



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월23일
(11) 등록번호 10-1821424
(24) 등록일자 2018년01월17일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/66 (2006.01) G01N 27/62 (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2012-7012991
(22) 출원일자(국제) 2010년11월19일
심사청구일자 2015년11월18일
- (85) 번역문제출일자 2012년05월18일
(65) 공개번호 10-2012-0097504
(43) 공개일자 2012년09월04일
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/057478
(87) 국제공개번호 WO 2011/063262
국제공개일자 2011년05월26일
- (30) 우선권주장
12/907,859 2010년10월19일 미국(US)
(뒷면에 계속)
- (56) 선행기술조사문헌
US05980767 A*
US06198616 B1*
US20070065594 A1*
US20090045046 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
- (72) 발명자
발코어 존 씨 주니어
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650 램 리써치 코포레이션 리걸 디파트먼트
로저스 제임스
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650 램 리써치 코포레이션 리걸 디파트먼트
- (74) 대리인
특허법인인벤투스

전체 청구항 수 : 총 16 항

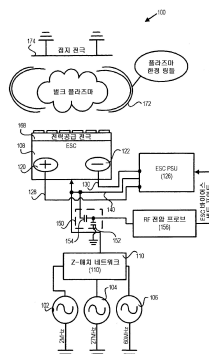
심사관 : 홍중선

(54) 발명의 명칭 플라즈마 프로세싱 시스템에서 플라즈마의 한정 상태를 검출하는 방법 및 장치

(57) 요약

용량 결합 RF 구동 플라즈마 프로세싱 챔버 내에서 플라즈마 한정 상태에서의 변화를 검출하는 방법들 및 시스템들이 개시된다. 하나 이상의 실시형태들에서, 플라즈마 비한정 검출 방법들은, 정전 척 (ESC) 형태의 전력 공급 전극에서의 RF 전압뿐만 아니라 웨이퍼를 ESC에 척킹하는 것을 담당하는 전력 공급기 (PSU) 의 개방 루프 응답을 능동적으로 폴링할 수 있는 아날로그 또는 디지털 회로를 채용한다. 회로는, ESC로 전달되는 RF 전압에서의 변화뿐만 아니라 PSU의 개방 루프 응답에서의 변화 양쪽을 검출하는 수단을 제공한다. 이들 전기 신호들을 동시에 모니터링함으로써, 개시된 알고리즘은 플라즈마가 한정된 상태에서 비한정된 상태로 변화하는 때를 검출할 수 있다.

대표도 - 도1



(30) 우선권주장

61/262,886 2009년11월19일 미국(US)

61/303,628 2010년02월11일 미국(US)

명세서

청구범위

청구항 1

정전 (ESC) 척을 갖는 플라즈마 프로세싱 챔버에서 플라즈마 비한정 (unconfinement) 을 검출하는 방법으로서, 상기 ESC 척에 RF 전압을 제공하는 단계;

상기 ESC 척에 DC 바이어스 전압을 제공하도록 구성되고, 상기 RF 전압을 수신하기 위해 결합된 센터 탭을 갖는 ESC 전력 공급 유닛을 제공하는 단계;

플라즈마 비한정 상태를 나타내는 변화들에 대하여 상기 RF 전압 및 상기 센터 탭을 동시에 모니터링하는 단계로서, 상기 모니터링은 상기 RF 전압에서의 변화의 포지티브 도함수 (positive derivative of a change) 를 검출하는 것을 포함하는, 상기 모니터링하는 단계; 및

상기 플라즈마 비한정 상태가 상기 모니터링에 의해 검출되는 경우, 상기 플라즈마 비한정 상태의 존재를 표시하는 신호를 제공하는 단계를 포함하는, 플라즈마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 RF 전압은 적어도 2 개의 RF 주파수들을 포함하는 광대역 RF 전압인, 플라즈마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 모니터링하는 단계는 상기 변화의 크기가 미리 정의된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 모니터링하는 단계는 상기 센터 탭 상의 개방 루프 DC 응답에서의 변화를 검출하는 단계를 포함하는, 플라즈마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 모니터링하는 단계는 상기 변화의 크기가 미리 정의된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 8

삭제

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 개방 루프 DC 응답은 개방 루프 DC 전압을 나타내는, 플라스마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서,

상기 개방 루프 DC 응답은 개방 루프 DC 전류를 나타내는, 플라스마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 모니터링하는 단계는, 상기 RF 전압에서의 변화의 비율을 검출하는 단계 및 상기 센터 탭 상의 개방 루프 DC 응답에서의 변화의 비율을 검출하는 단계를 포함하는, 플라스마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 신호는, 상기 플라스마 비한정 상태의 검출에 응답하여 정정 액션을 자동적으로 개시하기 위해 피드백 신호로서 채용되는, 플라스마 비한정을 검출하는 방법.

청구항 13

정전 (ESC) 척을 갖는 플라스마 프로세싱 챔버에서 플라스마 비한정 (unconfinement) 을 검출하기 위한 장치로서,

상기 ESC 척은 RF 전압을 수신하도록 구성되고,

상기 장치는,

상기 ESC 척에 DC 바이어스 전압을 제공하도록 구성되고, 상기 RF 전압을 수신하기 위해 결합된 센터 탭을 갖는 ESC 전력 공급 유닛; 및

플라스마 비한정 상태를 나타내는 변화들에 대하여 상기 RF 전압 및 상기 센터 탭 상의 개방 루프 DC 응답을 분석하는 수단으로서, 상기 RF 전압을 분석하는 수단은 상기 RF 전압에서의 변화의 포지티브 도함수를 검출하기 위한 수단을 포함하는, 플라스마 비한정을 검출하기 위한 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 RF 전압은 적어도 2 개의 RF 주파수들을 포함하는 광대역 RF 전압인, 플라스마 비한정을 검출하기 위한 장치.

청구항 15

삭제

청구항 16

제 13 항에 있어서,

상기 분석하는 수단은 상기 RF 전압에서의 상기 변화의 크기가 미리 정의된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하도록 더 구성된, 플라스마 비한정을 검출하기 위한 장치.

청구항 17

제 13 항에 있어서,

상기 분석하는 수단은 상기 센터 탭 상의 개방 루프 DC 응답에서의 포지티브 변화를 적어도 검출하도록 구성된, 플라스마 비한정을 검출하기 위한 장치.

청구항 18

제 13 항에 있어서,

상기 분석하는 수단은 상기 개방 루프 DC 응답에서의 변화의 크기가 미리 정의된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하도록 더 구성된, 플라즈마 비한정을 검출하기 위한 장치.

청구항 19

제 13 항에 있어서,

상기 개방 루프 DC 응답은 개방 루프 DC 전압을 나타내는, 플라즈마 비한정을 검출하기 위한 장치.

청구항 20

제 13 항에 있어서,

상기 분석하는 수단은 상기 RF 전압에서의 상기 변화의 비율을 검출하는 것 및 상기 센터 탭 상의 상기 개방 루프 DC 응답에서의 변화의 비율을 검출하는 것을 포함하는, 플라즈마 비한정을 검출하기 위한 장치.

발명의 설명

배경 기술

[0001] 반도체 제품들의 제조에서, 기관들 (예를 들어, 반도체 웨이퍼들) 은 반도체 디바이스들을 생성하기 위해 여러 레이어 (layer) 들을 연속적으로, 성막하고, 에칭하며, 연마함으로써 프로세싱된다. 반도체 산업 내에서, 기관으로부터 재료를 드라이 에칭하기 위해 RF (무선 주파수) 구동 (driven) 플라즈마의 이점들을 활용하는 것은 흔한 실시이다. 플라즈마 에칭 프로세스들 동안, 프로세스 중인 기관에 대한 프로세스 효율 및 수율을 개선하기 위해 플라즈마의 안정성과 균일성이 제어되는 것이 가장 중요하다. 이는 여러 방법들을 통해 달성될 수 있으며, 이들 중 하나는, 플라즈마를 관심 프로세스 영역에 한정하기 (confine) 위해 플라즈마 챔버 내에 기계적 및 전기적 엘리먼트들의 사용을 통해 플라즈마 형성을 제어하는 것이다. 이들 장치들은 본 기술 분야에서 공지되어 있고, 여기서 더 자세히 설명되지는 않을 것이다.

[0002] 플라즈마 한정 (confinement) 이 잘 이해되는 실시이기는 하지만, 한정된 플라즈마가 프로세스 챔버 내에서 비 한정된 상태로 변화하는 때를 검출할 필요가 있다. 비 한정된 플라즈마는 파티클 (particle) 오염 및 플라즈마 불균일성을 초래할 수 있고, 이는 프로세스 중인 기관의 수율에서의 저하 및/또는 플라즈마 프르세싱 시스템에 대한 손상으로 이어질 수도 있다. 플라즈마 한정에서의 변화를 검출하기 위한 현행 체계는 정전 척 (ESC) 의 외부 링에 부착되고 플라즈마와 직접 접촉하는 실리콘 카바이드 (Si Carbide) 핀을 채용한다. 1998년 4월 7일 특허된 미국 특허번호 5,737,177호는 하나의 그러한 체계를 개시한다. 이 기구는 플라즈마 시스 (sheath) 전위의 DC 측정을 제공함으로써 플라즈마 한정에서의 변화를 검출하는 상대적으로 신뢰할만한 수단을 제공하지만, 그것은 자주 교체되어야 하는 소모성 부품이고, 더 높은 RF 전력들에서 플라즈마 비균일성들 (non-uniformities) 을 유도할 수 있으며, 파티클 오염 문제들을 초래할 수 있다. 플라즈마 한정에서의 변화를 검출하기 위한 다른 체계는 OES 기법 (광 방사 분광 (Optical Emission Spectroscopy) 기법) 의 이용을 통한 것이다. 그러나, 그것은, OES 신호들을 모니터링하는 것이 지나치게 복잡하고 자주 신뢰할 수 없는, 플라즈마 비한정 이벤트들을 검출하는 방법이라는 것이라고 발견되었다.

[0003] 따라서, 플라즈마 프르세싱 시스템에서의 비한정 플라즈마 이벤트들을 검출하기 위한 대안적인 방법들 및 장치들이 바람직하다.

도면의 간단한 설명

[0004] 본 발명은, 첨부된 도면들의 도 (figure) 들에서 비제한적인 예로서 도시되고, 도면들에서 유사한 참조 번호들은 유사한 엘리먼트들을 나타낸다.

도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른, 한정된 멀티-주파수 용량성 RF 플라즈마를 생성하기 위한 예시적인 시스템 구성이다.

도 2는 본 발명의 일 실시형태에 따른, 도 1의 RF 컴포넌트들의 단순화된 회로를 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시형태에 따른, ESC 극 (pole) 전압과 플라스마 한정 상태 (state) 사이의 상관 (correlation) 을 도시한다.

도 4는 본 발명의 일 실시형태에 따른, 플라스마 비한정 (unconfinement) 검출 기법을 구현하는 예시적인 알고리즘의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0005] 본 발명은 이제 첨부된 도면들에서 도시된 바와 같은 몇 개의 실시형태들을 참조하여 상세하게 설명될 것이다. 이하의 설명에서, 다수의 특정한 세부사항들이 본 발명의 완전한 이해를 제공하기 위해 제시된다. 그러나, 본 발명이 이들 특정한 세부사항들의 일부 또는 전부가 없이도 실시될 수도 있다는 것은 당업자에게는 자명할 것이다. 다른 예시들에서, 공지의 프로세스 단계들 및/또는 구조들은 본 발명을 불필요하게 불명료하게 하지 않기 위하여 상세히 설명되지 않았다.
- [0006] 하나 이상의 실시형태들에서, 용량 결합 (capacitively coupled) RF 구동 플라스마 프로세싱 챔버 내에서 플라스마 한정 상태에서의 변화를 검출하는 방법들 및 장치가 개시된다. 하나 이상의 실시형태들에서, 플라스마 비한정 검출 방법들은, 정전 척 (ESC) 형태의 전력공급 (powered) 전극에서의 RF 전압뿐만 아니라 웨이퍼를 ESC에 척킹 (chucking) 하는 것을 담당하는 바이어스 전력 공급기 (PSU) 의 개방 루프 응답을 능동적으로 폴링 (poll) 할 수 있는 아날로그 및/또는 디지털 회로를 채용한다. 본 발명의 실시형태들은, ESC로 전달되는 RF 전압에서의 변화뿐만 아니라 PSU의 개방 루프 응답에서의 변화 양쪽에 대한 검출을 용이하게 한다. 이들 전기 신호들을 동시에 모니터링함으로써, 개시된 기법들은 플라스마가 한정된 상태에서 비한정된 상태로 변화하는 때를 검출할 수 있다.
- [0007] 본 발명의 하나 이상의 실시형태들에서, ESC에 전달되는 RF 전압 (RF_VDT_ESC) 및 DC 바이어스 ESC 전력 공급기의 개방 루프 응답 (OLR_DC_BIAS) 양쪽의, 변화의 비율 (도함수 (derivative)) 및 선택적으로 그 변화의 크기가 검사된다. RF_VDT_ESC의 변화의 비율이 포지티브 (positive) 이고 OLR_DC_BIAS의 변화의 비율이 네가티브 (negative) 인 체제에서, 비정상 상태 경보가 트리거링된다 (triggered). 하나 이상의 실시형태들에서, 변화들의 크기가 플라스마 비한정 이벤트를 나타내는 것으로 경험적으로 이미 결정된 어떤 임계값을 넘는 경우, 플라스마 비한정 상태가 발생된 것으로 간주되고, 비한정 경보 신호가 발생된다.
- [0008] 더 자세하게 설명하면, 한정된 상태에서부터 비한정된 상태로 플라스마가 변할 때, RF 전압 파라미터들을 이용한 컴퓨팅된 ESC 바이어스 값은 순 (true) 플라스마 시스 전압에 역 비례한다는 것이 발견되었다. 그 시스템을 더 검토할 때, ESC 극들에 대한 기준 전압에 전력제공하는 (drive) 것을 담당하는 ESC 전력 공급 유닛 (PSU) DC/DC 블럭 (brick) 의 개방 루프 응답은, 플라스마가 한정된 상태에서 비한정된 상태로 변화할 때, 증가된 플라스마 시스 전압의 반사 (reflection) 를 오실레이팅한다 (oscillate) 는 것이 발견되었다.
- [0009] 도 1은 전력공급 전극이 쌍극형 (bipolar) ESC인, 한정된 멀티-주파수 용량성 RF 플라스마를 발생시키는 예시적인 시스템 구성이다. 플라스마는 또한 원형 퀴츠 링들 (circular quartz rings) 의 세트에 의해 한정되며, 이는 가스의 흐름을 제어하여 플라스마가 존재하는 내부의 공간을 제어한다.
- [0010] 플라스마 프로세싱 시스템 (100) 은, 3 개의 RF 전력 공급기들 (102, 104, 및 106) 이 매치 네트워크 (match network; 110) 를 통해 ESC 척 (108) 에 RF 전압들을 전달하는 멀티-주파수 용량 결합 플라스마 프로세싱 시스템이다. 도 1의 예에서, 임의의 수 및 범위의 주파수들이 채용될 수도 있지만, 3 개의 RF 주파수들 (2MHz, 27MHz, 및 60MHz) 이 채용된다.
- [0011] ESC (108) 는 2 개의 극들이 있다는 점에서 쌍극형 ESC이다: 포지티브 극 (120) 및 네가티브 극 (122). ESC PSU (126) 도전체들 (128 및 130) 각각을 통해 극들 (120 및 122) 에 클램핑 (clamping) 전압들을 공급한다. 센터 탭 (center tap; 140) 은 ESC (108) 의 DC 전위를 바이어싱하기 (bias) 위해 ESC (108) 의 DC 전위에 전력제공을 한다 (drive).
- [0012] (캐패시터들 (152 및 154) 를 포함하는) 캐패시터 디바이더 네트워크 (capacitor divider network; 150) 및 RF 전압 프로브 (156) 는, ESC (108) 에 제공되는 ESC 바이어스를 제어하기 위해 ESC PSU (126) 로의 피드백 신호로서의 입력인 ESC 바이어스 세트 포인트 신호를 유도하도록 채용된다. RF 전압 프로브 (156) 에 관한 추가 세부사항들은, 발명의 명칭이 "BIAS COMPENSATION APPARATUS AND METHODS THEREFOR" 이고 John Valcore, Jr.에 의해 2010년 2월 10일 출원된 미국 출원번호 61/303,628 인 공유된 (commonly-owned) 가특허 출원 및 발명의 명칭이 "METHOD AND DEVICE FOR COMPENSATING WAFER BIAS IN A RF DRIVEN PLASMA CHAMBER" 이고 John

Valcore, Jr.에 의해 2009년 11월 19일에 출원된 미국 출원 번호 61/262,886인 공유된 가특허 출원에 개시되어 있고, 이들은 여기서 참조에 의해 병합된다.

- [0013] 여기서 추후에 논의되는 바와 같이, 이 피드백 루프에서의 고유성질 지연 (inherent delay) 은, 플라스마 비한정 이벤트가 발생할 때 센터 탭 (140) 에서 검출가능한 순간 응답 (momentary response) 이 존재하는 결과를 초래한다. 이 순간적인 본질적 개방 루프 응답은, 단시간이며, RF 전압 프로브 (156) 로부터의 피드백 신호가 보상할 (compensate) 수 있기 전에 발생한다. ESC PSU (126) 의 이 순간적인 개방 루프 응답 (OLR_DC_BIAS) 의 변화의 비율 및 선택적으로 그 변화의 크기를 모니터링함으로써, 플라스마 비한정 이벤트를 나타내는 2 개의 지표들 중 하나가 검출될 수도 있다. 앞서 논의된 바와 같이, 플라스마 비한정 이벤트를 나타내는 2 개의 지표들 중 다른 지표는, ESC 척 (108) 에 전달되는 RF 전압의 변화의 비율 및 선택적으로 그 RF 전압의 크기이다.
- [0014] 도 1의 논의에서의 완성을 위해, 웨이퍼는, ESC 척 (108) 위에 결과적으로 배치되는 전력공급 전극 (168) 상에 통상적으로 배치된다. 프로세싱 동안, 벌크 플라스마 (170) 는, 그 웨이퍼 위에 형성되고, 한정 링들의 세트 (172) 및 상부 접지 전극 (174) 에 의해 한정된다.
- [0015] 플라스마가 한정된 상태에서부터 비한정된 상태로 천이할 때, ESC 척으로 전달되는 RF 전압의 변화의 비율 및 그 RF 전압의 크기가 증가된다는 것이 발견되었다. 도 2는 도 1의 RF 컴포넌트들의 단순화된 회로를 도시한다. 도 1의 임피던스 매칭 네트워크 (110) 및 독립 RF 소스들 (102, 104, 및 106) 은 도 2에서 단일한 RF 소스 (202) 로 통합되어 있다. 도 1의 전력공급 전극 (168), 접지 전극 (174), 및 플라스마 한정 링들 (172) 은, 전력공급 전극 (168) 을 표현하는 판 (plate; 210a) 및 접지 전극 (174) 를 표현하는 판 (210b) 를 구비한 단순 가변 캐패시터 (210) 로 표현되어 있다.
- [0016] 챔버의 캐패시턴스가 전극들의 표면 면적의 직접 함수 (direct function) 라는 것 및 한정 링들이 챔버에서 활용되는 유효 표면 면적 (effective surface area) 을 제어하는 것을 고려하면, 도 1에서의 용량성 챔버에 대한 등가 전기 회로의 1차 근사 (first order approximation) 는 유도성 및 저항 회로 컴포넌트들을 무시함으로써 도 2로 감축될 수 있다. 이 단순화된 회로는 플라스마 임피던스, ESC 척으로 전달되는 RF 전압의 크기 그리고 플라스마 한정 상태 사이의 상관을 도시하는데 사용될 수 있다.
- [0017] RF 전력이 전압의 함수라는 것 및 플라스마 임피던스가 전압 및 챔버의 캐패시턴스의 함수라는 것을 고려하면, 만일 RF 전력이 일정하고, 플라스마가 한정된 상태에서부터 비한정된 상태로 이동함에 따라 챔버의 캐패시턴스가 증가하여 접지 영역을 증가시키는 경우, ESC 척으로 전달되는 RF 전압은 감소되어야 한다. 일정한 RF 전력에 대해 접지 영역에 대한 RF 전압의 이 상관은 플라스마 한정에서의 상태 변화를 검출할 때 기본적인 엘리먼트를 제공한다.
- [0018] 더 자세하게 설명하면, 캐패시턴스는 다음과 같이 정의된다:
- [0019]
$$C = K * E * A / D \quad (\text{수학식 1})$$
- [0020] 여기서 C는 캐패시턴스이고, K는 전극들의 유전 상수이고, E는 자유 공간의 유전율 (permittivity) 이며, A는 전극의 면적이며, D는 전극들 사이의 거리이다.
- [0021] 한정된 상태에서, 한정 링들은, 플라스마를 구속 (constraining) 함으로써 그리하여 전류들이 전극들 사이를 흐르는 표면 영역을 제한함으로써, 캐패시턴스를 제어한다. 비한정된 플라스마는 면적 A에서의 증가를 초래한다. A가 증가하는 경우, 캐패시턴스 C는 수학식 1에 따라 또한 증가한다.
- [0022] 이상적인 캐패시터에 대하여, 임피던스는 다음과 같이 정의된다.
- [0023]
$$Z = \text{SQRT} (R^2 + (1/(2*\text{Pi}*f*C))^2) \quad (\text{수학식 2})$$
- [0024] 여기서 R = 0이고, Pi 는 수학 상수이고, f는 RF 소스의 주파수이며, C는 캐패시턴스이다. f가 일정한 경우, 수학식 2로부터 Z가 C에 역 비례한다는 것을 알 수 있다.
- [0025] 전력 전달은 아래 수학식 3에 의해 지배된다.
- [0026]
$$P = I * V * \cos (\text{theta}) \quad (\text{수학식 3})$$
- [0027] 여기서 P는 전력이고, I는 전류이며, V는 전압이며, theta는 V와 I 사이의 위상이다.
- [0028] 전달되는 RF 전력은 임피던스의 함수이다.

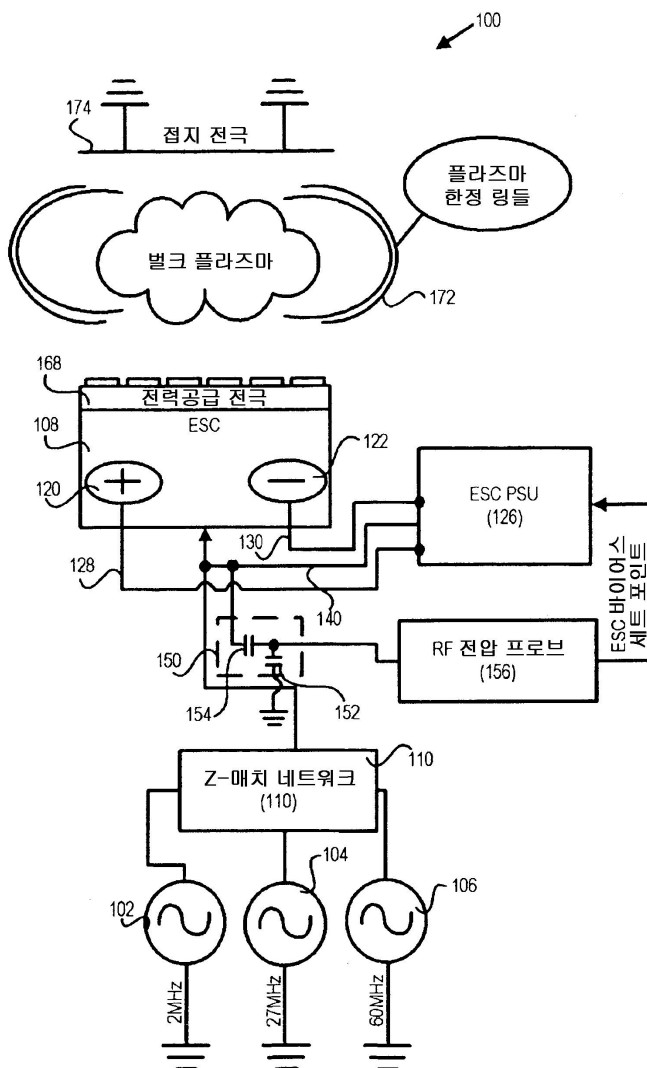
- [0029] $Z = V / I$ (수학식 4)
- [0030] 여기서 Z 는 임피던스이고, V 는 전압이고, I 는 전류이다.
- [0031] $R = 0$ 일 때, Z 는 $1/(2\pi fC)$ 로 단순화될 수 있다 (상기 수학식 2 참조).
- [0032] Z 가 대략 $1/(2\pi fC)$ 인 것을 고려하면, 수학식 4로부터 다음과 같이 된다.
- [0033] $1/(2\pi fC) = V / I$ (수학식 5)
- [0034] $C = K * E * A / D$ (수학식 1 참조) 이기 때문에, A 가 비한정 플라즈마 이벤트에 기인하여 증가하는 경우, C 는 증가하고 Z 는 감소한다.
- [0035] 또한, $P = I * V * \cos(\theta)$ (수학식 3 참조) 이기 때문에, 만일 P 가 일정하고 θ 가 일정하며, 만일 C 가 증가하는 경우, V 는 감소하고 I 는 증가한다.
- [0036] 따라서, 도 2로부터 및 도 2에 수반하는 논의로부터 알 수 있듯이, 한정된 플라즈마 상태에서부터 비한정된 플라즈마 상태로의 전이는 ESC에 전달되는 RF 전압에서의 증가 (포지티브 도함수) 를 동반한다. ESC에 전달되는 RF 전압에서의 이 증가의 검출은 제안된 비한정 플라즈마 검출 체계에서의 하나의 상태를 표현한다. 바람직하다면, 크기 임계값 또는 크기 변화 임계값이 거짓 (false) 포지티브들을 감소시키도록 확립될 수도 있다.
- [0037] ESC에 공급되는 RF 전압을 플라즈마 한정에 상관시키는 것 외에도, ESC 극 전압과 플라즈마 한정 사이의 다른 기본적인 상관관계가 있다는 것이 발견되었다. 도 3은 ESC 극 전압(들)과 플라즈마 한정 상태 사이의 상관관계를 도시한다. 도 3의 이 단순화된 DC 등가 회로에서, (ESC 클램프 전극을 표현하는) 판 (302a) 및 (웨이퍼를 표현하는) 판 (302b) 를 포함하는 평행판 캐패시터 (302) 가 제시된다. 평행판 캐패시터 (302) 는 ESC 극과 플라즈마 시스 사이에 형성되어 있으며, 여기서 세라믹 및 웨이퍼가 그 2개의 판들 사이에서 유전체를 형성한다.
- [0038] ESC 극은 DC 전력 공급기 (310) 에 의해 전력공급이 되고 (drive), 시스 전압은 DC로서 행동하는 플라즈마의 함수이다. 접지 전극 전압에 대한 전력공급 전극 전압의 비가 전력공급 전극 면적에 대한 접지 전극 면적의 비와 동등하다는 것을 고려하면 (비율은 DC 및 RF 양쪽에 적용됨), 접지 전극의 면적이 비한정 플라즈마 이벤트의 발생에 기인하여 증가하고 전력공급 전극 면적이 일정하게 유지될 때, 시스 전압은 증가한다.
- [0039] 도 3에서, ESC 극에서의 DC 전압은, ESC PSU (310) 에 의해 공급되는 전압 및 반대극 상의 전하 및 그 2 개의 극들에 의해 형성되는 캐패시턴스의 함수이다. 플라즈마가 한정된 상태에서 비한정된 상태로 변화함에 따라 시스 전압이 증가하고, 캐패시턴스가 그 극들 사이에서 일정하게 유지될 때, ESC 극은 시스 전압에 의해 충전될 것이다. 이 충전 효과는, 플라즈마가 비한정된 상태로 되어 갈 때 ESC PSU (310) 의 임펄스 응답에서 알 수 있다.
- [0040] 특히, 센터 탭 DC 전압 공급은, ESC 극 전압의 충전에 의해 유도되는 부하 변화의 함수로서 오실레이팅할 것이다. 센터 탭 DC 공급은, 플라즈마 시스 전위에 관계없이 웨이퍼 상에 일정한 클램프력 (clamp force) 을 제공하기 위해 ESC 클램프 전압 공급에 대한 기준 전압을 유지하는데 사용된다. (센터 탭에 존재하는) ESC PSU (310) 의 순간적인 개방 루프 응답은 플라즈마 한정 상태 (및 대응하여 플라즈마 비한정 상태) 를 검출하는데 사용되는 두 번째 지표를 제공한다.
- [0041] 플라즈마가 한정된 상태에서부터 비한정된 상태로 변화하는 것에 응답하여 ESC에 전달되는 RF 전압에서의 변화 및 ESC PSU 개방 루프 응답에서의 변화 양쪽을 이용하는 것은 플라즈마 한정 상태 변화를 검출하기 위해 필요한 파라미터들을 제공한다.
- [0042] 도 4는, 입력 파라미터들이 ESC PSU 센터 탭 (402) 에서 측정되는 DC 전압 및 RF 전압 프로브 파라미터 (404) 인 상태에서, 마이크로프로세서 내부에서 및/또는 코드를 통해 구현되는 예시적인 알고리즘의 흐름도이다. RF 전압 프로브 파라미터 (404) 는 ESC에서의 RF 전압을 표상하는 단일의 또는 복합적인 신호일 수 있다. 단순화를 위해, RF 전압 파라미터는 광대역 RF (BB RF) 신호로 라벨링되며 (labeled), 여기서부터 앞으로 BB RF 로 지칭될 것이다.
- [0043] BB RF 신호 및 ESC PSU 센터 탭 전압은 독립적인 저역 통과 필터들 (408 및 406 각각) 을 통해 피딩된다 (fed). 도 4는 단순 이동 평균 (simple moving average) 으로서 알려진 1차 저역 통과 필터를 참조한다. 그러나, 아날로그든 디지털이든 임의의 다른 적합한 필터가 또한 채용될 수도 있다고 이해되어야 한다. 그 후 각각의 개별 필터의 출력은 각각의 개별 신호 (410 및 412) 의 현재 샘플 (current sample) 과 비교된다.

비교는 블록들 (414 및 416) 에 나타나 있다.

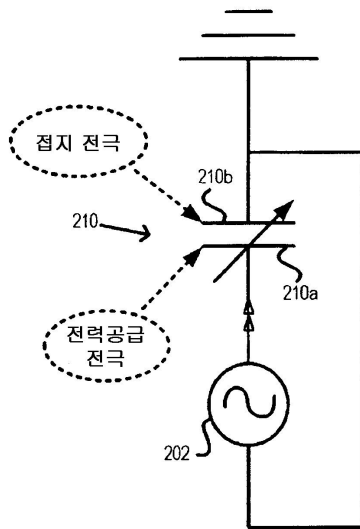
- [0044] ESC PSU 센터 탭 전압에서 충분한 포지티브 크기 변화 ($dv/dt \gg 0$) 가 있는 경우 (414), 그러면 이벤트 플래그 (event flag) 는 도 4의 블록 (420) 에서 'PSU_Event = 1'로 셋팅되고 라벨링된다. 유사한 방식으로, BB RF 신호가 충분한 네가티브 크기 ($dv/dt \ll 0$) 를 갖는 경우 (블록 416), 그러면 이벤트 플래그는 'RF Event = 1'로 셋팅되고 라벨링된다 (블록 422). 어느 하나의 이벤트 플래그가 등가 (equivalent) 디지털 "온 (on)" 상태로 세팅되지 못하는 경우, 그러면 검출 루프는 계속하여 각각의 개별 신호에 대한 다음 이용가능한 샘플을 폴링하고 (poll) 비교할 것이다 (블록 424 및 426).
- [0045] 양쪽의 이벤트 플래그들이 온 (on) 으로 토글링되면 (toggled) (블록 430), 델타 함수가 컴퓨팅된다. 이 델타 함수는 ESC PSU 센터 탭 도함수 (derivate) 의 크기에 대하여 RF BB 도함수의 크기를 컴퓨팅한다. 그 도함수들이 서로에 대하여 충분한 크기인 경우 (블록 432), 그러면 'Unconfined_Plasma = 1' 이라는 이벤트 플래그 (434) 가 툴 호스트 (Tool host) 에 전송되고 (436), 툴 호스트는 플라즈마 챔버를 제어하는 것을 담당하여, RF 전달 전력을 변경하는 것, 압력 또는 챔버로의 가스 흐름을 변경하는 것, 또는 한정 링 포지션을 조정하는 것, 또는 등등과 같은 정정 액션이 취해질 수 있도록 한다.
- [0046] 대안적으로, 센터 탭 전압이라기보다는 또는 센터 탭 전압 외에도, ESC 기저판 (baseplate) 으로의 전기 센터 탭 전류를 모니터링하는 것이 가능하다. 비한정 이벤트 동안 도 2에서 나타난 캐패시터를 충전하는데 요구되는 급전류 (sudden current) 는 전위 비제어 프로세싱 상태 이벤트 (potential uncontrolled processing condition event) 의 또 다른 적합한 지시자 (indicator) 일 것이다.
- [0047] 하나 이상의 실시형태들에서, 플라즈마 비한정 검출 체계는 아날로그 저역 통과 필터들 및 비교기들을 이용한 아날로그 도메인 내에서, 및/또는 DSP, FPGA/CPLD, 또는 마이크로프로세서를 이용한 디지털 도메인 내에서 구현될 수도 있다. 하나 이상의 실시형태들에서, RF 전압 프로브는 도 1에서 보이는 바와 같이 임피던스 매칭 네트워크와 전력공급 전극 사이의 송신 라인을 따라 어느 곳에서나 위치될 수 있다. 하나 이상의 실시형태들에서, ESC PSU 센터 탭 전압은 ESC와 ESC PSU 내부 회로 사이의 어느 곳에서나 측정될 수 있다. 하나 이상의 실시형태들에서, ESC의 기저에서의 고 임피던스 전압 디바이더는, 도 1에서 보이는 바와 같이, 그리고 ESC PSU의 직접 출력에서의 ESC PSU 센터 탭 전압으로 채용된다. 하나 이상의 실시형태들에서, 그 후 이들 신호들 양자는 (AZ, Chandler의 Microchip Technology, Inc.로부터 이용가능한) 등가 40MHz 클록을 갖는 PIC 18F4523 8-비트 마이크로프로세서로 피딩된다.
- [0048] 하나 이상의 실시형태들에서, 천이 응답들의 시간 척도 (time scale) 및 방향은 구동 RF 주파수들 및 각각의 RF 주파수와 연관된 전력량의 함수일 수도 있다. 하나 이상의 실시형태들에서, 더 많은 전력을 갖는 RF 신호들이 우세한 (dominate) 경향이 있고, 이들 주파수들에서의 응답들이 더 두드러질 (pronounced) 수도 있으며, 이는 검출을 더욱 신뢰할만하게 한다. 하나 이상의 실시형태들에서, 이것들은 검출 전략으로 병합될 수도 있는 일반적인 정보이다.
- [0049] 상술된 것들로부터 이해될 수 있듯이, 본 발명의 실시형태들은, 간섭적 (intrusive), 인-시츄 (in-situ) 모니터링 기구의 사용을 필요로 하지 않고서, (플라즈마 비한정이 일 예인) 비정상적인 플라즈마 상태의 검출을 가능하게 한다. 그렇게 할 때, 플라즈마 유도 마멸, 오염, 및 그러한 인-시츄 모니터링 기구들과 연관된 교체/클리닝에 관한 문제들이 제거된다. ESC로 전달되는 RF 전압에서의 변화 및 ESC PSU의 개방 루프 응답에서의 변화 양쪽을 모니터링함으로써, 그리고 선택적으로 거짓 포지티브들을 감축하기 위해 임계화 (thresholding) 를 채용함으로써, 본 발명의 실시형태들은 비정상적인 플라즈마 상태들을 검출하여 툴 호스트로 하여금 적절하게 정정 조치들을 제공하게 하거나 추가 피해를 피하기 위해 툴을 정지하도록 할 수 있는 견고한 기법을 제공한다.
- [0050] 예시적인 실시형태들 및 최상 모드를 개시하였고, 다음의 청구항들에 의해 정의되는 발명의 대상 및 사상 내에서 유지하면서 변경들 및 변형들이, 개시된 실시형태들에 대하여 이루어질 수도 있다.

도면

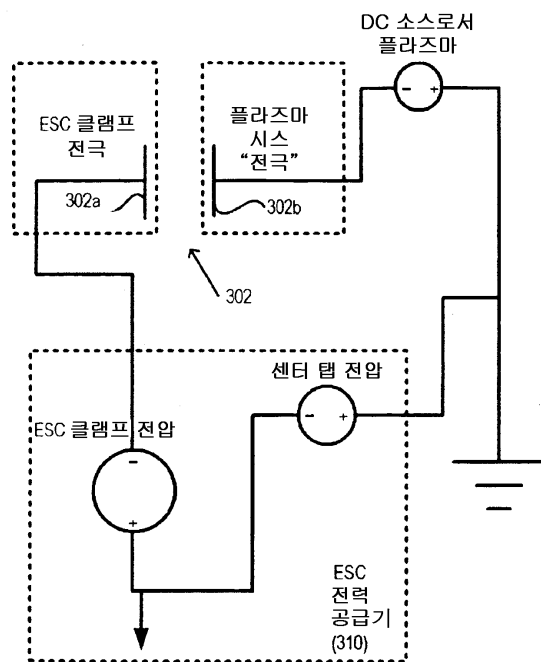
도면1



도면2



도면3



도면4

