른 대안적 실시형태의 개략적 투시도를 보여준다.

[0035] 도 17은 수동 안테나의 또다른 대안적 실시형태의 개략적 투시도를 보여준다.

[0036] 도 18은 도 2의 단면도와 유사하며, 본 발명에 따라 변경된 안테나 배열의 추가 실시형태를 포함하는 플라즈마 처리 장치의 개략적 단면도를 보여준다.

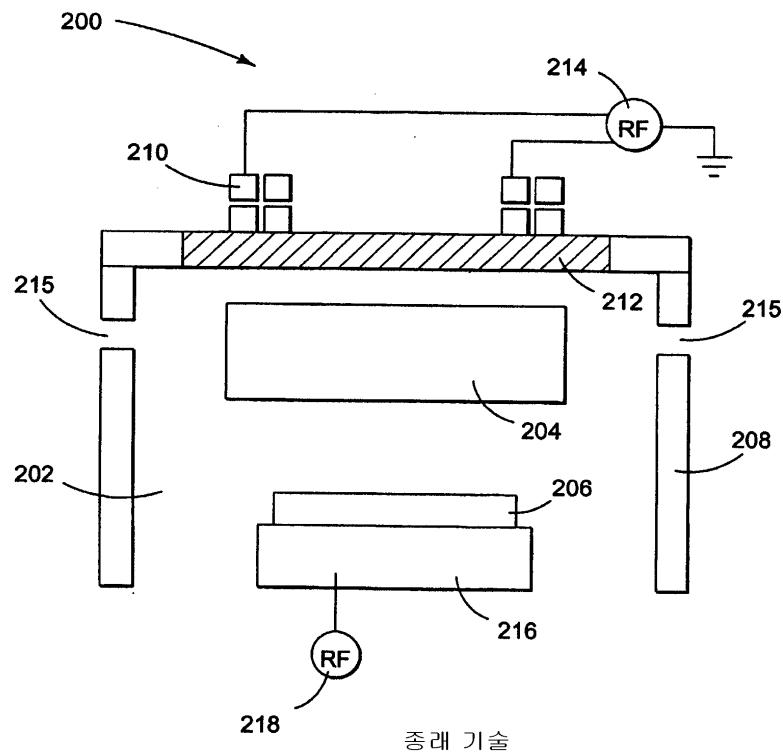
[0037] 도 19는 본 발명에 따라 rf 전자기장 분포 조정 방법을 도시하는 흐름도를 보여준다.

[0038] 도 20a, 도 20b 및 도 20c는 대칭 및 비대칭 rf 필드의 소스를 도시한 rf 안테나의 개념적 부분을 보여준다.

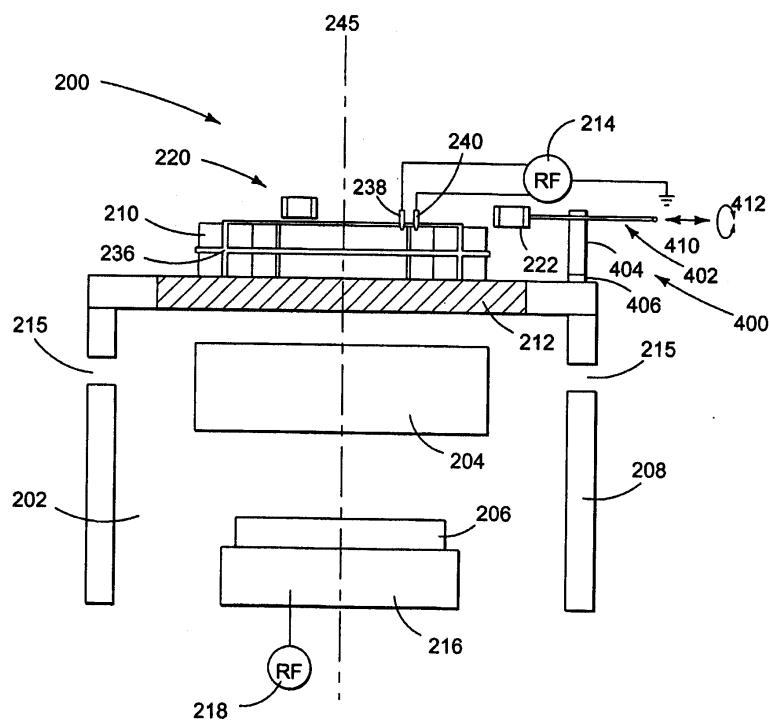
도면에서, 동일한 참조 번호는 동일한 구성요소 및 성분을 나타낸다.

도면

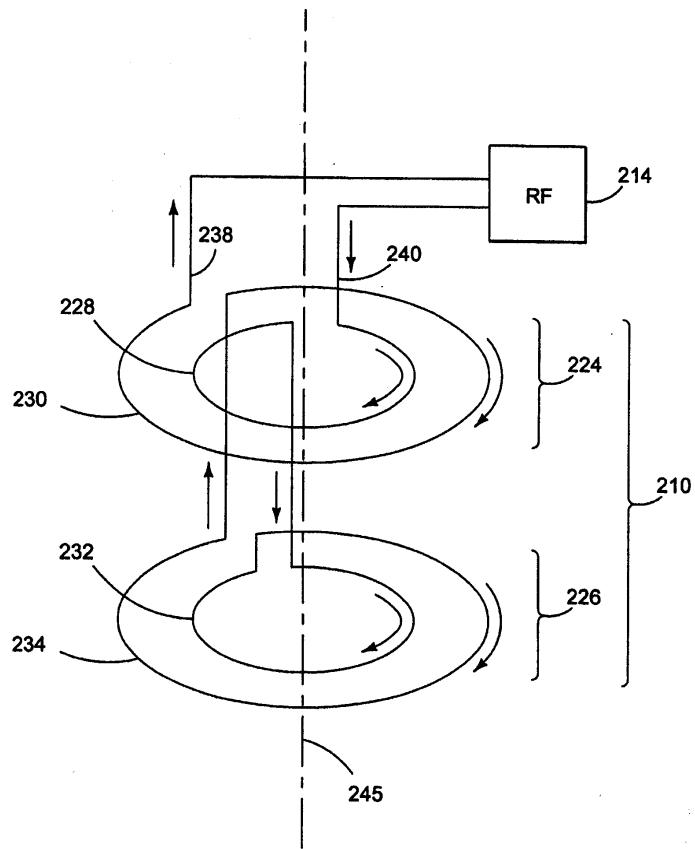
도면1



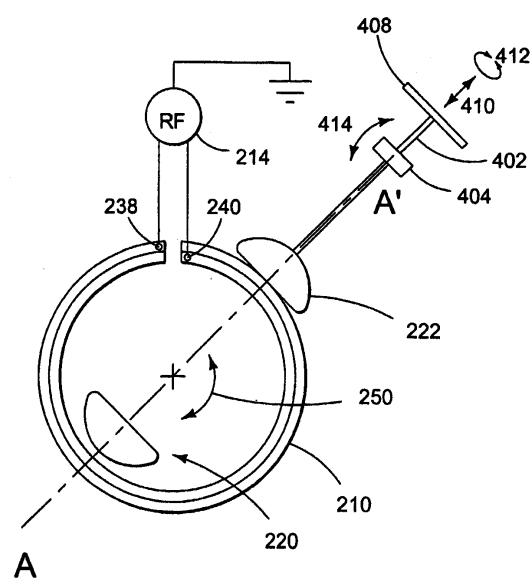
도면2



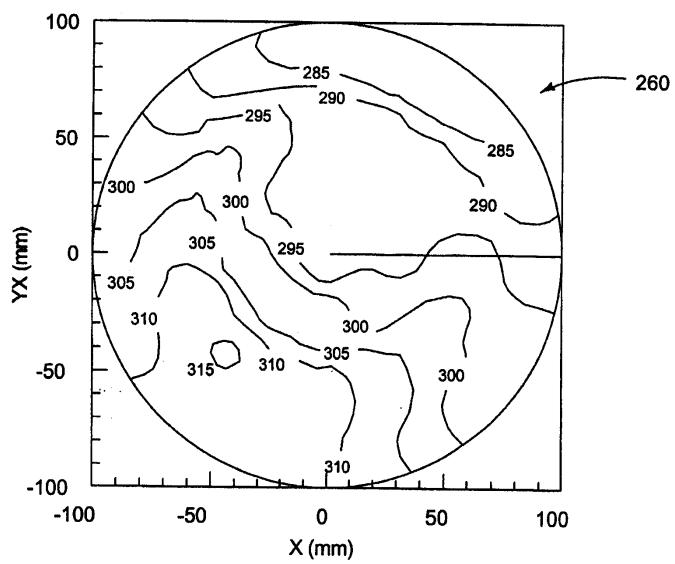
도면3



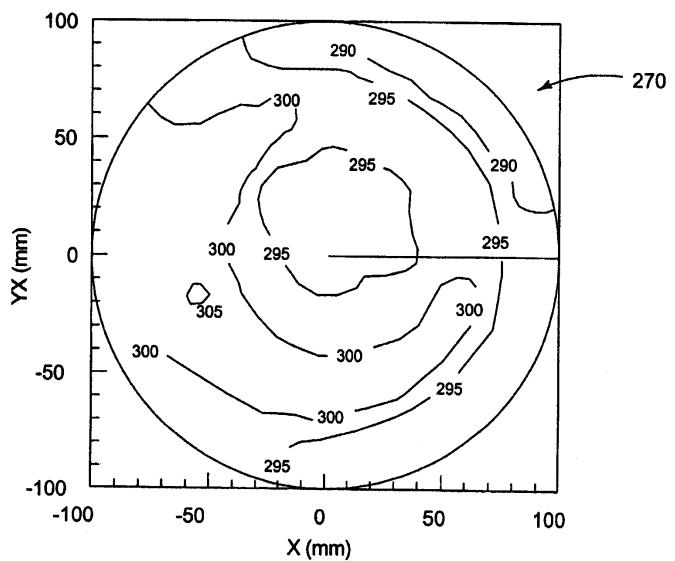
도면4



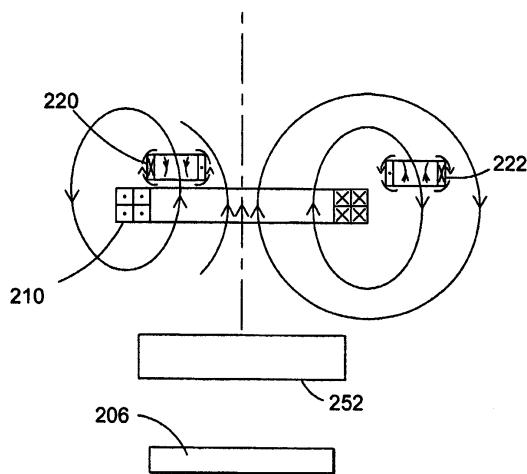
도면5



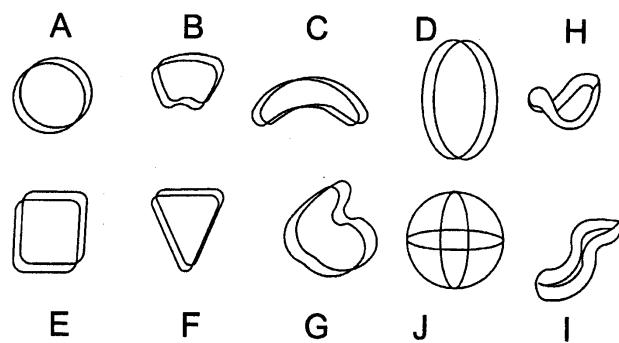
도면6



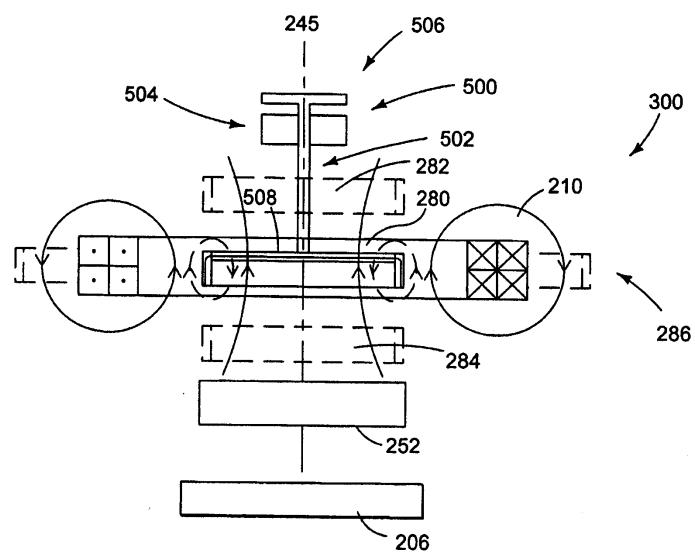
도면7



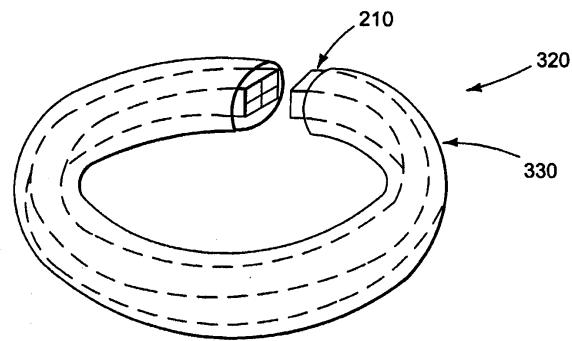
도면8



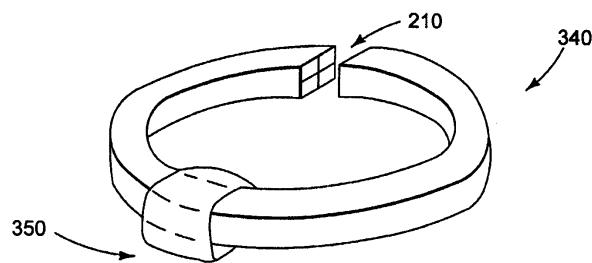
도면9



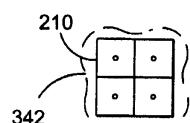
도면10



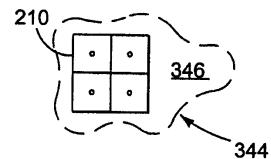
도면11



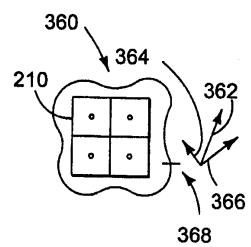
도면12a



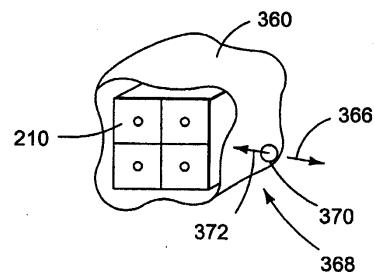
도면12b



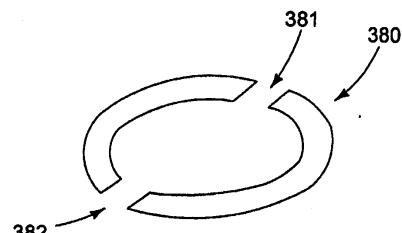
도면12c



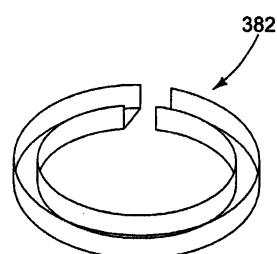
도면13



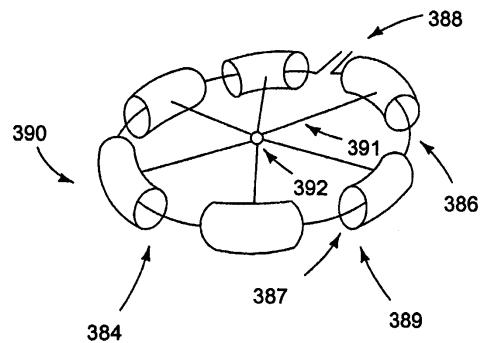
도면14



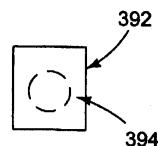
도면15



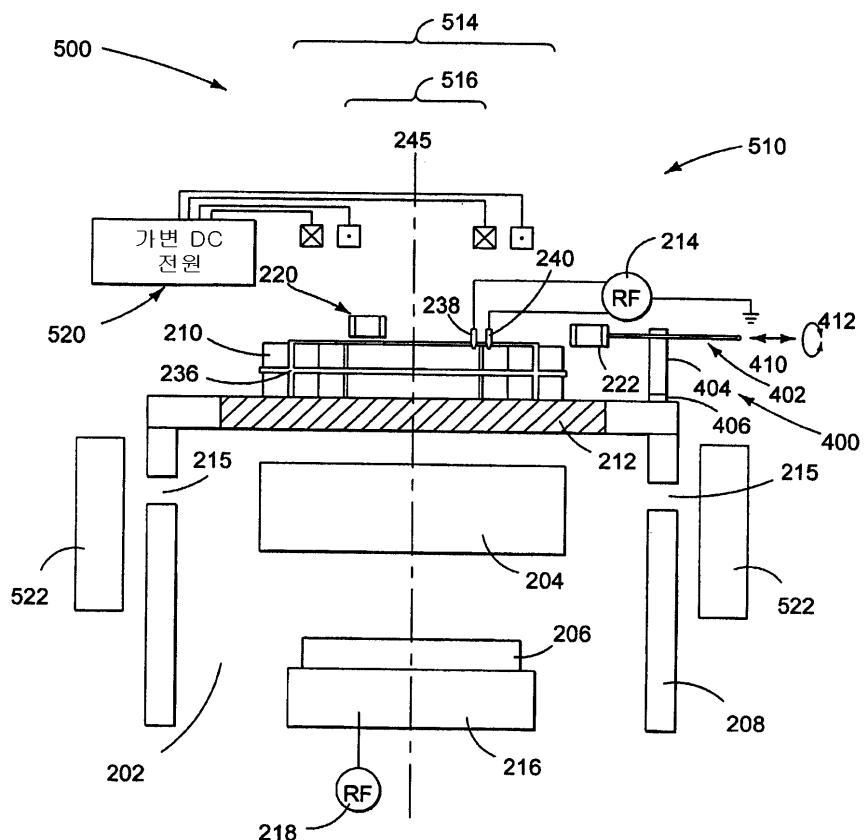
도면16



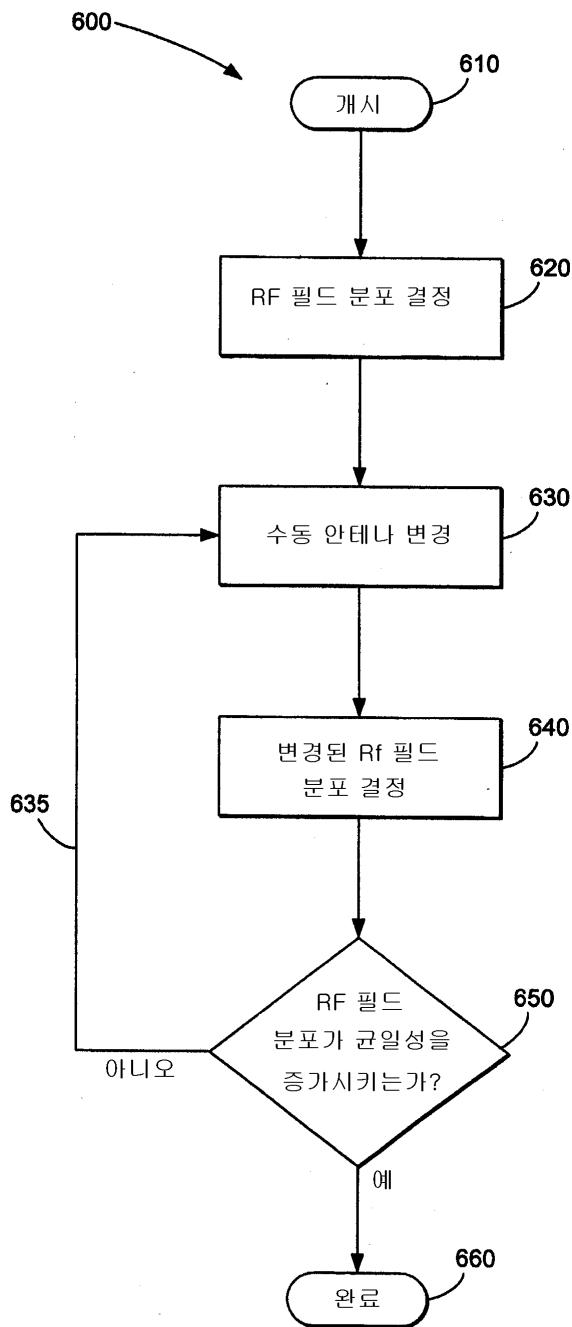
도면17



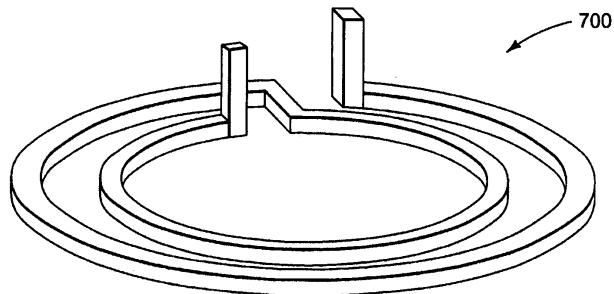
도면18



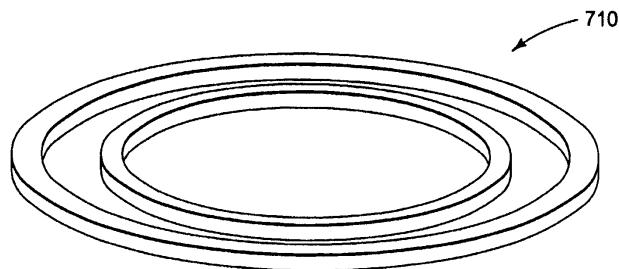
도면19



도면20a



도면20b



도면20c

