



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년06월15일
(11) 등록번호 10-2544625
(24) 등록일자 2023년06월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01R 15/18 (2006.01) G01R 35/04 (2006.01)
H01J 37/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01R 15/18 (2013.01)
G01R 35/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7026721
(22) 출원일자(국제) 2018년01월25일
심사청구일자 2021년01월08일
(85) 번역문제출일자 2019년09월10일
(65) 공개번호 10-2019-0109559
(43) 공개일자 2019년09월25일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/015252
(87) 국제공개번호 WO 2018/151920
국제공개일자 2018년08월23일
(30) 우선권주장
62/460,060 2017년02월16일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20020185227 A1*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애
브뉴 3050
(72) 발명자
예, 정, 존
미국 95051 캘리포니아 산타클라라 화이트 드라이
브 971
핀슨, 제이, 디., 2세
미국 95120 캘리포니아 새너제이 퀸스우드 웨이
6879
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 13 항

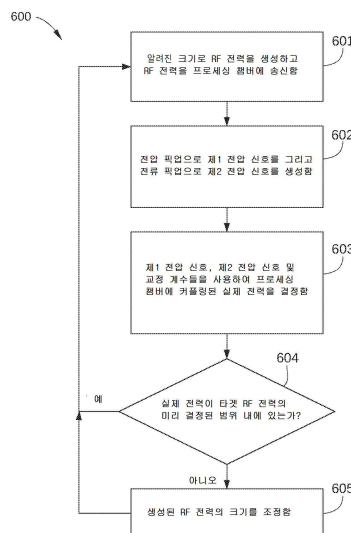
심사관 : 오경환

(54) 발명의 명칭 고온 환경에서 무선 주파수 전력을 측정하기 위한 전압-전류 프로브 및 이를 교정하는 방법

(57) 요약

전압-전류 센서는 고온 프로세싱 영역에 전달되는 RF 전력의 전압, 전류 및 위상의 더 정확한 측정을 가능하게 한다. 센서는, 비-유기 전기 절연 재료로 구성된 평면 바디, 평면 바디에 형성된 측정 개구, 측정 개구 주위에 배치된 전압 픽업, 및 측정 개구 주위에 배치된 전류 픽업을 포함한다. 센서의 평면 구성 및 재료 조성으로 인해, 센서는 플라즈마 프로세싱 챔버의 고온 표면에 근접하게 또는 그에 접촉하여 배치될 수 있다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

H01J 37/3244 (2013.01)

H01J 37/32532 (2013.01)

H01J 37/32715 (2013.01)

(72) 발명자

로차-알바레즈, 주안, 카를로스

미국 94070 캘리포니아 샌카를로스 시더 스트리트
18

카자, 압둘, 아지즈

미국 95138 캘리포니아 새너제이 세이지웰 웨이
5722

(56) 선행기술조사문헌

US20110285412 A1*

US20120223697 A1*

JP2009282017 A*

US20170004955 A1

US20150382442 A1

US20150136325 A1

US20140346952 A1

US20140302256 A1

KR1020160039009 A

KR1020150144278 A

KR1020090107979 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

비-유기 전기 절연 재료로 구성된 평면 바디(planar body);

상기 평면 바디에 형성된 측정 개구;

적어도 하나의 V/I 프로브;

상기 적어도 하나의 V/I 프로브를 둘러싸는 접지된 엘리먼트;

상기 평면 바디에 형성된 추가적인 측정 개구;

상기 추가적인 측정 개구 주위에 배치된 추가적인 전도성 링; 및

상기 평면 바디에 임베딩(embed)되고 상기 추가적인 측정 개구 주위에 배치된 추가적인 환형 코일

을 포함하고,

상기 적어도 하나의 V/I 프로브는,

상기 측정 개구 주위에 배치된 전압 픽업(voltage pickup) - 상기 전압 픽업은 제1 전압 측정 회로에 전기적으로 커플링됨 -; 및

상기 측정 개구 주위에 배치된 전류 픽업(current pickup) - 상기 전류 픽업은 제1 전류 측정 회로에 전기적으로 커플링됨 -

을 포함하며,

상기 접지된 엘리먼트는, 상기 평면 바디의 표면 상에 또는 내부에 배치되고 그리고 상기 적어도 하나의 V/I 프로브 주위에 위치된 복수의 상호연결 비아(via)들에 의해 함께 전기적으로 커플링되는 하나 이상의 접지된 층들을 포함하고,

상기 추가적인 전도성 링은 제2 전압 측정 회로에 전기적으로 커플링되고,

상기 추가적인 환형 코일은 제2 전류 측정 회로에 전기적으로 커플링되는,

전압-전류 센서 조립체.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 전압 픽업은 상기 측정 개구 주위에 형성된 전도성 링을 포함하고, 상기 전류 픽업은, 상기 평면 바디 내에 형성되고 상기 측정 개구 주위에 배치된 환형(toroidal) 형상 코일을 포함하는,

전압-전류 센서 조립체.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 환형 형상 코일은 복수의 직렬로 상호연결된 루프(loop)들을 포함하며,

각각의 루프는,

상기 평면 바디의 제1 표면 상에 형성된 제1 도체;

상기 평면 바디의 제2 표면 상에 형성된 제2 도체;

상기 평면 바디를 통해 형성되고 상기 제1 도체 및 상기 제2 도체와 접촉하는 제1 전도성 비아(via); 및

상기 평면 바디를 통해 형성되고 상기 제2 도체와 접촉하는 제2 전도성 비아를 포함하는,
전압-전류 센서 조립체.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 평면 바디에 형성된 측정 개구는 전도성 엘리먼트를 수용하도록 구성되고, 상기 전도성 엘리먼트는, RF 전력이 RF 소스에 의해 상기 전도성 엘리먼트에 제공되는 경우, 플라즈마 프로세싱 챔버의 프로세싱 영역과 전기연통하는 RF 전극 또는 RF 코일에 RF 전력을 제공하도록 구성되며, 상기 추가적인 측정 개구는 상기 플라즈마 프로세싱 챔버에 커플링된 접지와 RF 생성 소스 사이에 커플링되지 않은 전도성 리드(conductive lead)를 수용하도록 구성되는,

전압-전류 센서 조립체.

청구항 6

챔버 바디;

상기 챔버 바디 내에 배치된 방전 전극;

상기 챔버 바디의 대기 표면(atmospheric surface)에 장착되고, 그리고 비-유기 전기 절연 재료로 구성된 평면 바디를 포함하는 전압-전류 센서 - 상기 전압-전류 센서는 제1 전압 측정 회로, 제1 전류 측정 회로, 적어도 하나의 V/I 프로브 및 상기 적어도 하나의 V/I 프로브를 둘러싸는 접지된 엘리먼트를 포함함 -; 및

상기 전압-전류 센서의 측정 개구를 통해 피드(feed)되고 상기 방전 전극에 무선 주파수 전력을 전기적으로 커플링시키는 무선 주파수 송신 라인

을 포함하고,

상기 접지된 엘리먼트는, 상기 평면 바디의 표면 상에 또는 내부에 배치되고 그리고 상기 적어도 하나의 V/I 프로브 주위에 위치된 복수의 상호연결 비아들에 의해 함께 전기적으로 커플링되는 하나 이상의 접지된 층들을 포함하고,

상기 전압-전류 센서는,

상기 측정 개구 주위에 배치된 전도성 링 - 상기 전도성 링은 상기 제1 전압 측정 회로에 전기적으로 커플링됨 -; 및

상기 평면 바디에 임베딩되고 상기 측정 개구 주위에 배치된 환형 코일

을 더 포함하며,

상기 환형 코일은 상기 제1 전류 측정 회로에 전기적으로 커플링되는,

플라즈마 프로세싱 챔버.

청구항 7

제6 항에 있어서,

상기 방전 전극은 기판 지지부 또는 가스 분배 플레이트를 포함하는,

플라즈마 프로세싱 챔버.

청구항 8

삭제

청구항 9

제6 항에 있어서,

상기 방전 전극은 기관 지지부를 포함하고, 상기 기관 지지부는 가열 코일, 및 상기 가열 코일에 전기적으로 커플링된 전기 리드를 포함하며,

상기 전압-전류 센서는,

상기 평면 바디에 형성된 추가적인 측정 개구;

상기 추가적인 측정 개구 주위에 배치된 추가적인 전도성 링 - 상기 추가적인 전도성 링은 제2 전압 측정 회로에 전기적으로 커플링됨 -; 및

상기 평면 바디에 임베딩되고 상기 추가적인 측정 개구 주위에 배치된 추가적인 환형 코일을 더 포함하며,

상기 추가적인 환형 코일은 제2 전류 측정 회로에 전기적으로 커플링되고,

상기 전기 리드는 상기 추가적인 측정 개구를 통해 피드되는,

플라즈마 프로세싱 챔버.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 플라즈마 프로세싱 챔버는 상기 가열 코일에 대한 가열기 전력 공급부와 상기 기관 지지부 사이에 전기적으로 위치한 무선 주파수 필터를 더 포함하는,

플라즈마 프로세싱 챔버.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 대기 표면은,

상기 무선 주파수 필터의 표면; 및

기관 지지부의 표면

중 하나를 포함하며,

상기 전압-전류 센서는 상기 기관 지지부 내에 배치되는,

플라즈마 프로세싱 챔버.

청구항 12

제6 항에 있어서,

상기 전압-전류 센서는 하나 이상의 접지된 또는 차폐된 프로세스 챔버 엘리먼트들에 의해 외부 잡음 소스들로부터 적어도 부분적으로 격리된, 상기 플라즈마 프로세싱 챔버의 영역 내에 위치되는,

플라즈마 프로세싱 챔버.

청구항 13

제6 항에 있어서,

상기 방전 전극은 연결 포인트에서 상기 무선 주파수 송신 라인에 커플링된 기관 지지부를 포함하며,

상기 연결 포인트는 상기 방전 전극에 전기적으로 커플링된 상기 무선 주파수 전력에서 정상파를 따르는 포인트에 대응하고, 상기 정상파는 상기 포인트에서 최소 진폭을 갖고,

상기 전압-전류 센서는 상기 연결 포인트에 위치되거나 또는 상기 연결 포인트에 근접하게 위치되는, 플라즈마 프로세싱 챔버.

청구항 14

명령들을 저장하는 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체로서,

상기 명령들은, 프로세서에 의해 실행되는 경우, 상기 프로세서로 하여금,

RF 전력이 제1 크기로 생성되게 하고, 센서의 평면 바디에 형성된 측정 개구를 통해 피드되는 송신 라인을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버에 송신되게 하는 단계 - 상기 센서는 상기 플라즈마 프로세싱 챔버 상에 장착되거나 또는 상기 플라즈마 프로세싱 챔버에 직접 커플링됨 -;

상기 측정 개구 주위에 배치된 전압 픽업으로부터의 제1 전압 신호, 및 상기 측정 개구 주위에 배치된 전류 픽업으로부터의 제2 전압 신호를 수신하는 단계 - 상기 제1 전압 신호 및 상기 제2 전압 신호는 상기 송신 라인을 통해 송신되는 RF 전력에 대한 응답으로 생성됨 -;

상기 제1 전압 신호, 상기 제2 전압 신호, 상기 제1 전압 신호에 적용되는 제1 교정 계수, 및 상기 제2 전압 신호에 적용되는 제2 교정 계수에 기초하여, 상기 플라즈마 프로세싱 챔버에 커플링된 실제 RF 전력을 결정하는 단계;

상기 플라즈마 프로세싱 챔버에 커플링된 실제 RF 전력이 타겟 RF 전력의 미리 결정된 범위 밖에 있다고 결정하는 단계; 및

상기 실제 RF 전력이 미리 결정된 범위 밖에 있다고 결정하는 것에 대한 응답으로, RF 전력이 제3 크기로 생성되게 하고, 그리고 상기 송신 라인을 통해 상기 플라즈마 프로세싱 챔버에 송신되게 하는 단계

를 수행하게 하는,

비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체.

청구항 15

제14 항에 있어서,

상기 제1 교정 계수는, 상기 송신 라인을 통해, 상기 송신 라인에 매칭되는 더미(dummy) 부하에 송신되는 제2 크기의 RF 전력에 대한 응답으로 생성되는, 상기 전압 픽업으로부터의 제3 전압 신호에 기초하며, 상기 제2 교정 계수는, 상기 송신 라인을 통해 상기 더미 부하에 송신되는 상기 제2 크기의 RF 전력에 대한 응답으로 생성되는, 상기 전류 픽업으로부터의 제4 전압 신호에 기초하는,

비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] [0001] 본 명세서에 설명된 실시예들은 일반적으로 RF(radio-frequency) 플라즈마-프로세싱 시스템들에 관한 것이고, 더 상세하게는, 고온 환경에서 RF 전력을 측정하기 위한 전압-전류 프로브 및 이를 교정하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] [0002] RF 전원, 송신 라인 및 부하를 포함하는 RF(radio frequency) 시스템에서, 송신 라인을 통한 전력 전송은 송신 라인 임피던스를 소스 임피던스 및 부하 임피던스 둘 모두에 매칭시킴으로써 최대화될 수 있다. 이러한 임피던스들이 밀접하게 매칭되지 않으면, RF 전원 에 의해 제공되는 RF 전력은 송신 라인에서 정상파들의 형태로 RF 전원을 향해 역으로 반사된다. 그 결과, 최대 RF 전력이 부하에 송신될 수는 없고, 반사된 전력은 사실상 손실되며, 여기서 반사로 인해 손실되는 전력량은 일반적으로 소스와 부하 임피던스들 사이의 미스매치의 함수이다.

[0003] [0003] RF 전원과 부하 사이에 임피던스-매칭 시스템 또는 장치를 통합함으로써, 반사된 손실을 감소시키는 것

이 통상적이다. 그러나, RF 플라즈마 프로세싱 챔버들에서는, 통상적으로, 챔버에서의 비-선형성들로 인해 RF 전원과 플라즈마 챔버 사이에 상당한 임피던스 미스매치가 여전히 존재한다. 따라서, 통상적으로 RF 전원에 의해 제공되는 모든 출력 전력이 RF 플라즈마 프로세싱 챔버의 프로세싱 영역에 도달하는 것은 아니다. 또한, 송신 라인 및 임피던스 매칭 시스템 자체에서의 손실들은, RF 플라즈마 프로세싱 챔버의 프로세싱 영역에 실제로 도달하는 출력 전력을 추가로 감소시킨다. 결과적으로, 챔버에서의 특정 에칭 또는 증착 프로세스 동안 RF 전력을 정량화하기 위해 그리고 프로세스를 더 양호하게 제어하기 위해, RF 플라즈마 프로세싱 챔버의 프로세싱 영역에 진입하는 RF 에너지의 전압 및 전류를 측정하기 위해 전압-전류(V/I) 프로브가 때때로 이용된다.

[0004] 이상적으로는, V/I 프로브는 플라즈마 프로세싱 챔버 상의 전력 입력 포인트에 근접하게 위치되는데, 이는, RF 송신 라인을 따른 임의의 포인트에서 전압 및 전류의 정확한 측정은 매우 위치 의존적일 수 있기 때문이다. 구체적으로, 반사에 의해 초래되는 RF 송신 라인에서의 정상파들의 존재는 피크 전압 및 피크 전류가 송신 라인을 따른 위치에 따라 변하는 것을 초래한다. 그러나, 고온 애플리케이션들에서, 종래의 V/I 프로브들은 플라즈마 챔버 상에 위치되는 데 적합하지 않다. 예를 들어, 통상적인 PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition) 챔버는 대략 600 °C - 700 °C의 프로세스 온도를 가질 수 있고, 챔버 바디는 대략 100 °C - 200 °C의 온도들에 도달할 수 있다. 반대로, 일반적으로 FR-4와 같은 유기 재료-포함 기관들로 형성되는 종래의 V/I 프로브들은 약 70 °C 초과 온도들에서 열적으로 약화될 수 있다. 따라서, 고온 애플리케이션들의 경우, V/I 프로브들은 통상적으로 프로세스 챔버로부터 어느 정도의 거리에 위치되고, 이는, 임피던스-매칭 시스템 및/또는 RF 전원에 제공되는 전압 및 전류 측정들의 정확도를 크게 감소시킨다. RF 매칭 디바이스 및/또는 RF 전력 공급부 내에 측정 엘리먼트들을 위치시키는 종래의 V/I 타입 프로브 구성들은 또한 신호대 잡음비 문제들에 취약하다. 또한, 종래의 V/I 프로브에 대한 측정된 RF 값들 대 실제 전달된 RF 전력 신호는 다른 외부 컴포넌트들에 대한 프로브의 위치에 기초하여 챔버마다 변할 수 있고, 이들은 모두 종래의 V/I 프로브가 프로세싱 챔버에 제공되는 RF 전력 또는 위상에서의 작은 변화들을 검출할 수 있는 것을 방해할 수 있다.

[0005] 따라서, RF 플라즈마 프로세싱 시스템에서 이용되는 전압 및 전류의 더 정확한 측정을 용이하게 하는 시스템들 및 방법들에 대한 요구가 본 기술분야에 존재한다.

발명의 내용

[0006] 본 명세서에 설명된 하나 이상의 실시예들은 고온 환경에서 무선 주파수 전력을 측정하기 위한 전압-전류 프로브 및 이를 교정하는 방법을 제공한다.

[0007] 일 실시예에서, 전압-전류 센서 조립체는, 비-유기 전기 절연 재료로 구성된 평면 바디, 평면 바디에 형성된 측정 개구, 측정 개구 주위에 배치된 전압 픽업(pickup) - 전압 픽업은 제1 전압 측정 회로에 전기적으로 커플링됨 -, 및 측정 개구 주위에 배치된 전류 픽업을 포함하며, 여기서, 전류 픽업은 제1 전류 측정 회로에 전기적으로 커플링된다.

[0008] 다른 실시예에서, 플라즈마 프로세싱 챔버는 챔버 바디, 챔버 바디 내에 배치된 방전 전극, 챔버 바디의 대기 표면(atmospheric surface)에 장착되고 비-유기 전기 절연 재료로 구성된 평면 바디를 포함하는 전압-전류 센서 - 전압-전류 센서는 제1 전압 측정 회로 및 제2 전류 측정 회로를 포함함 -, 및 전압-전류 센서의 측정 개구를 통해 피드(feed)되고 무선 주파수 전력을 방전 전극에 전기적으로 커플링하는 무선 주파수 송신 라인을 포함한다.

[0009] 다른 실시예에서, 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체는, 프로세서에 의해 실행되는 경우, 프로세서로 하여금: RF 전력이 제1 크기로 생성되게 하고, 센서의 평면 바디에 형성된 측정 개구를 통해 피드되는 송신 라인을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버에 송신되게 하는 단계; 측정 개구 주위에 배치된 전압 픽업으로부터의 제1 전압 신호 및 측정 개구 주위에 배치된 전류 픽업으로부터의 제2 전압 신호를 수신하는 단계 - 제1 전압 신호 및 제2 전압 신호는 송신 라인을 통해 송신되는 RF 전력에 대한 응답으로 생성됨 -; 제1 전압 신호, 제2 전압 신호, 제1 전압 신호에 적용되는 제1 교정 계수 및 제2 전압 신호에 적용되는 제2 교정 계수에 기초하여, 플라즈마 프로세싱 챔버에 커플링된 실제 RF 전력을 결정하는 단계 - 제1 교정 계수는 송신 라인을 통해 송신 라인에 매칭되는 더미(dummy) 부하에 송신되는 제2 크기의 RF 전력에 대한 응답으로 생성되는, 전압 픽업으로부터의 제3 전압 신호에 기초하고, 제2 교정 계수는 송신 라인을 통해 더미 부하에 송신되는 제2 크기의 RF 전력에 대한 응답으로 생성되는, 전류 픽업으로부터의 제4 전압 신호에 기초함 -; 플라즈마 프로세싱 챔버에 커플링된 실제 RF 전력이 타겟 RF 전력의 미리 결정된 범위 밖에 있다고 결정하는 단계; 및 실제 RF 전력이 미리 결정된 범위 밖에 있다고 결정하는 것에 대한 응답으로, RF 전력이 제3 크기로 생성되게 하고 송신 라인을 통해 플라즈마 프

로세싱 챔버에 송신되게 하는 단계를 수행하게 하는 명령들을 저장한다.

도면의 간단한 설명

- [0010] [0010] 본 개시내용의 상기 열거된 특징들이 상세히 이해될 수 있는 방식으로, 앞서 간략히 요약된 본 개시내용의 보다 구체적인 설명이 실시예들을 참조로 하여 이루어질 수 있는데, 이러한 실시예들의 일부는 첨부된 도면들에 예시되어 있다. 그러나, 첨부된 도면들은 본 개시내용의 단지 전형적인 실시예들을 예시하는 것이므로 본 개시내용의 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다는 것이 주목되어야 하는데, 이는 본 개시내용이 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있기 때문이다.
- [0011] 도 1은 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따른 RF(radio-frequency) 플라즈마 프로세싱 시스템을 예시하는 블록도이다.
- [0012] 도 2는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따라 구성된 도 1의 RF 플라즈마 프로세싱 시스템의 플라즈마 프로세싱 챔버의 개략적 단면도이다.
- [0013] 도 3a는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따른 도 1의 RF 플라즈마 프로세싱 시스템에서의 V/I 센서의 개략적 평면도이다.
- [0014] 도 3b는 도 3a의 섹션 A-A에서 취해진, 도 1의 RF 플라즈마 프로세싱 시스템에서의 V/I 센서의 개략적 단면도이다.
- [0015] 도 4a 및 도 4b는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따른, 도 3a 및 도 3b의 V/I 센서의 V/I 프로브의 기능적 개략도들이다.
- [0016] 도 5는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따른 V/I 센서를 교정하기 위한 프로세스 단계들의 흐름도를 상술한다.
- [0017] 도 6은 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따른 플라즈마 프로세싱 챔버에 적용되는 RF 전력을 제어하기 위한 프로세스 단계들의 흐름도를 상술한다.
- [0018] 이해를 용이하게 하기 위해, 가능한 경우, 도면들에 공통인 동일한 엘리먼트들을 지정하기 위해 동일한 참조 부호들이 사용된다. 일 실시예의 엘리먼트들 및 특징들이 추가적인 언급없이 다른 실시예들에서 유리하게 포함될 수 있다는 것이 고려된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] [0019] 다음의 설명에서, 본 개시내용의 실시예들의 더 철저한 이해를 제공하기 위해 다수의 특정 세부사항들이 상술된다. 그러나, 이러한 특정 세부사항들 중 하나 이상 없이도 본 개시내용의 실시예들 중 하나 이상이 실시될 수 있음은 본 기술분야의 당업자에게 자명할 것이다. 다른 예들에서, 널리 공지된 특징들은, 본 개시내용의 실시예들 중 하나 이상을 모호하게 하는 것을 회피하기 위해 설명되지 않았다.
- [0012] [0020] 도 1은 본 발명의 하나 이상의 양상들에 따른 RF(radio-frequency) 플라즈마 시스템(100)을 예시하는 블록도이다. RF 플라즈마 시스템(100)은 플라즈마 프로세싱 챔버(120), 제1 RF 매치(131) 및 송신 라인(132)을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 커플링된 제1 RF 생성기(130), 및 제2 RF 매치(141) 및 송신 라인(142)을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 커플링된 제2 RF 생성기(140)를 포함한다. RF 플라즈마 시스템(100)은 제어 회로부(150)(또한 본 명세서에서 "제어기(150)"로 지칭됨) 및 전압-전류(V/I) 센서들(151 및 152)을 더 포함한다.
- [0013] [0021] 플라즈마 프로세싱 챔버(120)는, PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition) 시스템, 물리 기상 증착 시스템, 에피택셜 층 증착 시스템, 플라즈마 에칭 시스템 등을 포함하는, 내부에 플라즈마를 생성하기 위해 유도적으로 커플링된 플라즈마 시스템 또는 용량적으로 커플링된 플라즈마 시스템을 포함하는 임의의 기술적으로 실현가능한 플라즈마 증착 또는 에칭 챔버일 수 있다. 제1 RF 생성기(130)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 하나 이상의 방전 전극들에 RF 전력을 제공하고 이에 따라서 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 플라즈마 생성을 유도하도록 구성된 임의의 기술적으로 실현가능한 RF 전력 생성기일 수 있다. 제1 RF 생성기(130)는 하나의 RF 주파수 또는 다수의 RF 주파수들로 RF 전력을 제공할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 제1 RF 생성기(130)는, 분배 매니폴드(또한 샤워헤드로 지칭됨) 또는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 방전 전극으로서 사용하기에 적합한 다른 컴포넌트에, 13.56 MHz의 RF 주파수로 전력을 공급하도록 구성될 수 있다. 유사

하게, 제2 RF 생성기(140)는 하나의 RF 주파수 또는 다수의 RF 주파수들로 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 플라즈마 생성을 유도하도록 구성된 임의의 기술적으로 실현가능한 RF 전력 생성기일 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 제2 RF 생성기(140)는 기관 지지부(또한 서셉터(susceptor)로 지칭됨), 또는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 방전 전극으로서 사용하기에 적합한 다른 컴포넌트에 360 kHz 등의 더 낮은 RF 주파수로 전력을 공급하도록 구성될 수 있다.

[0014] [0022] 도시된 바와 같이, 제1 RF 생성기(130)는 RF 전력, 즉, 제1 RF 매치(131) 및 송신 라인(132)을 통한 전력을 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 RF 부하에 송신한다. V/I 센서(151)는 RF 전력과 연관된 전압에 의해 유도된 전압 및 RF 전력과 연관된 전류에 의해 유도된 전압을 신호 리드(lead)들(153)을 통해 제어 회로부(150)에 송신함으로써 RF 전력의 전류, 전압 및 위상의 측정을 가능하게 한다. V/I 센서(151)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 외부 표면 상에 또는 그에 근접하게 위치한 송신 라인(132) 연결 포인트(221, 222)에 배치되기 때문에, 제어 회로부(150)에 의한 송신 라인(132) 내의 정상과 컴포넌트들의 효과들에 대한 정정은 일반적으로 필요하지 않다. 유사하게, 제2 RF 생성기(140)는 제2 RF 매치(141) 및 송신 라인(142)을 통해, RF 전력을 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 RF 부하에 송신한다. V/I 센서(152)는 송신 라인(142)을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 커플링된 RF 전력의 전류, 전압 및 위상의 측정을 가능하게 한다. 구체적으로, V/I 센서(152)는 RF 전력과 연관된 전압에 의해 유도된 전압 및 RF 전력과 연관된 전류에 의해 유도된 전압을 신호 리드들(154)을 통해 제어 회로부(150)에 송신한다. V/I 센서(152)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 외부 표면 상에 또는 그에 근접하게 위치한 송신 라인(142) 연결 포인트(247)에 배치되기 때문에, 제어 회로부(150)에 의한 송신 라인(142) 내의 정상과 컴포넌트들의 효과들에 대한 정정은 일반적으로 필요하지 않다.

[0015] [0023] 플라즈마 프로세싱 챔버(120)가 페데스탈(pedestal) 또는 기관 지지 가열기로 구성되는 실시예들에서, RF 플라즈마 시스템(100)은 전도성 리드들(161 및 162)을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 내의 가열 엘리먼트들(도 1에는 도시되지 않음)에 커플링된 가열기 전력 공급부(160)를 더 포함한다. 이러한 실시예들에서, RF 플라즈마 시스템(100)은 또한 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 내의 가열 엘리먼트들과 가열기 전력 공급부(160) 사이에 전기적으로 배치되는 RF 필터(170)를 포함한다. 페데스탈 또는 기관 지지부 내에 배치된 가열 엘리먼트들은 명목상 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 RF 시스템의 일부가 아니지만, 이러한 가열기 엘리먼트들은 통상적으로 많은 권선들을 갖는 코일형 전도성 컴포넌트들을 포함하고, 결과적으로 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 프로세싱 영역(도 1에는 도시되지 않음) 내에 제공된 RF 에너지에 커플링할 수 있다. 따라서, RF 필터(170)는 가열기 코일들과 가열기 전력 공급부(160) 사이에 형성된 전도성 경로의 일부를 제공하도록 구성되는 한편 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 내에 제공된 RF 에너지로부터 가열기 전력 공급부(160)를 보호하는 전자 시스템 또는 장치이다. RF 필터(170)는 통상적으로 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 외부, 즉, 대기 표면에 근접하게 또는 그와 접촉하여 배치된다. 그 결과, RF 필터(170)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 동작 동안 100 °C - 200 °C의 온도들에 도달할 수 있다. 이러한 실시예들에서, V/I 센서(152)는 V/I 센서(152)의 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 대한 근접도를 최대화 또는 아니면 증가시키기 위해 RF 필터(170)를 하우징하는 인클로저 내의 표면 상에 배치될 수 있다. 대안적으로, V/I 센서(152)는 RF 필터(170)와 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 표면 사이에 배치될 수 있다.

[0016] [0024] 제어 회로부(150)는, V/I 센서(151)로부터 신호들을 수신하고 송신 라인(132)을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 진입하는 커플링된 RF 전력의 전류, 전압, 위상 및 크기를 결정하도록 구성되는 로직을 포함한다. 일부 실시예들에서, 이러한 로직은 크기 및 위상 검출 회로부로서 구현된다. 제1 RF 생성기(130)가 송신 라인들(132)을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 내의 다수의 연결 포인트들(221, 222)에 RF 전력을 송신하는 실시예들에서, 제어 회로부(150)는, V/I 센서(151)로부터 다수의 신호들을 수신하여, 각각의 이러한 송신 라인들(132)을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 진입하는 커플링된 RF 전력의 전류, 전압, 위상 및 크기를 결정하도록 구성되는 로직을 포함한다. 유사하게, 제어 회로부(150)는, V/I 센서(152)로부터 신호들을 수신하고 송신 라인(142)을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 진입하는 커플링된 RF 전력의 전류, 전압, 위상 및 크기를 결정하도록 구성되는 로직을 포함한다.

[0017] [0025] 플라즈마 프로세싱 챔버(120)가 페데스탈 또는 기관 지지 가열기로 구성되는 실시예들에서, V/I 센서(152)는 페데스탈 또는 기관 지지 가열기 내의 가열기 엘리먼트들로부터 전도성 리드들(161 및 162)을 통과하는 RF 전력에 의해 유도된 신호 전압을 신호 리드들(154)을 통해 제어 회로부(150)에 송신하도록 구성된다. V/I 센서(152)는 페데스탈에 제공되는 RF 전력의 일부와 연관된 전류의 흐름으로부터 유도된 전압 신호를 신호 리드들(154)을 통해 제어 회로부(150)에 송신하도록 추가로 구성되며, 그 RF 전력은 전도성 리드들(161 및 162)을 통해 외부 접지(도시되지 않음)로 통과한다. 이러한 실시예들에서, 제어 회로부(150)는 신호 리드들(154)을 통

해 송신된 전압들에 기초하여 전도성 리드들(161 및 162)을 통과하는 RF 전력의 전류, 전압, 위상 및 크기를 결정하도록 추가로 구성된다. 따라서, 전도성 리드들(161 및 162) 및 가열기 전력 공급부(160)를 통해 손실된 RF 전력은 V/I 센서(152)에 의해 제공된 전류 및 전압 측정들에 기초하여 정량화될 수 있다. 결과적으로, RF 필터(170)를 포함하는 전기 회로의 전기적 거동에서 인스턴스-대-인스턴스 (즉, 하나의 챔버로부터 다음 챔버까지의) 변동이 정량화되고 보상되어, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 다양한 인스턴스들에서 수행되는 프로세스들에서 챔버-대-챔버 변동이 방지될 수 있다. 예를 들어, 이러한 실시예들에서, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 수행되는 프로세스는 단지 제2 RF 생성기(140)에 의해 제공된 RF 전력의 측정보다, 전도성 리드들(161 및 162)을 통해 손실된 RF 전력에 대한 정정으로 인해, 송신 라인들(142)을 통해 프로세스 챔버의 프로세싱 영역(285)에 전달되는 실제 또는 실제에 가까운 RF 전력에 기초할 수 있다.

[0018] [0026] 일부 실시예들에서, V/I 센서(152)는 V/I 센서(152) 컴포넌트들을 다양한 외부 잡음 소스들로부터 격리시키기 위해 접지된 또는 차폐된 프로세스 챔버 엘리먼트들(예를 들어, 가열기 벨로즈, 가열기의 중심 샤프트)에 의해 적어도 부분적으로 둘러싸인 프로세싱 챔버의 영역, 예를 들어, 기관 지지부 내의 영역(285) 내에 위치된다. 일부 구성들에서, V/I 센서(152) 컴포넌트들 및 V/I 센서가 배치되는 프로세싱 챔버의 영역(285)을 인클로징하는 컴포넌트들 모두 사이에 최소 고정 갭(예를 들어, 1-10mm)이 유지된다. 결과적으로, V/I 센서(152)에 의해 제공된 전기 측정들에서 인스턴스-대-인스턴스 변동이 감소되어, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 다양한 인스턴스들에서 수행되는 프로세스들에서의 챔버-대-챔버 변동이 방지될 것이다. 일례에서, V/I 센서(152A 또는 152B)가 서셉터(208)의 내부 영역(285) 내에 배치된다.

[0019] [0027] 도 1에 예시된 실시예에서, 단일 제어기(150)가 RF 플라즈마 시스템(100)에 도시되어 있다. 다른 실시예들에서, 상이한 제어기(150)가 RF 플라즈마 시스템(100)에 포함된 각각의 RF 생성기에 통합될 수 있다. 다른 실시예들에서, 제어 회로부(150)의 기능은 RF 플라즈마 시스템(100)에 대한 중앙 시스템 제어기에 통합될 수 있다. 어느 경우이든, 제어 회로(150)의 기능은 소프트웨어, 하드웨어 및/또는 펌웨어를 통한 구현을 포함하여 임의의 기술적으로 실현가능한 구현을 포함할 수 있다.

[0020] [0028] 도 2는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따라 구성된 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 개략적 단면도이다. 예를 들어, 도 2의 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 실시예가 PECVD 시스템의 관점으로 설명되지만, 다른 플라즈마 증착 챔버들 또는 플라즈마 에칭 챔버들을 포함하는 임의의 다른 플라즈마 프로세싱 챔버가 실시예들의 범주 내에 속할 수 있다. 플라즈마 프로세싱 챔버(120)는, 서셉터(208) 및 프로세싱 영역(246)을 함께 인클로징하는 벽들(202), 바닥(204) 및 챔버 덮개(224)를 포함한다. 플라즈마 프로세싱 챔버(120)는 진공 펌프(214), 가스 소스(218), 제1 RF 생성기(130) 및 제1 RF 매치(131), 제2 RF 생성기(140) 및 제2 RF 매치(141) 및 RF 필터(170)를 더 포함하고, 이들 각각은 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 외부에 커플링된다.

[0021] [0029] 또한, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 대기 표면에 직접 커플링되거나 달리 장착된 하나 이상의 V/I 센서들(151 및 152)을 포함한다. 도 2에 예시된 실시예에서, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)는 그 상부 표면에 커플링되거나 달리 장착된 V/I 센서(151)를 포함하여, 송신 라인(들)(132)을 통과하는 전압 및 전류는 프로세싱 영역(246) 및 기관(210) 근처에서 정확하게 측정될 수 있다. 또한, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)는 그 하부 표면에 커플링되거나 달리 장착된 V/I 센서(152)를 포함하여, 송신 라인들(142)을 통과하는 전압 및 전류는 프로세싱 영역(246) 및 기관(210) 근처에서 정확하게 측정될 수 있다. 일부 실시예들에서, V/I 센서(152)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 바닥(204) 상에 또는 근처에 장착되거나, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 바닥(204)에 직접 커플링된다. 대안적으로, V/I 센서(152)는 이동가능한 서셉터(208)에 커플링된 벨로즈(250) 내부와 같은 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 내의 대기 영역(246)에 장착될 수 있다. 이러한 실시예들에서, V/I 센서(152)는 서셉터(208)의 표면에 직접 커플링될 수 있다. 대안적으로, V/I 센서(152)는 브래킷(bracket) 또는 다른 지지 구조를 통해 서셉터(208)에 장착될 수 있다. 어느 경우이든, V/I 센서(152)는 기관(210) 및 프로세싱 영역(246)의 수 센티미터 내에 배치된다. 일부 구성들에서, V/I 센서(152), 예를 들어, V/I 센서(152A)는 서셉터(208)의 전도성 부분(예를 들어, 전극 또는 전극 연결부)에 커플링된 금속 로드(rod)(242) 사이의 인터페이스에 형성된 연결 포인트(247)의 수 센티미터 내에 배치된다. 연결 포인트(247)에 또는 적어도 연결 포인트(247)의 수 센티미터 내에 V/I 센서(152)를 위치시키는 것은, 이러한 포인트가 통상적으로 송신 라인들(142)의 일부 내의 노드(예를 들어, 파가 최소 진폭을 갖는 정상파를 따른 포인트)일 것이기 때문에 도움이 될 수 있다.

[0022] [0030] V/I 센서들(151 및 152)은 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 내에 배치되지 않고 그 대신 기관(210)의 프로세싱 동안 대기에 노출되는 그 표면에 직접 커플링될 수 있음을 주목한다. 대안적으로 또는 추가적으로, V/I 센서들(151 및 152)은 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 이러한 대기 표면에 직접 커플링되는 브래킷 또는 다른

지지 구조에 장착될 수 있다.

- [0023] [0031] 벽들(202) 및 바닥(204)은 알루미늄 또는 스테인레스 강과 같은 전기 전도성 재료를 포함할 수 있다. 프로세싱 동안 기관(210)에 의해 커버되지 않은 서셉터(208)의 표면들 상에 원하지 않는 증착이 발생하는 것을 방지 또는 감소시키도록 구성되는 섀도우(shadow) 프레임(238)이 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 배치된다. 섀도우 프레임(238)은 플라즈마 프로세싱 챔버(120)가 유휴인 경우 릿지(ledge)(240) 상에 안착되고, 하나 이상의 스트랩(strap)들(243)에 의해 벽들(202)의 내부 표면에 커플링될 수 있다. 벽들(202) 중 하나 이상을 통해, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)로의 기관(210)의 삽입 및 그로부터의 기관(210)의 제거를 용이하게 하도록 구성되는 슬릿 밸브 개구(206)가 존재할 수 있다. 슬릿 밸브 개구(206)를 밀봉하도록 구성된 슬릿 밸브는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 내부 또는 외부 중 하나에 배치될 수 있다. 명확화를 위해, 슬릿 밸브는 도 2에 도시되지 않는다.
- [0024] [0032] 진공 펌프(214)가 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 커플링되고 그 내부의 진공 레벨을 조정하도록 구성된다. 도시된 바와 같이, 밸브(216)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)와 진공 펌프(214) 사이에 커플링될 수 있다. 진공 펌프(214)는 기관 프로세싱 전에 플라즈마 프로세싱 챔버(120)를 배기하고 밸브(216)를 통해 프로세싱 동안 그로부터 프로세스 가스를 제거한다. 밸브(216)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 배기 레이트의 조절을 용이하게 하도록 조정가능할 수 있다. 밸브(216)를 통한 배기 레이트 및 가스 소스(218)로부터 인입하는 가스 유량은 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 내의 챔버 압력 및 프로세스 가스 체류 시간을 결정한다.
- [0025] [0033] 서셉터(208)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 의한 프로세싱 동안 기관(210), 예를 들어, 도 2의 기관(210)을 지지하기 위한 임의의 기술적으로 실현가능한 장치를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 서셉터(208)는 서셉터(208)를 상승 및 하강시키도록 구성되는 샤프트(212) 상에 배치된다. 일 실시예에서, 샤프트(212) 및 서셉터(208)는 적어도 부분적으로 텅스텐, 구리, 몰리브덴, 알루미늄 또는 스테인레스 강과 같은 전기 전도성 재료로 형성되거나 이를 포함할 수 있다. 플라즈마 프로세싱 챔버(120)가 용량적으로 커플링된 플라즈마 챔버인 실시예들에서, 서셉터(208)는 전극(도시되지 않음)을 포함하도록 구성될 수 있다. 이러한 실시예들에서, 금속 로드(242)는 서셉터(208) 내에 배치된 임베딩(embed)된 전극에 전기적으로 커플링되고 연결 포인트(247)를 통해 임베딩된 전극에 RF 전력을 제공하도록 구성된다. 이와 같이, 임베딩된 전극 및 금속 로드(242)는 송신 라인들(142)을 통해 제2 RF 생성기(140)에 전기적으로 커플링된다.
- [0026] [0034] 일부 실시예들에서, 서셉터(208)는 프로세싱 동안 기관(210)을 가열하기 위해 하나 이상의 가열 엘리먼트들(209)을 포함한다. 이러한 실시예들에서, 가열 엘리먼트들(209)은 샤프트(212) 내에 배치될 수 있는 전도성 리드들(161 및 162)을 통해 가열기 전력 공급부(160)에 커플링된다. 전도성 리드들(161 및 162) 각각은 V/I 센서(151)의 각각의 측정 개구(도 1에는 도시되지 않음)를 통과하여, RF 전류 및 전압은 그에 의해 측정될 수 있다.
- [0027] [0035] 가스 소스(218)는 챔버 덮개(224)를 통과하는 튜브(223)를 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 커플링된다. 튜브(223)는 프로세싱 가스가 배킹 플레이트(backing plate)(226)를 통과하여 배킹 플레이트(226)와 가스 분배 샤워헤드(228) 사이의 플레넘(plenum)(248)에 진입하도록 허용하기 위해 배킹 플레이트(226)에 커플링된다. 가스 분배 샤워헤드(228)는 서스펜션(suspension)(234)에 의해 배킹 플레이트(226)에 인접하게 제자리에 유지되어, 가스 분배 샤워헤드(228), 배킹 플레이트(226) 및 서스펜션(234)은 함께, 때때로 가스 박스로 지칭되는 조립체를 형성할 수 있다. 따라서, 동작 동안, 가스 소스(218)로부터 플라즈마 프로세싱 챔버(120)로 도입되는 프로세싱 가스는 플레넘(248)을 채우고, 그 다음 가스 분배 샤워헤드(228)에 형성된 가스 통로들(230)을 통과하여 프로세싱 영역(246)에 균일하게 진입한다. 대안적인 실시예들에서, 프로세스 가스는 가스 분배 샤워헤드(228)에 추가로 또는 그 대신에 벽들(202)에 부착되는 입구들 및/또는 노즐들(도시되지 않음)을 통해 프로세싱 영역(246)에 도입될 수 있다.
- [0028] [0036] 제1 RF 생성기(130)는 하나 이상의 송신 라인들(132)을 통해 커플링 포인트들(221 및 222)에서 배킹 플레이트(226)에 커플링된다. 따라서, 커플링 포인트들(221 및 222)은 배킹 플레이트(226)에 대한 RF 전력 피드 포인트들로서 동작한다. 대안적으로, 제1 RF 생성기(130)는 단일 커플링 포인트에서 배킹 플레이트(226)에 커플링될 수 있다. 송신 라인들(132)은 동축 케이블들을 포함할 수 있고, 일부 실시예들에서, RF 전력의 접지로의 과도한 누설을 방지하기 위해 이러한 동축 케이블들 외부에 추가적인 차폐를 갖도록 구성된다. 일 실시예에서, 제1 RF 생성기(130)는 약 13.56 MHz의 주파수로 RF 전류들을 생성할 수 있는 RF 생성기를 포함한다. 다른 실시예에서, 제1 RF 생성기(130)는 VHF 전력, 예를 들어, 약 40 MHz 내지 200 MHz 또는 그 초과 주파수들의 VHF 전력을 생성할 수 있는 VHF 생성기를 포함한다. 도시된 바와 같이, 송신 라인들(132) 각각은 V/I 센서

(151)의 각각의 측정 개구를 통과한다.

- [0029] [0037] 일부 실시예들에서, 제1 RF 생성기(130)는 고주파수 전력을 제1 RF 매치(131)를 통해, 프로세싱 영역(246)에 인접하여 배치된 방전 전극에 제공한다. 이러한 방전 전극은 프로세스 가스 분배 엘리먼트, 예를 들어, (도 2에 도시된 바와 같은) 가스 분배 샤워헤드(228) 또는 가스 주입 노즐들의 어레이를 포함할 수 있고, 가스 주입 노즐들을 통해 프로세스 가스들이 프로세싱 영역(246)에 도입된다. 방전 전극, 예를 들어, 가스 분배 샤워헤드(228)는 기관(210)의 표면에 실질적으로 평행하게 배향될 수 있고, 기관(210)과 가스 분배 샤워헤드(228) 사이에 배치된 프로세싱 영역(246)에 플라즈마 소스 전력을 용량적으로 커플링시킨다. 프로세싱 동안, 서셉터(208), 세도우 프레임(238) 및 기관(210)은 상승되고 샤워헤드(228)의 하부 표면 근처에 (예를 들어, 1-30 mm 내에) 위치되어 적어도 부분적으로 인클로징된 프로세싱 영역(246)을 형성한다.
- [0030] [0038] 일부 실시예들에서, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)는 또한 제1 RF 생성기(130)의 출력 전력 레벨, 가스 소스(218)를 통해 프로세싱 영역(246)으로 지향되는 다양한 프로세스 가스들의 유량, 밸브(216)의 조정 등을 포함하는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 동작을 제어하도록 구성되는 머신 호환가능 제어기(예를 들어, 제어 회로부(150))를 포함할 수 있다. 일반적으로 이러한 제어기는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 동작을 제어하기에 적합한 하나 이상의 프로세서들, 메모리 및 명령들을 포함한다. 대안적으로, 일부 실시예들에서, 멀티-챔버 프로세싱 시스템의 동작을 제어하도록 구성되는 시스템 제어기는 그 대신, 플라즈마 프로세싱 챔버(120) 뿐만 아니라 하나 이상의 다른 프로세싱 챔버들의 동작을 제어하도록 구성될 수 있다.
- [0031] [0039] 플라즈마 프로세싱, 예를 들어, PECVD 프로세스는 일반적으로, 기관(210)을 서셉터(208) 상에 배치하고 가스 소스(218)로부터의 하나 이상의 전구체 가스들을 프로세싱 영역(246) 내로 도입시킴으로써 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 수행된다. 프로세싱 영역(246) 내의 전구체 가스 또는 가스들은, RF 전력을 커플링 포인트들(221 및 222)을 통해 가스 분배 샤워헤드(228)에 적용함으로써 그리고/또는 RF 전력을 서셉터(208)에 적용함으로써 플라즈마 상태로 에너지화(energize)된다(예를 들어, 여기된다). 이러한 타입의 플라즈마는 통상적으로 CCP(capacitively coupled plasma)로 지칭되는데, 이는, 전자 가열 메커니즘이 지배적으로, 가스 분배 샤워헤드(228) 및 예를 들어, 서셉터(208) 또는 벽들(202)과 같은 접지된 전극 근처의 용량성 플라즈마 시스(sheath)들을 통하기 때문이다. 여기된 가스는 반응하여 기관(210)의 표면 상에 재료의 층을 형성한다.
- [0032] [0040] 일반적으로, RF 전류는 이를 구동하는 소스로의 최단 리턴 경로를 추구한다. 따라서, 플라즈마 프로세싱 동안, 구동된 RF 전류는 제1 RF 생성기(130)로부터 프로세싱 영역(246)에서 생성된 플라즈마를 통해, 그리고 그 다음, 벽들(202)과 같은 RF 리턴 경로로 이동한다. 서셉터(208)가 제2 RF 생성기(140)에 커플링되는 실시예들에서, RF 전류는 제2 RF 생성기(140)로부터 로드(242), 임베딩된 전극 및 프로세싱 영역(246)에 배치된 플라즈마를 통해, 그리고 그 다음, 벽들(202) 및 바닥(204)과 같은 RF 리턴 경로로 이동한다. 그러나, 서셉터(208)가 가열 엘리먼트들(209)을 포함하는 실시예들에서, 가열 엘리먼트들(209)은 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 전달되는 RF 에너지에 커플링될 수 있고, 서셉터(208)에 제공되는 RF 에너지의 일부 부분은 제2 RF 생성기(140)에 리턴되지 않을 수 있다. 그 대신, 제2 RF 생성기(140)에 의해 제공되는 RF 에너지의 일부는 전도성 리드들(161 및 162)을 통해 가열기 전력 공급부(160)로 흐를 수 있다. 필터(170)가 전도성 리드들(161 및 162)을 따라 RF 에너지의 흐름을 감소시키도록 구성되지만, 필터(170)의 효율은 거의 완전하지 않다. 그 결과, RF 에너지의 상당 부분은 필터(170)의 존재에도 불구하고 가열기 전력 공급부(160)로 흐를 수 있다. 따라서, 반사로 인한 전력 손실에 추가로, 전도성 리드들(161 및 162)을 통한 RF 전력 손실은 또한 프로세싱 영역(246)에 실제로 전달되는 RF 에너지의 크기에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 필터(170) 성능은 통상적으로 인스턴스마다 변하기 때문에, 전도성 리드들(161 및 162)을 통한 RF 전력 손실의 영향은 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 각각의 인스턴스에서 변할 수 있다. 따라서, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 2개의 상이한 인스턴스들에서 명목상 동일한 프로세스들이 수행되는 경우, 프로세스 결과들, 예를 들어, 필름 두께, 균일성 등은, 프로세싱 영역(246)에 실제로 전달되는 RF 전력이 정확하게 측정될 수 있지 않는 한 예측불가능한 변동을 겪을 수 있다.
- [0033] [0041] RF 애플리케이션들에 대한 종래의 V/I 센서들은 일반적으로 70 °C 또는 그 초과에서 열적으로 손상될 수 있는 유기 기관들, 예를 들어, FR-4를 포함한다. 그 결과, 고온 애플리케이션들, 예를 들어, PECVD 챔버들의 경우, 종래의 V/I 센서들은 통상적으로 프로세싱 챔버로부터 어느 정도 거리에 위치된다. 결과적으로, 이러한 센서들에 의해 행해지고 전기 회로 내의 RF 매칭 컴포넌트들에 의해 사용되는 측정들은 감지된 전기 측정들에서의 이러한 유도된 에러로 인해 불완전하게 매칭된 송신 라인들을 따라 프로세싱 챔버로부터 떨어진 거리에서 행해진 RF 측정들의 위치 의존성을 보상하기 위한 외삽 기술들에 의존한다. 이러한 외삽들은 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 구조적 세부사항들에 매우 의존하고, 실험적으로 검증하기 매우 어려우며, 하나의 프로세스에 대해 검증된 경우에도, 통상적으로 프로세스 케미스트리(chemistry) 및 챔버 동작 조건들에 따라 다른 프로세스

들에 대해 변경된다. 추가로, 송신 라인들(132 및 142)에 존재하는 정상파의 비선형 성질로 인해, 이상적인 송신 라인 모델에 기초한 종래의 외삽 기술들은 기관(210)과 원격 측정 포인트 사이에서 유지되는 RF 손실을 정확히 고려할 수 없고 따라서 이러한 전력 손실을 매우 적게 추정하거나 크게 추정할 수 있다.

[0034] [0042] 실시예들에 따르면, V/I 센서들(151 및/또는 152)은 프로세싱 영역(246)에 전달되는 RF 전력의 전압, 전류 및 위상의 더 정확한 측정을 가능하게 한다. 구체적으로, V/I 센서들(151 및/또는 152)은 고온 환경을 위해 구성되고, 따라서 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 고온 프로세스가 수행되는 경우에도, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 근접한 배치에 적합하다. 하나의 이러한 실시예는 도 3a 및 도 3b에 예시되어 있다.

[0035] [0043] 도 3a는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따른 V/I 센서(152)의 개략적 평면도이다. 도 3b는 도 3a의 섹션 A-A에서 취해진 V/I 센서(152)의 개략적 단면도이다. V/I 센서(152)는 고온 환경, 예를 들어, 고온 PECVD 프로세스 동안 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 근접하거나 그와 접촉하는 위치에서 RF 전류 및 전압을 정확하게 측정하도록 구성된다. 도 3a 및 도 3b에 예시된 실시예에서, V/I 센서(152)는 금속 로드(242) 및 전도성 리드들(161 및 162)에서 RF 전류 및 전압을 측정하도록 구성된다. 일 실시예에서, V/I 센서(152)는 금속 로드(242)의 원위 단부 및 전도성 리드들(161 및 162)의 원위 단부들에 제공된 RF 전압 및 전류를 측정하도록 구성된다. 일부 실시예들에서, V/I 센서(152)는 제1 V/I 프로브(310), 제2 V/I 프로브(320), 제3 V/I 프로브(310) 및 접지 평면(302)을 갖는 평면 바디(301)를 포함하고, 접지 평면(302)은 제1 V/I 프로브(310), 제2 V/I 프로브(320), 제3 V/I 프로브(330)를 둘러싸며 이들을 서로 전기적으로 격리시킨다.

[0036] [0044] 평면 바디(301)는 세라믹, 운모(mica), 페라이트(ferrite) 또는 유사한 재료와 같은 전기 절연 재료를 포함하는 비-유기물로 구성된다. 예를 들어, 적합한 세라믹 재료들은 알루미늄 산화물 및 알루미늄 질화물을 포함한다. 전술한 비-유기 전기 절연 재료들은 종래의 V/I 센서들에서 통상적으로 이용되는 유기 기관들, 예를 들어, FR-4에 비해 매우 온도 저항적이다. 결과적으로, 평면 바디(301) 및 V/I 센서(152)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 대기 또는 외측 표면과 직접 접촉하여 배치되고 그리고/또는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 대기 또는 외측 표면에 매우 근접하게 장착되는 데 적합하다. 그 결과, V/I 센서(152)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 프로세싱 영역(246)에 근접하게, 예를 들어, 필터(170)에 대한 필터 박스하우징 내에 위치되거나 또는 바닥(204)에 커플링되거나 그 위에 장착될 수 있다. 그러나, 일부 중간적 온도 애플리케이션들에서, 평면 바디(301)는 Kapton[®]과 같은 폴리이미드로 형성될 수 있다.

[0037] [0045] 제1 V/I 프로브(310)는 전압 픽업(311) 및 전류 픽업(312)을 포함하고, 이들 각각은 측정 개구(315) 주위에 배치된다. 측정 개구(315)는, 서셉터(208) 내의 임베딩된 전극에 RF 전력을 제공하는 송신 라인들(142) 또는 금속 로드(242)의 도체와 같이 RF 전력을 송신하기에 적합한 전도성 구조를 수용하도록 구성된다. 따라서, V/I 프로브(310)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 근접한 위치에서 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 송신되는 RF 전력의 정확한 전압 및 전류 측정들을 제공하도록 구성된다.

[0038] [0046] 도 4b에 예시된 전압 픽업(311)은 예를 들어, 송신 라인들(142) 또는 금속 로드(242)를 통해, 평면 바디(301)에 형성된 측정 개구(315)를 통과하는 RF 전력에 의해 유도되는 전압 신호를 생성하도록 구성된다. 전압 픽업(311)에 의해 생성된 전압 신호는, 측정 개구(315) 내에 위치되는 전도성 엘리먼트의 일부를 통과하는 RF 전력의 전압에 실질적으로 비례한다. 일부 실시예들에서, 전압 픽업(311)은 측정 개구(315)의 표면 주위에 배치되거나 그 위에 형성된 전도성 링(311A)으로 구성된다. 전도성 링(311A)은 통상적으로 접지된 엘리먼트(320)에 의해 둘러싸인다. 전도성 링(311A) 및 접지된 엘리먼트(320) 둘 모두는 도 4b에 예시된 RF 전압 측정 회로(455)와 같은 전기 회로 내에서 연결되고, 측정 개구(315) 내에 위치한 RF 전도성 엘리먼트의 일부를 통과하는 RF 전력의 전압을 측정하기 위해 함께 사용된다. 접지된 엘리먼트(320)는 일반적으로 하나 이상의 접지된 층들(302A 및 302B)을 포함하고, 이들은 V/I 센서(152)의 표면 상에 또는 내부에 배치되고 복수의 상호연결 비아(via)들(302C)에 의해 함께 전기적으로 커플링된다. 하나 이상의 접지된 층들(302A 및 302B) 및 복수의 상호연결 비아들(302C)은 전도성 재료(예를 들어, Al, Ag, Au, Mo, Sn, 또는 Cu를 포함하는 금속들)로 형성될 수 있고, 제1 V/I 프로브(310), 제2 V/I 프로브(320) 및 제3 V/I 프로브(330)를 서로로부터 그리고 다른 외부 컴포넌트들로부터 전기적으로 차폐하기 위해 사용된다. 일부 구성들에서, V/I 프로브들(310, 320 및 330) 각각 내의 컴포넌트들 사이에서 크로스-토크를 최소화할 차폐를 형성하기 위해 복수의 상호연결 비아들(302C)이 V/I 프로브들 각각 주위에 위치된다. 일부 실시예들에서, 접지된 엘리먼트(320)는 신호 리드들(154)과 같은 동축 송신 라인들(도시되지 않음)의 외측 차폐 도체(402)에 연결될 수 있다.

[0039] [0047] 도 4a에 예시된 전류 픽업(312)은 도 4a에 예시된 RF 전류 측정 회로(454)와 같은 전기 회로의 사용에 의해 측정 개구(315) 내에 위치되는 전도성 엘리먼트의 일부를 통과하는 RF 전력에 의해 유도되는 전압 신호를

생성하도록 구성된다. 자기장 플럭스에 의해 유도되는 전압 신호는 전류 픽업(312)에서 유도되고, 측정 개구(315) 내에 위치되는 전도성 엘리먼트의 일부를 통과하는 RF 전류에 실질적으로 비례한다. 일부 실시예들에서, 전류 픽업(312)은 환형(toroidal) 형상 코일로서 구성되거나, 또는 환형 형상 코일에 매우 근사하게 구성된다. 예를 들어, 도 3a 및 도 3b에 예시된 실시예에서, 전류 픽업(312)은 평면 바디(301)의 최상부 표면(301A) 상의 실질적으로 평탄한 회로 트레이스들(313), 평면 바디(301)의 바닥 표면(301B) 상의 실질적으로 평탄한 회로 트레이스들(314) 및 평면 바디(301)를 통해 형성된 전도성 비아들(316)을 포함한다. 각각의 전도성 비아(316)는 회로 트레이스(313)를 대응하는 회로 트레이스(314)와 연결하여, 회로 트레이스들(313), 회로 트레이스들(314) 및 전도성 비아들(316)은 함께 연속적인 전도성 루프 구조를 형성하도록 직렬로 상호연결된다.

[0040] [0048] 도 3a 및 도 3b에 예시된 V/I 센서(152)의 구성은 전압 픽업(311)과 전류 픽업(312) 사이의 크로스-토크를 최소화하거나 달리 감소시키는 것이 주목된다. 구체적으로, 전압 픽업(311) 및 전류 픽업(312)이 단일 평면, 즉, 평면 바디(301)에 의해 정의된 평면(예를 들어, X-Y 평면)에 위치되기 때문에, 그리고 이러한 평면은 측정 개구(315)를 통과하는 RF 전력 송신 방향에 직교하기 때문에, 측정 개구(315)에 배치된 송신 라인들의 RF 전압은 전류 픽업(312)에 전압을 거의 또는 전혀 유도하지 않고, 측정 개구(315)에 배치된 송신 라인들에 흐르는 RF 전류는 전압 픽업(311)에 전압을 거의 또는 전혀 유도하지 않는다. 결과적으로, 송신 라인 전압 측정 및 전류 측정은 서로 상호배타적인 것으로 고려될 수 있고, 따라서 이러한 감지 엘리먼트들 사이에 크로스-토크가 거의 없는 것으로 여겨진다. 즉, 측정 개구(315)를 통과하는 RF 전류로부터의 기여를 포함하는 전압 픽업(311)으로부터의 전압 신호에 의해 초래되는 어떠한 상당한 측정 에러들도 없고, 측정 개구(315)를 통과하는 RF 전압으로부터의 기여를 포함하는 전류 픽업(312)으로부터의 전류 신호에 의해 초래되는 어떠한 상당한 측정 에러들도 없다. 따라서, 측정된 전압, 측정된 전류 및 전압 픽업(311)과 전류 픽업(312) 사이의 위상 차이의 코사인 값의 곱은 측정들의 포인트에서 즉시적 송신 라인 전력에 실질적으로 비례한다. 일부 실시예들에서, V/I 프로브(310) 내의 전압 픽업(311) 및 전류 픽업(312)의 크기는 내부에 형성된 개구(315)를 통과하는 전도성 엘리먼트 부분 또는 내부에 형성된 개구(315)를 통과하는 생성된 필드들의 크기 또는 단면적에 비례하는 크기이다.

[0041] [0049] 제2 V/I 프로브(320) 및 제3 V/I 프로브(330)는 제1 V/I 프로브(310)와 구성 및 동작에서 실질적으로 유사할 수 있고, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)와 연관된 추가적인 RF 송신 라인들, 이를테면 전도성 리드들(161 및 162)에 대한 전압 및 전류 측정들을 제공하기 위해 V/I 센서(152)에 포함된다. 전도성 리드들(161 및 162)은 RF 송신 라인들로서 의도되지 않지만, 그럼에도 불구하고 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 일부 실시예들에서와 같이 동작할 수 있음을 주목한다.

[0042] [0050] 제2 V/I 프로브(320)는 전압 픽업(321) 및 전류 픽업(322)을 포함하고, 이들 각각은 측정 개구(325) 주위에 배치된다. 측정 개구(325)는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 커플링된 접지와 RF 생성 소스 사이에 커플링되지 않는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)와 연관된 특정 RF 전도성 리드, 이를테면 전도성 리드(161)를 수용하도록 구성된다. 일부 실시예들에서, V/I 프로브(320) 내의 전압 픽업(321) 및 전류 픽업(322)의 크기는 내부에 형성된 측정 개구(325)를 통과하는 전도성 엘리먼트 부분 또는 내부에 형성된 측정 개구(325)를 통과하는 생성된 필드들의 크기 또는 단면적에 비례하는 크기이다.

[0043] [0051] 유사하게, 제3 V/I 프로브(330)는 전압 픽업(331) 및 전류 픽업(332)을 포함하고, 이들 각각은 측정 개구(335) 주위에 배치된다. 측정 개구(335)는 플라즈마 프로세싱 챔버에 커플링된 접지와 RF 생성 소스 사이에 커플링되지 않는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)와 연관된 다른 RF 전도성 리드, 이를테면 전도성 리드(162)를 수용하도록 구성된다. 일부 실시예들에서, V/I 프로브(330) 내의 전압 픽업(331) 및 전류 픽업(332)의 크기는 내부에 형성된 측정 개구(335)를 통과하는 전도성 엘리먼트 부분 또는 내부에 형성된 측정 개구(335)를 통과하는 생성된 필드들의 크기 또는 단면적에 비례하는 크기이다. 제2 V/I 프로브(320) 및 제3 V/I 프로브(330)는 전도성 리드들(161 및 162)을 통한 RF 전력 손실의 측정을 가능하게 하기 때문에, 프로세싱 영역(246)에 커플링된 실제 RF 전력은, 단지 금속 로드(242) 또는 송신 라인들(142)의 상류 부분을 통해 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 전달되는 RF 전력을 측정하는 것보다 더 정확하게 결정될 수 있다. 따라서, 필터(170)의 효율에서 챔버-대-챔버 변동은 다양한 V/I 프로브들 및 챔버 RF 매칭 엘리먼트들의 사용에 의해 검출, 정량화 및 보상될 수 있다.

[0044] [0052] 도 4a 및 도 4b는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따라 V/I 센서(152)의 제1 V/I 프로브(310)의 기능적 개략도들이다. 도시된 바와 같이, 신호 리드들(154)(도 1)의 신호 리드(154A)는 전압 픽업(311)에 커플링되고, 신호 리드(154)의 다른 신호 리드(154B)는 전류 픽업(312)에 커플링된다. 일부 실시예들에서, 이러한 신호 리드들(154A 및 154B) 각각은 중심 도체(401)와 외측 차폐 도체(402) 사이에 50 옴 저항을 갖는 하나 이상의 동

축 케이블들의 일부로서 구성된다.

- [0045] [0053] 일부 실시예들에서, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 최적의 또는 다른 개선된 동작에 대해, 그와 연관된 각각의 V/I 센서가 교정될 수 있다. 이러한 실시예들에서, V/I 센서의 전압 픽업에 의해 생성되는 특정 신호 전압은 V/I 센서의 측정 개구를 통과하는 특정한 알려진 RF 전압에 정밀하게 상관될 수 있다. 유사하게, V/I 센서의 전류 픽업(312)에 의해 생성되는 특정 신호 전압은 V/I 센서의 측정 개구를 통과하는 특정한 알려진 RF 전류에 정밀하게 상관될 수 있다. 이러한 방식으로, 전압 픽업에 대한 교정 계수가 생성될 수 있고 전류 픽업(312)에 대한 다른 교정 계수가 생성될 수 있다. 후속 동작에서, 전압 픽업에 의해 생성되고 적절한 교정 계수가 곱해진 신호 전압들은, 임의의 시간 인스턴트에 어떠한(예를 들어, 피크 또는 RMS) RF 전압이 측정 개구를 통과하고 있는지를 정밀하게 표시할 수 있다. 유사하게, 전류 픽업(312)에 의해 생성되고 적절한 교정 계수가 곱해진 신호 전압들은, 임의의 시간 인스턴트에 어떠한(예를 들어, 피크 또는 RMS) RF 전류가 측정 개구를 통과하고 있는지를 정밀하게 표시할 수 있다. 하나의 이러한 실시예는 도 5와 관련하여 아래에서 설명된다.
- [0046] [0054] 도 5는 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따라, V/I 센서를 교정하기 위한 프로세스의 흐름도를 상술한다. 프로세스는 도 1 내지 도 4의 RF 플라즈마 시스템(100)과 관련하여 설명되지만, 당업자들은 프로세스가 다른 타입들의 RF 플라즈마 시스템들로 수행될 수 있음을 이해할 것이다. 방법(500)에 대한 제어 알고리즘들은 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 동작을 제어하도록 구성된 머신 호환가능한 제어기인 제어기(150)에 또는 교정 프로세스 동안 RF 플라즈마 시스템(100)에 커플링된 별개의 컴퓨팅 디바이스에 상주한다. 이러한 제어 알고리즘들은 전체적으로 또는 부분적으로 소프트웨어- 또는 펌웨어-구현 로직으로 및/또는 하드웨어-구현 로직 회로들로 구현될 수 있다.
- [0047] [0055] 프로세스 이전에, 적합한 RF 생성기가 RF 매치 및 알려진 임피던스의 적합한 송신 라인들을 통해, 알려진 임피던스의 더미 부하에 커플링된다. 더 구체적으로는, 매치된 RF 시스템, 즉 어떠한 반사도 없는 RF 시스템을 형성하기 위해 RF 생성기, 더미 부하 및 RF 매치가 선택된다. 예를 들어, 일 실시예에서, 제2 RF 생성기(140)는 제2 RF 매치(142) 및 송신 라인들(142)을 통해 50 옴 더미 부하에 커플링된다. 또한, 프로세스 이전에, 송신 라인들은 V/I 센서(152)와 같이 교정될 V/I 센서의 측정 개구를 통해 피드된다.
- [0048] [0056] 방법(500)은, RF 전력이 제2 RF 생성기(140)에 의해 특정 RF 주파수로 생성되는 블록(501)에서 시작된다. 예를 들어, 일 실시예에서, 제2 RF 생성기(140)는 27 MHz에서 2500W를 생성한다. 일부 실시예들에서, 블록(501)에서 생성된 RF 전력의 크기는 특정 주파수로 제2 RF 생성기(140)에 의해 이용될 것으로 예상되는 최대 또는 RMS RF 전력과 동일하다.
- [0049] [0057] 블록(502)에서, 송신 라인들(141)이 피드되도록 하는 V/I 프로브, 예를 들어, 제1 V/I 프로브(310)는 제1 전압 신호 및 제2 전압 신호를 생성한다. 전압 픽업(311)은 제1 V/I 프로브(310)의 측정 개구(315)에서 발견되는 RF 전압에 비례하는 제1 전압 신호를 생성한다. 전류 픽업(312)은 제1 V/I 프로브(310)의 측정 개구(315)를 통과하는 RF 전류에 비례하는 제2 전압 신호를 생성한다. 그 다음, 제어 회로부(150)는 이러한 수신된 측정 신호들을 메모리에 저장할 수 있다.
- [0050] [0058] 블록(503)에서, 교정 계수는 제1 전압 신호 및 측정 개구(315)를 통과하는 알려진 RF 전압에 기초하여 전압 픽업(311)에 대해 결정된다. 방법(500)에서 이용되는 매칭된 RF 시스템에서 어떠한 반사도 없기 때문에, RF 전압은 시스템의 RF 전력과 저항의 곱의 제곱근과 동일함을 주목한다. 시스템의 RF 전력 및 저항 둘 모두가 알려져 있기 때문에, RF 전압이 알려져 있다. 따라서, 블록들(501-503)을 적어도 2번 완료한 후, V/I 프로브 전압 대 RF 전압의 알려진 크기의 곡선이 형성될 수 있다. 교정 곡선은 선형일 것이고 인터셉트(intercept)는 제로 볼트에 있을 것이기 때문에, 계수는 형성된 곡선의 기울기와 동일할 것이고, 이는, 그 다음, V/I 프로브 전압에 대한 교정 계수로서 사용된다.
- [0051] [0059] 또한, 블록(503)에서, 교정 계수는 제2 전압 신호 및 측정 개구(315)를 통과하는 알려진 RF 전류에 기초하여 전류 픽업(312)에 대해 결정된다. 방법(500)에서 이용되는 매칭된 RF 시스템에서 어떠한 반사도 없기 때문에, RF 전류가 또한 알려져 있는데, 이는 전류가 시스템의 RF 전력 대 저항의 비율의 제곱근과 동일하기 때문이다. 시스템의 RF 전력 및 저항 둘 모두가 알려져 있기 때문에, RF 전류가 알려져 있다. 따라서, 블록들(501-503)을 적어도 2번 완료한 후, V/I 프로브 전류 측정(예를 들어, 전압 신호) 대 RF 전류의 알려진 크기의 곡선이 형성될 수 있다. 교정 곡선은 선형일 것이고 인터셉트(intercept)는 제로 볼트에 있을 것이기 때문에, 계수는 형성된 곡선의 기울기와 동일할 것이고, 이는, 그 다음, V/I 프로브 전류 측정에 대한 교정 계수로서 사용된다.

- [0052] [0060] 일부 실시예에서, 각각의 V/I 프로브에 대해 전압 픽업(311)에 대한 결정된 교정 계수 및/또는 전류 픽업(312)에 대한 교정 계수는, V/I 프로브들에 의해 측정된 RF 전류 및 전압 값들을 조정하기 위해 제어 회로부의 부분들에 의한 사용을 위해 제어 회로부(150)의 메모리 내에 저장되고, 그 다음, 이들은 프로세싱 챔버에서 사용되는 RF 매칭 엘리먼트들 및/또는 RF 전력 공급 엘리먼트들에 의해 사용된다.
- [0053] [0061] 일부 실시예들에서, RF 생성기는 혼합된 동작 주파수들을 제공하기 위해 RF 플라즈마 시스템에서 이용될 수 있다. 예를 들어, 일부 상황들에서, 2개의 RF 주파수들은 프로세싱되는 기관(210) 근처에서 플라즈마 밀도 및 이온 에너지를 제어하기 위해 PECVD 플라즈마를 동시에 구동한다. 또한, 특정 필름 특성들을 최적화하기 위해 펄싱(pulsing) 동작이 이용될 수 있다. 어느 경우이든, RF 시스템에 하나 초과 주파수가 존재하는 경우, V/I 센서의 전류 픽업(312) 및 전압 픽업에 의해 생성된 신호들은 크기 및 위상 검출 회로부에 도달하기 전에 동작 주파수들 각각에서 통상적으로 대역통과 필터(도시되지 않음)를 통해 피드된다. 이러한 대역통과 필터들의 삽입은 전압 픽업에 의해 생성된 신호와 전류 픽업(312)에 의해 생성된 신호 사이에 크기 차이들(감쇠) 및 위상 차이들을 도입할 수 있고, 그 다음, 이들은 RF 생성기들 각각에 의해 제공되는 RF 전력을 조정하기 위해 그리고/또는 각각의 RF 소스의 각각의 RF 매칭 엘리먼트(들)와 연관된 RF 매치 파라미터들을 조정하기 위해 사용될 수 있다.
- [0054] [0062] 일부 실시예들에 따르면, 혼합된 동작 주파수들을 제공하기 위해 RF 플라즈마 시스템에서 RF 생성기가 이용되는 경우, 방법(500)의 교정 프로세스는 구동된 RF 주파수들 각각에 대한 정확한 교정 계수들을 생성하기 위해 프로세싱 챔버에서 사용되는 RF 주파수들 각각에서 상이한 RF 전력 레벨들에서 이용될 수 있다. 구체적으로, 방법(500)의 교정 프로세스는 각각의 동작 주파수에 대한 교정 계수들을 생성하기 위해 각각의 동작 주파수에서 이용되어, 전송된 대역통과 필터들에 의해 초래되는 생성된 신호(들)의 감쇠에 대한 교정을 가능하게 할 수 있다. 또한, 방법(500)에서 이용되는 RF 시스템이 어떠한 반사도 없는 매칭된 RF 시스템이기 때문에, 제1 전압 신호와 제2 전압 신호 사이에서 검출된 임의의 위상 차이는 실제로, 측정 회로부에 포함된 대역통과 필터에 의해 초래되는 측정 회로부에 의해 검출되는 RF 시스템의 위상 오프셋이다. RF 시스템의 다수의 주파수 동작에 대해, 각각의 구동된 RF 주파수에서 상이한 시스템 위상 오프셋이 일반적으로 이용되고, 각각의 이러한 위상 오프셋은 방법(500)의 상이한 구현에서 결정된다. 따라서, 특정 주파수로 방법(500)에서 측정된 위상 차이는 V/I 프로브들에 의한 검출된 RF 전력 파라미터들의 정정에서 사용하기 위해 그 특정 동작 주파수에 대해 이용될 수 있는 시스템 위상 오프셋으로 고려될 수 있고, 그 다음, 이는 RF 생성기들 각각에 의해 제공되는 RF 전력을 제어하고 그리고/또는 각각의 RF 소스의 각각의 RF 매칭 엘리먼트(들)와 연관된 RF 매치 파라미터들을 조정하기 위해 사용될 수 있다.
- [0055] [0063] 도 6은 본 개시내용의 다양한 실시예들에 따라, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에 적용되는 RF 전력을 제어하기 위한 프로세스의 흐름도를 상술한다. 프로세스는 도 1 내지 도 4의 RF 플라즈마 시스템(100)과 관련하여 설명되지만, 당업자들은 프로세스가 다른 타입들의 RF 플라즈마 시스템들로 수행될 수 있음을 이해할 것이다. 방법에 대한 제어 알고리즘들은 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 동작을 제어하도록 구성된 제어기(150) 또는 머신-호환가능 제어 회로에 상주한다. 이러한 제어 알고리즘들은 전체적으로 또는 부분적으로 소프트웨어- 또는 펌웨어-구현 로직으로 및/또는 하드웨어-구현 로직 회로들로 구현될 수 있다.
- [0056] [0064] 프로세스 이전에, 적합한 교정 계수들이, 예를 들어, 방법(500)을 통해, RF 플라즈마 시스템(100)과 연관된 각각의 V/I 프로브에 대해 결정된다. 예를 들어, V/I 센서(152)에 대해, 전압 픽업(311), 전류 픽업(312), 전압 픽업(321), 전류 픽업(322), 전압 픽업(331) 및 전류 픽업(332) 각각에 대해 적합한 교정 계수가 결정된다. 또한, 제2 RF 생성기(140)가 혼합된 주파수를 생성하도록 구성되는 실시예들에서, RF 플라즈마 시스템(100)의 측정 회로부로부터의 시스템 위상 오프셋이 또한 각각의 주파수에 대해 결정된다.
- [0057] [0065] 방법(600)은, RF 전력이 제2 RF 생성기(140)에 의해 특정 RF 주파수 및 출력 크기로 생성되는 블록(601)에서 시작된다. 블록(601)에서 생성된 RF 전력의 크기는 프로세싱 영역(246)에 커플링된 타겟 RF 전력을 도출하도록 의도된다. 일반적으로, 타겟 RF 전력은 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 실행되는 특정 프로세스와 연관된다. 따라서, 상이한 프로세스에 대해, 상이한 타겟 RF 전력이 블록(601)에서 이용될 수 있다.
- [0058] [0066] 블록(602)에서, V/I 센서(152)는 적어도 제1 전압 신호 및 제2 전압 신호를 생성하고, 전압 픽업(311)은 제1 전압 신호를 생성하고, 전류 픽업(312)은 제2 전압 신호를 생성한다. 제1 전압 신호는 V/I 프로브(310)의 측정 개구(315)를 통과하는 RF 전압에 비례하고, 제2 전압 신호는 V/I 프로브(310)의 측정 개구(315)를 통과하는 RF 전류에 비례한다. V/I 센서(152)가 다수의 프로브들을 포함하는 실시예들에서, V/I 센서는 추가적인 전압 신호들, 예를 들어, 전도성 리드들(161 및 162)과 연관된 RF 전압 및 전류를 측정하는 전압 신호들을 생성

한다.

- [0059] [0067] 블록(603)에서, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)에서 프로세싱 영역(246)에 전달되는 실제 RF 전력이 결정된다. 일부 실시예들에서, 전달되는 실제 RF 전력을 결정하는 것은 제1 교정 계수를 제1 전압 신호에 그리고 제2 교정 계수를 제2 전압 신호에 적용하는 것을 포함한다. 앞서 언급된 바와 같이, 제1 및 제2 교정 계수들은 통상적으로 방법(500)과 같은 이전에 수행된 교정 프로세스에서 결정된다.
- [0060] [0068] 프로세싱 영역(246)에 전달되는 실제 RF 전력을 결정하는 프로세스 동안, 제어 회로부(150)는 메모리로부터 제1 교정 계수 및 제2 교정 계수를 리트리브할 수 있고, 그 다음, RF 생성기들 각각에 의해 제공되는 RF 전력을 제어하기 위해 그리고/또는 각각의 RF 소스의 각각의 RF 매칭 엘리먼트(들)와 연관된 RF 매치 파라미터들을 조정하기 위해 사용될 수 있는 정정된 측정 신호 값을 결정하기 위해 적절한 V/I 프로브로부터 수집된 적절한 측정 신호 값과 적절한 교정 계수를 곱할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 제1 전압 신호는 V/I 센서(152)를 통과하는 실제 전압을 정확하게 표시하는 측정된 전압 값을 생성하기 위해 제1 교정 계수와 곱해지고, 제2 전압 신호는 V/I 센서(152)를 통과하는 실제 전류를 정확하게 표시하는 측정된 전류 값을 생성하기 위해 제2 교정 계수와 곱해진다. 그 다음, 프로세싱 영역(246)에 커플링된 실제 RF 전력은 측정된 전압 값 및 측정된 전류 값에 기초하여 컴퓨팅될 수 있다. 그 다음, 프로세싱 영역(246)에 커플링된 실제 RF 전력은, 제어 회로부(150)에 커플링되고 사용자가 액세스가능한 그래픽 사용자 인터페이스(예를 들어, 모니터 또는 디스플레이) 상에 디스플레이되고 있는 그리고/또는 프로세싱 챔버에서 수행되고 있는 프로세스를 더 정확하게 제어하기 위해 제어 회로부(150) 내에서 실행되는 소프트웨어에 의해 사용될 수 있다.
- [0061] [0069] 일부 실시예들에서, 프로세싱 영역(246)에 커플링된 실제 RF 전력은 측정된 전압 값 및 측정된 전류 값 사이의 측정된 위상 차이에 추가로 기초한다. 구체적으로, 이러한 실시예들에서, 측정 포인트에서 즉시적 송신 라인 전력은, 측정된 전압 값, 측정된 전류 값, 및 전압 픽업(311)과 전류 픽업(312) 사이의 측정된 위상 차이의 코사인의 곱이다. 그 다음, 측정된 위상 차이는, 제어 회로부(150)에 커플링되고 사용자가 액세스가능한 그래픽 사용자 인터페이스(예를 들어, 모니터 또는 디스플레이) 상에 디스플레이되고 있는 그리고/또는 프로세싱 챔버에서 수행되고 있는 RF 관련 프로세스들을 더 정확하게 제어하기 위해 제어 회로부(150) 내에서 실행되는 소프트웨어에 의해 사용될 수 있다.
- [0062] [0070] 혼합된 주파수가 제2 RF 생성기(140)에 의해 생성되는 실시예들에서, 이전에 결정된 시스템 위상 오프셋은 먼저 (전압 픽업(311)으로부터의) 제1 전압 신호와 (전류 픽업(312)으로부터의) 제2 전압 신호 사이의 측정된 위상 차이로부터 감산된다. 이러한 방식으로, 전압 픽업(311)과 전류 픽업(312) 사이의 실제 위상 차이는 블록(603)에서 프로세싱 영역(246)에 커플링되는 실제 RF 전력을 계산하기 전에 결정될 수 있다.
- [0063] [0071] 일부 실시예들에서, 프로세싱 영역(246)에 커플링된 실제 RF 전력은 또한 프로세싱 영역(245)에 전달되지 않는 손실된 RF 전력에 기초한다. 예를 들어, 이러한 실시예들에서, 프로세싱 영역(246)에 전달되는 실제 RF 전력은 또한 전도성 리드들(161 및 162)에서 측정된 RF 전력에 기초한다.
- [0064] [0072] 블록(604)에서, 프로세싱 영역(246)에 커플링된 실제 RF 전력이 프로세싱 영역(246)에 커플링된 타겟 RF 전력의 미리 결정된 범위 내에 있는지 여부가 결정된다. 예이면, 전류 출력 크기는 불변으로 유지되고, 방법(600)은 블록(601)으로 진행하며; 아니오이면, 600은 블록(605)으로 진행한다.
- [0065] [0073] 블록(605)에서, 전류 출력 크기는, 프로세싱 영역(246)에 커플링된 실제 RF 전력이 프로세싱 영역(246)에 커플링된 타겟 RF 전력에 가깝거나 그와 동일하도록 조정된다. 그 다음, 방법(600)은 블록(601)으로 다시 진행한다.
- [0066] [0074] 방법(600)의 구현은 고온 환경들에서 RF 전압, 전류, 위상 및 커플링된 RF 전력의 개선된 측정 및 제어를 가능하게 한다. RF 전압 및 전류가 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 프로세싱 영역에 근접한 위치에서 측정될 수 있기 때문에, 커플링된 RF 전력은 더 정확하게 결정되어, 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 성능을 개선하고 플라즈마 프로세스의 챔버-대-챔버 변동을 감소시킬 수 있다.
- [0067] [0075] 본 명세서에 개시된 일부 실시예들에서, V/I 센서는, 비-유기 전기 절연 재료로 구성된 평면 바디(301), 평면 바디(301)에 형성된 측정 개구, 측정 개구 주위에 배치된 전압 픽업, 및 측정 개구 주위에 배치된 전류 픽업을 포함한다. V/I 센서의 평면 구성 및 재료 조성으로 인해, V/I 센서는 플라즈마 프로세싱 챔버(120)의 고온 표면에 근접하게 또는 심지어 그에 접촉하여 배치될 수 있다. 앞서 언급된 바와 같이, 일부 실시예들에서, V/I 센서를 통과하는 RF 전압에 비례하는 전압 신호는 V/I 센서의 전압 픽업 부분으로부터 유도되고, V/I 센서를 통과하는 RF 전류에 비례하는 전압 신호는 V/I 센서의 전류 픽업 부분으로부터 유도되고, 이는 감지

된 신호들의 성질로 인해 센서들 사이에 어떠한 상당한 측정 상호작용도 생성하지 않고 따라서 측정된 값들에서 유도된 에러들을 최소화한다. 따라서, 이러한 팩터들 중 하나 이상에 기초하여, 본 명세서에 개시된 실시예들 중 하나 이상에 의해 제공되는 RF 전압 및 전류 측정들은 일반적으로 종래에 배치된 V/I 센서들보다 정확하다.

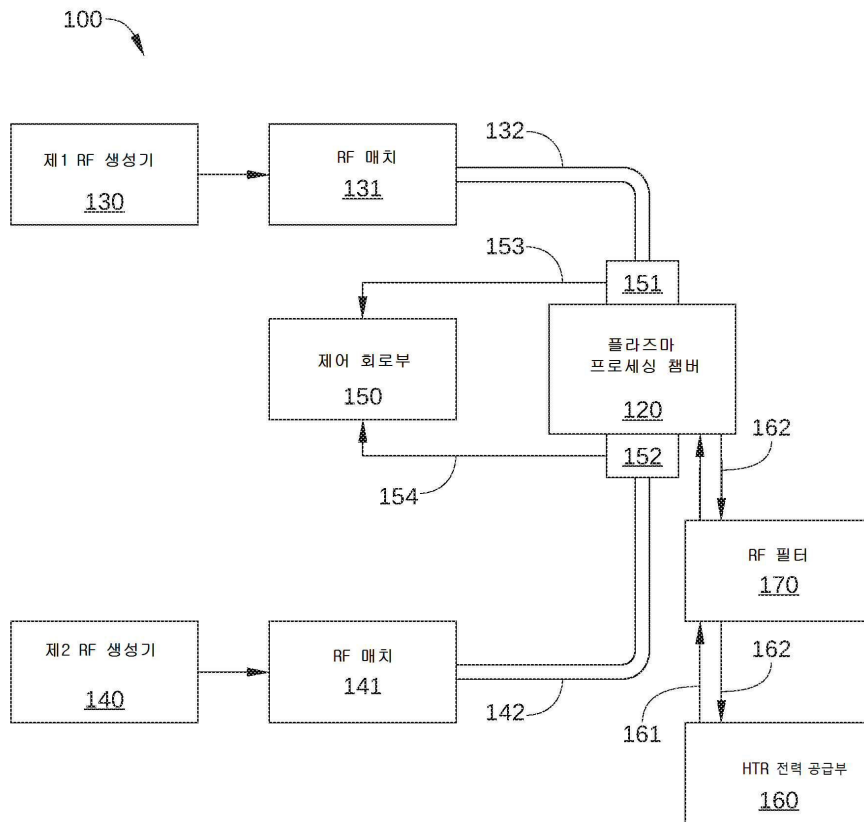
[0068] [0076] 본 실시예들의 양상들은 시스템, 방법 또는 컴퓨터 프로그램 제품으로 구현될 수 있다. 따라서, 본 개시내용의 양상들은 완전한 하드웨어 실시예, 완전한 소프트웨어 실시예(펌웨어, 상주 소프트웨어, 마이크로-코드 등을 포함함), 또는 모두가 일반적으로 본원에서 "회로", "모듈" 또는 "시스템"으로 지칭될 수 있는 소프트웨어 및 하드웨어 양태들을 결합한 실시예의 형태를 취할 수 있다. 또한, 본 개시내용의 양상들은 컴퓨터 판독 가능 프로그램 코드가 구현된 하나 이상의 컴퓨터 판독가능 매체(들)로 구현되는 컴퓨터 프로그램 제품의 형태를 취할 수 있다.

[0069] [0077] 하나 이상의 컴퓨터 판독가능 매체(들)의 임의의 조합이 활용될 수 있다. 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 판독가능 신호 매체 또는 컴퓨터 판독가능 저장 매체일 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 예를 들어, 전자, 자기, 광학, 전자기, 적외선 또는 반도체 시스템, 장치 또는 디바이스, 또는 전술한 것의 임의의 적절한 조합일 수 있지만 이에 제한되는 것은 아닐 수 있다. 컴퓨터 판독가능 저장 매체의 더 특정한 예들(비포괄적 리스트)은 하기의 것, 즉, 하나 이상의 와이어들을 갖는 전기 접속, 휴대용 컴퓨터 디스켓, 하드 디스크, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 소거가능 프로그래머블 판독 전용 메모리(EPROM 또는 플래시 메모리), 광섬유, 휴대용 콤팩트 디스크 판독 전용 메모리(CD-ROM), 광학 저장 디바이스, 자기 저장 디바이스 또는 전술한 것의 임의의 적절한 조합을 포함할 것이다. 본 문헌의 맥락에서, 컴퓨터 판독가능 저장 매체는 명령어 실행 시스템, 장치 또는 디바이스에 의한 사용을 위해 또는 그와 관련하여 프로그램을 포함 또는 저장할 수 있는 임의의 유형의 매체일 수 있다.

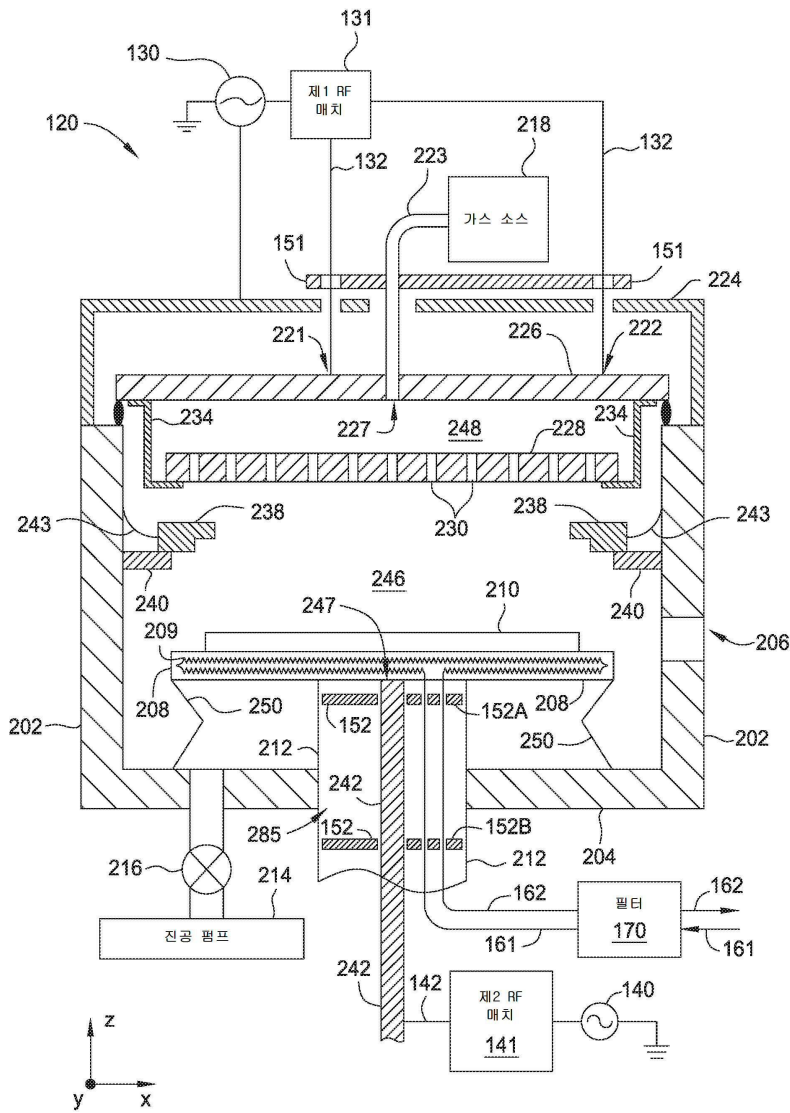
[0070] [0078] 전술한 바가 본 개시내용의 실시예들에 관한 것이지만, 본 개시내용의 다른 및 추가적인 실시예들이 본 개시내용의 기본적인 범위로부터 벗어나지 않으면서 고안될 수 있고, 본 개시내용의 범위는 다음의 청구항들에 의해 결정된다.

도면

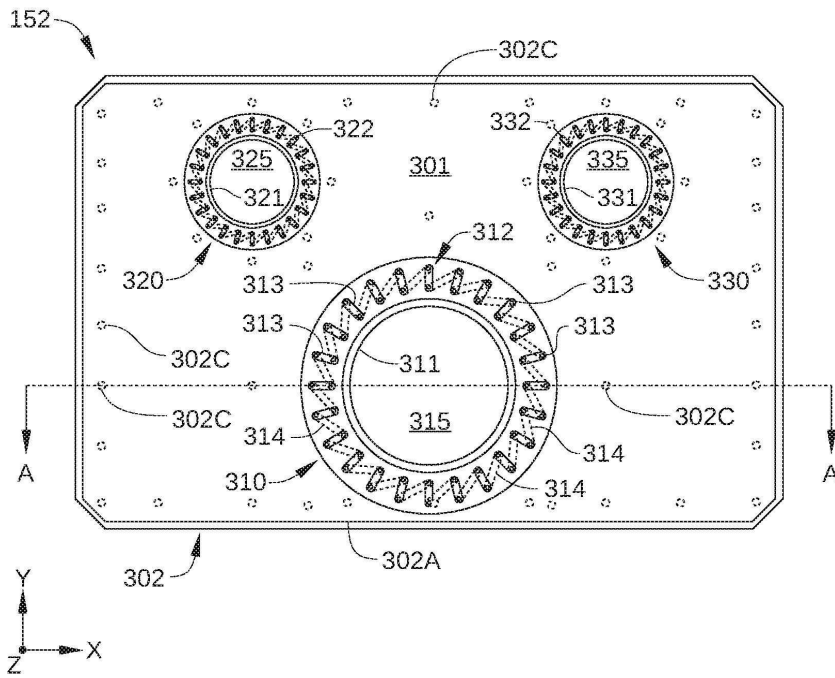
도면1



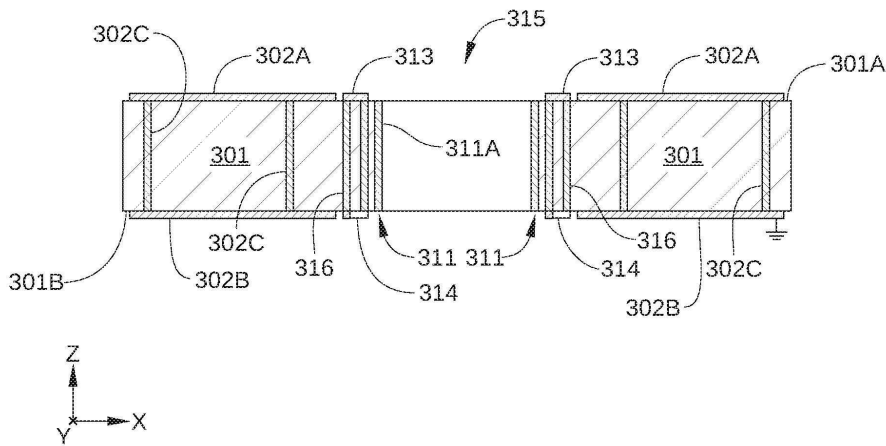
도면2



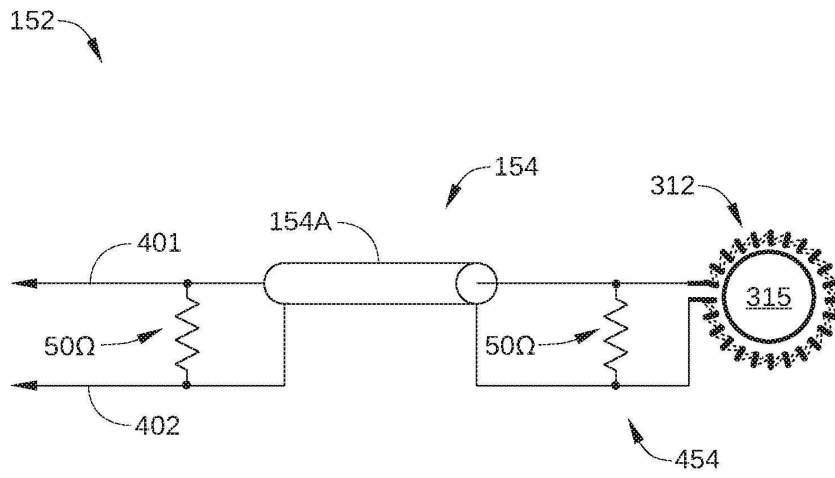
도면3a



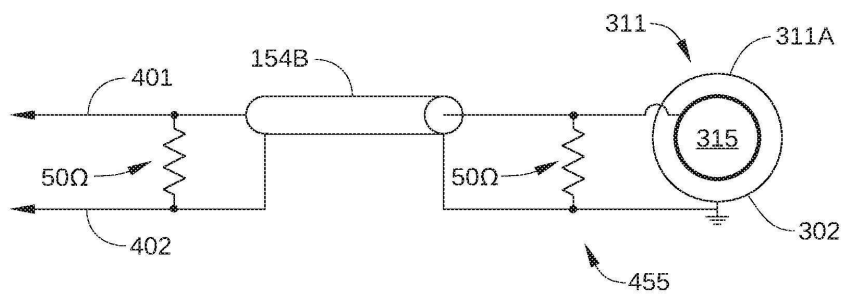
도면3b



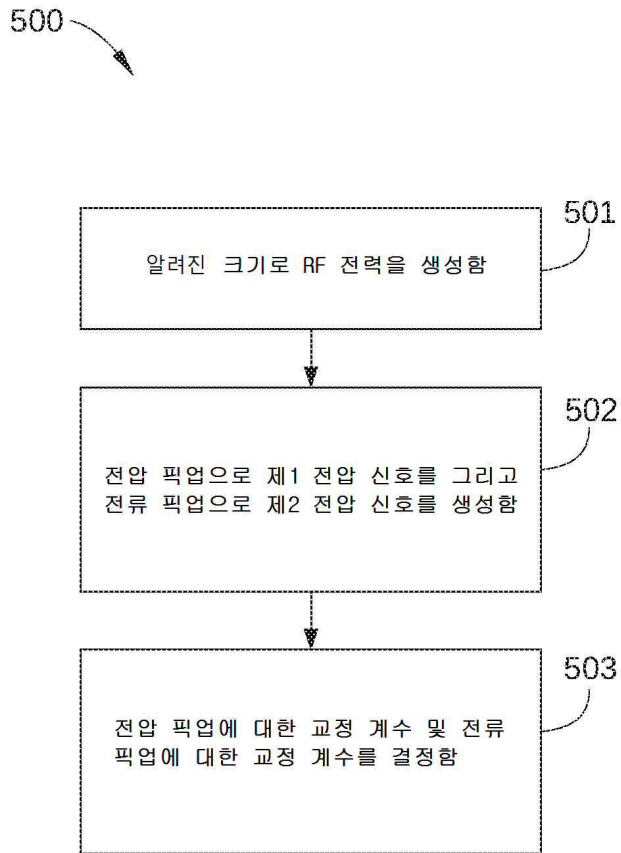
도면4a



도면4b



도면5



도면6

