(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년04월09일
(11) 등록번호 10-1967490
(24) 등록일자 2019년04월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 49/04 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7028485
(22) 출원일자(국제) 2012년03월28일
심사청구일자 2017년03월24일
(85) 번역문제출일자 2013년10월28일
(65) 공개번호 10-2014-0030168
(43) 공개일자 2014년03월11일
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/030960
(87) 국제공개번호 WO 2012/135351
국제공개일자 2012년10월04일
(30) 우선권주장
61/468,187 2011년03월28일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20090242791 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
도쿄엘렉트론가부시키가이샤
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5쵸메 3반 1고
(72) 발명자
첸 리
미국 텍사스주 78612 세다르 크릭 콜로라도 드라이브 383
레인 바톤
미국 텍사스주 78735 오스틴 트래비스 그린 레인 5404
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김진희, 김태홍

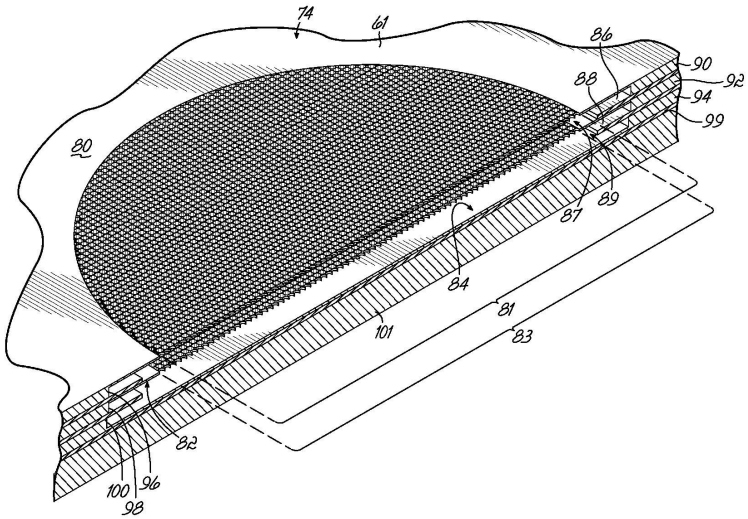
전체 청구항 수 : 총 64 항 심사관 : 이양근

(54) 발명의 명칭 **이온 에너지 분석기, 그 내부에서의 전기 신호화 방법, 그 제작 방법 및 작동 방법**

(57) 요 약

플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 이온 에너지 분석기(74, 122, 174)는 입구 그리드(80, 126, 160), 선택 그리드(82, 134, 134') 및 이온 컬렉터(84, 136, 136')를 구비한다. 입구 그리드(80, 126, 160)는, 플라즈마(66)의 드바이 길이보다 작은 치수의 복수의 제1 개구를 구비한다. 이온 컬렉터(84, 136, 136')는 제1 전압 소스(182)를 매개로 입구 그리드(80, 126, 160)에 결합된다. 선택 그리드(82, 134, 134')는 입구 그리드(80, 126, 160)와 이온 컬렉터(84, 136, 136') 사이에 위치 결정되고, 제2 전압 소스(180)를 매개로 입구 그리드(80, 126, 160)에 결합되어 있다. 이온 전류 미터(106)가 이온 컬렉터(84, 136, 136')에 결합되어 이온 컬렉터(84, 136, 136')에 대한 이온 플럭스를 측정하고 그에 관련한 신호를 전달한다.

대 표 도



(72) 발명자

펑크 메릿

미국 텍사스주 78709 오스틴 실버 마운틴 코브 8412

자오 지안핑

미국 텍사스주 78739 오스틴 마젠타 레인 6424

선다라라잔 래드하

미국 텍사스주 78620 디립핑 스프링스 캣피쉬 코브 149

명 세 서

청구범위

청구항 1

플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용되는 이온 에너지 분석기로서,

분석기가 플라즈마 처리 장치에 위치 결정되어 있을 때에 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성하는 입구 그리드(entrance grid)로서, 상기 입구 그리드는 복수의 제1 개구를 구비하고, 각각의 제1 개구는, 플라즈마의 바운더리에서의 플라즈마 시스(sheath)가 비교적 흔들리지 않고 남아 있고 플라즈마 시스가 복수의 제1 개구를 관통하지 않도록 플라즈마의 드바이 길이(Debye length)보다 작은 치수를 갖는 것인, 상기 입구 그리드와,

상기 이온 에너지 분석기의 제2면을 형성하는 이온 컬렉터와,

상기 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되고, 상기 이온 컬렉터를 상기 입구 그리드에 대하여 바이어스시키도록 구성된 제1 전압 소스와,

상기 입구 그리드와 이온 컬렉터의 사이에 위치 결정되고 복수의 제2 개구를 갖는 선택 그리드와,

상기 선택 그리드에 조작 가능하게 결합되고, 상기 선택 그리드를 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키도록 구성된 제2 전압 소스와,

상기 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되고, 이온 컬렉터에 대한 이온 플럭스를 측정하고 측정한 이온 플럭스를 나타내는 신호를 전달하도록 구성된 이온 전류 미터와,

상기 입구 그리드와 선택 그리드 사이에 위치하고, 상기 입구 그리드를 상기 선택 그리드로부터 전기적으로 차폐하도록 구성되며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하도록 구성된 제1 인슐레이터로서, 상기 제1 인슐레이터의 기하형상은, 상기 제1 인슐레이터의 표면을 따라 연장되는 모든 가능한 경로의 세트 중에서, 각각 상기 입구 그리드 및 선택 그리드 상에 있는 임의의 두 점 사이에 직선 경로가 존재하지 않도록 선택되는 것인, 상기 제1 인슐레이터와,

상기 선택 그리드와 이온 컬렉터 사이에 위치하고, 상기 선택 그리드를 상기 이온 컬렉터로부터 전기적으로 차폐하도록 구성되며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하도록 구성된 제2 인슐레이터로서, 상기 제2 인슐레이터의 기하형상은, 상기 제2 인슐레이터의 표면을 따라 연장되는 모든 가능한 경로의 세트 중에서, 각각 상기 선택 그리드 및 이온 컬렉터 상에 있는 임의의 두 점 사이에 직선 경로가 존재하지 않도록 선택되는 것인, 상기 제2 인슐레이터

를 구비하는 이온 에너지 분석기.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이온 전류 미터에 조작 가능하게 결합되고, 측정한 이온 전류 흐름을 나타내는 이온 전류 미터에 의해 전달된 신호를 수신하고, 상기 신호를 선택 그리드의 가변 바이어스의 함수로서 저장하도록 구성된 컨트롤러를 더 구비하는 이온 에너지 분석기.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 선택 그리드의 복수의 제2 개구는, 적어도 상기 복수의 제1 개구의 치수만큼 큰 치수를 갖는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제2 전압 소스는, 이온 선택 전압을, 시간에 대하여, 그리고 선택된 파형에 따라 제1 전압값으로부터 제2 전압값으로 변경하도록 구성되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 5

진단용 웨이퍼로서,

플라즈마 노출면과 플라즈마 노출면 내로 연장되는 리세스를 구비하는 기판과,

제1항의 이온 에너지 분석기로서, 상기 입구 그리드가 상기 기판의 플라즈마 노출면과 동일 공간에 걸쳐 있도록 상기 리세스 내에 위치 결정된 것인, 이온 에너지 분석기

를 구비하는 진단용 웨이퍼.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 입구 그리드로부터 상기 기판으로의 RF 임피던스는 입구 그리드로부터 그라운드로의 RF 임피던스보다 낮은 것인 진단용 웨이퍼.

청구항 7

삭제

청구항 8

진단용 웨이퍼로서,

플라즈마 노출면을 갖는 기판과,

제1항의 이온 에너지 분석기를 구비하며,

상기 기판의 플라즈마 노출면은 입구 그리드를 포함하는 것인 진단용 웨이퍼.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 기판의 이면은 상기 선택 그리드와 이온 컬렉터를 수용하도록 구성된 리세스를 포함하는 것인 진단용 웨이퍼.

청구항 10

제6항에 있어서, 상기 기판의 이면은 상기 선택 그리드와 이온 컬렉터를 수용하도록 구성된 리세스를 포함하는 것인 진단용 웨이퍼.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 제1 전압 소스는 또한, 상기 이온 컬렉터를 선택적으로 또한 가변적으로 상기 입구 그리드에 대하여 바이어스시키도록 구성된 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 12

플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용되는 이온 에너지 분석기로서,

분석기가 플라즈마 처리 장치에 위치 결정되어 있을 때에 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성하는 입구 그리드로서, 상기 입구 그리드는 복수의 제1 개구를 구비하고, 상기 복수의 제1 개구 각각은, 플라즈마의 바운더리에서의 플라즈마 시스가 비교적 흔들리지 않고 남아 있고 플라즈마 시스가 상기 복수의 제1 개구를 관통하지 않도록 플라즈마의 드바이 길이보다 작은 치수를 갖는 것인, 상기 입구 그리드와,

상기 이온 에너지 분석기의 제2면을 형성하는 이온 컬렉터와,

상기 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되고, 상기 이온 컬렉터를 상기 입구 그리드에 대하여 바이어스시키도록 구성된 제1 전압 소스와,

상기 입구 그리드와 이온 컬렉터의 사이에 위치 결정되고 복수의 제2 개구를 갖는 선택 그리드와,

상기 선택 그리드에 조작 가능하게 결합되고, 상기 선택 그리드를 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키도록 구성된 제2 전압 소스와,

상기 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되고, 이온 컬렉터에 대한 이온 플럭스를 측정하고 측정한 이온 플럭스를 나타내는 신호를 전달하도록 구성된 이온 전류 미터와,

상기 입구 그리드와 선택 그리드 사이에 위치하고, 상기 입구 그리드를 상기 선택 그리드로부터 전기적으로 차폐하도록 구성되며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하도록 구성된 제1 인슐레이터로서, 상기 제1 인슐레이터는 입구 그리드와 선택 그리드 사이의 절연 파괴를 감소시키기 충분한 길이(l)로, 이들 각각의 채널로부터 내측으로 돌출하는 것인, 상기 제1 인슐레이터와,

상기 선택 그리드와 이온 컬렉터 사이에 위치하고, 상기 선택 그리드를 상기 이온 컬렉터로부터 전기적으로 차폐하도록 구성되며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하도록 구성된 제2 인슐레이터로서, 상기 제2 인슐레이터는 선택 그리드와 이온 컬렉터 사이의 절연 파괴를 감소시키기 충분한 길이(l)로, 이들 각각의 채널로부터 내측으로 돌출하는 것인, 상기 제2 인슐레이터

를 구비하는 이온 에너지 분석기.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성하는 상기 입구 그리드는, 상기 분석기가 플라즈마 처리 장치에 위치되어 있을 때에 기준 전압의 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 제1 전압 소스는 또한, 상기 이온 컬렉터를 선택적으로 또한 가변적으로 상기 입구 그리드에 대하여 바이어스시키도록 구성되고,

상기 제2 전압 소스는 또한, 상기 선택 그리드를 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키도록 구성된 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 15

제14항의 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법으로서,

상기 선택 그리드를 입구 그라운드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계를 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 선택 그리드를 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계 이전에, 상기 입구 그리드의 전위를 검출하는 단계를 더 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 제2 전압 소스는 또한, 이온 선택 전압을, 시간에 대하여, 그리고 선택된 파형에 따라 제1 전압값으로부터 제2 전압값으로 변경하도록 구성되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 18

제12항에 있어서, 상기 제1 인슐레이터의 기하형상은, 상기 제1 인슐레이터의 표면을 따라 연장되는 모든 가능한 경로의 세트 중에서, 각각 상기 입구 그리드 및 선택 그리드 상에 있는 임의의 두 점 사이에 직선 경로가 존재하지 않도록 선택되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 19

제12항에 있어서, 상기 제2 인슐레이터의 기하형상은, 상기 제2 인슐레이터의 표면을 따라 연장되는 모든 가능한 경로의 세트 중에서, 각각 상기 선택 그리드 및 이온 컬렉터 상에 있는 임의의 두 점 사이에 직선 경로가 존재하지 않도록 선택되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 20

플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하도록 구성된 진단용 웨이퍼로서,

플라즈마 노출면과 플라즈마 노출면 내로 연장되는 리세스를 구비하는 기판과,

제12항의 이온 에너지 분석기로서, 상기 기판의 플라즈마 노출면과 동일 공간에 걸쳐 있도록 상기 리세스 내에 위치 결정된 것인, 이온 에너지 분석기

를 구비하는 진단용 웨이퍼.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 입구 그리드로부터 상기 기판으로의 RF 임피던스는 입구 그리드로부터 그라운드로의 RF 임피던스보다 낮은 것인 진단용 웨이퍼.

청구항 22

진단용 웨이퍼로서,

플라즈마 노출면을 갖는 기판과,

제12항의 이온 에너지 분석기를 구비하며,

상기 기판의 플라즈마 노출면은 입구 그리드를 포함하는 것인 진단용 웨이퍼.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 기판의 이면은 상기 선택 그리드와 이온 컬렉터를 수용하도록 구성된 리세스를 포함하는 것인 진단용 웨이퍼.

청구항 24

제12항에 있어서,

상기 이온 전류 미터에 조작 가능하게 결합되고, 측정한 이온 전류 흐름을 나타내는 이온 전류 미터에 의해 전달된 신호를 수신하고, 상기 신호를 선택 그리드의 가변 바이어스의 함수로서 저장하도록 구성된 컨트롤러를 더 구비하는 이온 에너지 분석기.

청구항 25

제12항에 있어서,

상기 선택 그리드의 복수의 제2 개구는, 적어도 상기 복수의 제1 개구의 치수만큼 큰 치수를 갖는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 26

플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용되는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법으로서,

상기 이온 에너지 분석기는,

상기 이온 에너지 분석기가 플라즈마 처리 장치에 위치 결정되어 있을 때에 기준 전압의 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성하는 제1 그리드로서, 상기 제1 그리드는 복수의 제1 개구를 구비하고, 상기 복수의 제1 개구 각각은 플라즈마 시스가 상기 복수의 제1 개구를 관통하지 않도록 플라즈마의 드바이 길이(Debye length)보다 작은 치수를 갖는 것인, 상기 제1 그리드와,

상기 이온 에너지 분석기의 제2면을 형성하는 이온 컬렉터와,

상기 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되는 제1 전압 소스와,

상기 제1 그리드와 이온 컬렉터의 사이에 위치하고 상기 제1 그리드로부터 전기적으로 차폐된 제2 그리드와,

상기 제2 그리드에 조작 가능하게 결합된 제2 전압 소스와,

상기 제2 그리드에 조작 가능하게 결합된 이온 전류 미터와,

상기 제1 그리드와 제2 그리드 사이에 위치하는 제1 인슐레이터로서, 상기 제1 인슐레이터의 기하형상은, 상기 제1 인슐레이터의 표면을 따라 연장되는 모든 가능한 경로의 세트 중에서, 각각 상기 제1 그리드 및 제2 그리드 상에 있는 임의의 두 점 사이에 직선 경로가 존재하지 않도록 선택되어 상기 이온 에너지 분석기의 중심축에 직교하되 내측을 향하여 돌출하는 것인, 상기 제1 인슐레이터와,

상기 제2 그리드와 이온 컬렉터 사이에 위치하는 제2 인슐레이터로서, 상기 제2 인슐레이터의 기하형상은, 상기 제2 인슐레이터의 표면을 따라 연장되는 모든 가능한 경로의 세트 중에서, 각각 상기 제2 그리드 및 이온 컬렉터 상에 있는 임의의 두 점 사이에 직선 경로가 존재하지 않도록 선택되어 상기 이온 에너지 분석기의 중심축에 직교하되 내측을 향하여 돌출하는 것인, 상기 제2 인슐레이터

를 포함하고,

플라즈마가 상기 복수의 제1 개구로 상기 제1 그리드를 관통하는 것을 방지하는 단계;

상기 제1 전압 소스로 상기 이온 컬렉터를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계

상기 제2 전압 소스로 상기 제2 그리드를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계

상기 제1 인슐레이터의 선택된 기하형상으로, 상기 제2 그리드로부터 상기 제1 그리드를 전기적으로 차폐시키며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하는 단계;

상기 제2 인슐레이터의 선택된 기하형상으로, 상기 이온 컬렉터로부터 상기 제2 그리드를 전기적으로 차폐시키며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하는 단계;

상기 이온 전류 미터로 상기 이온 컬렉터에서의 이온 전류 흐름을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 이온 전류 흐름을 나타내는 신호를 전달하는 단계

를 포함하는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 27

제26항에 있어서,

상기 제1 그리드의 전위를 검출하는 단계를 더 포함하는 것인 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 28

제26항에 있어서,

상기 제1 그리드를 통과하는 복수의 이온을, 전위 장벽을 극복하기에 충분한 에너지를 갖는 이온으로 제한하도록 제1 그리드와 플라즈마 사이에, 이들에 대하여 상기 전위 장벽을 인가하는 단계;

상기 제2 그리드를 통과하는 복수의 이온을 더 제한하도록 상기 제2 그리드를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계; 및

상기 제2 그리드를 통과하는 이온의 플럭스를 측정하는 단계

를 더 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 29

제28항에 있어서,

상기 제2 그리드는 복수의 제2 개구를 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 30

제29항에 있어서,

상기 이온의 플럭스를 측정하는 단계는,

이온의 플럭스로 이온 컬렉터에 충격을 주는 단계와,

이온의 충격 플럭스를 나타내는 이온 전류를 발생시키는 단계

를 더 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 31

제29항에 있어서,

상기 제2 그리드는 또한, 이온의 플럭스를 나타내는 이온 전류를 발생시키도록 구성되어 있고, 상기 이온 전류는 이온의 플럭스를 측정하는데 사용되는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 32

제29항에 있어서,

상기 전위 장벽은 상기 제1 전압 소스에 의해 인가되고, 상기 선택적이고 가변적인 바이어스는 상기 제2 전압 소스에 의해 인가되고, 상기 이온의 플럭스는 상기 이온 전류 미터에 의해 측정되는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 33

제29항에 있어서,

제3 그리드에서 이온의 플럭스를 리시브하는 단계와,

상기 이온의 리시브된 플럭스를 나타내는 신호를 전달하는 단계

를 더 포함하는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 34

제29항에 있어서,

상기 이온의 측정된 플럭스를 나타내는 신호를 전달하는 단계

를 더 포함하는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 35

플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용되는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법으로서,

상기 이온 에너지 분석기는,

상기 이온 에너지 분석기가 플라즈마 처리 장치에 위치 결정되어 있을 때에 기준 전압의 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성하는 제1 그리드로서, 상기 제1 그리드는 복수의 제1 개구를 구비하고, 상기 복수의 제1 개구 각각은 플라즈마 시스가 상기 복수의 제1 개구를 관통하지 않도록 플라즈마의 드바이 길이(Debye length)보다 작은 치수를 갖는 것인, 상기 제1 그리드와,

상기 이온 에너지 분석기의 제2면을 형성하는 이온 컬렉터와,

상기 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되는 제1 전압 소스와,

상기 제1 그리드와 이온 컬렉터의 사이에 위치하고 상기 제1 그리드로부터 전기적으로 차폐된 제2 그리드와,

상기 제2 그리드에 조작 가능하게 결합된 제2 전압 소스와,

상기 제2 그리드에 조작 가능하게 결합된 이온 전류 미터와,

상기 제1 그리드와 제2 그리드 사이에 위치하는 제1 인슐레이터로서, 상기 제1 인슐레이터의 기하형상은, 상기 제1 그리드와 제2 그리드 사이의 절연 파괴를 감소시키기 충분한 길이(L)로, 각각의 상기 제1 그리드 및 제2 그리드의 각 채널로부터 직경 내측으로 돌출하도록 선택된 것인, 상기 제1 인슐레이터와,

상기 제2 그리드와 이온 컬렉터 사이에 위치하는 제2 인슐레이터로서, 상기 제2 인슐레이터의 기하형상은, 상기 제2 그리드와 이온 컬렉터 사이의 절연 파괴를 감소시키기 충분한 길이(L)로, 각각의 상기 제2 그리드 및 이온 컬렉터의 각 채널로부터 직경 내측으로 돌출하도록 선택된 것인, 상기 제2 인슐레이터

를 포함하고,

플라즈마가 상기 복수의 제1 개구로 상기 제1 그리드를 관통하는 것을 방지하는 단계;

상기 제1 전압 소스로 상기 이온 컬렉터를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계

상기 제2 전압 소스로 상기 제2 그리드를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계

상기 제1 인슐레이터의 선택된 기하형상으로, 상기 제2 그리드로부터 상기 제1 그리드를 전기적으로 차폐시키며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하는 단계;

상기 제2 인슐레이터의 선택된 기하형상으로, 상기 이온 컬렉터로부터 상기 제2 그리드를 전기적으로 차폐시키며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하는 단계;

상기 이온 전류 미터로 상기 이온 컬렉터에서의 이온 전류 흐름을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 이온 전류 흐름을 나타내는 신호를 전달하는 단계

를 포함하는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 36

제35항에 있어서,

제1 그리드를 통과하는 복수의 이온으로부터, 전위 장벽을 극복하기에 충분한 에너지를 갖는 이온으로 제한하도록 제1 그리드와 플라즈마 사이에, 이들에 대하여 상기 전위 장벽을 인가하는 단계;

상기 제2 그리드를 통과하는 복수의 이온을 더 제한하도록 상기 제2 그리드를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계;

상기 이온 컬렉터에서 상기 제2 그리드를 통과하는 이온의 플럭스를 리시브하는 단계;

상기 이온 전류 미터에 의해 이온의 플럭스를 측정하는 단계; 및

측정한 이온의 플럭스를 나타내는 신호를 전달하는 단계

를 더 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 37

제36항에 있어서,

상기 전위 장벽을 상기 제1 그리드와 플라즈마 사이에 인가하는 단계 이전에, 상기 제1 그리드의 전위를 검출하는 단계를 더 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 38

플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용되는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법으로서,

상기 이온 에너지 분석기는,

상기 이온 에너지 분석기가 플라즈마 처리 장치에 위치 결정되어 있을 때에 기준 전압의 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성하는 제1 그리드로서, 상기 제1 그리드는 내부에 복수의 제1 개구를 갖는 제1 중앙 그리드부와, 상기 제1 중앙 그리드부 아래에 형성된 제1 중앙 채널을 포함하고, 상기 복수의 제1 개구 각각은 플라즈마 시스가 상기 복수의 제1 개구를 관통하지 않도록 플라즈마의 드바이 길이(Debye length)보다 작은 치수를 가지며, 상기 제1 중앙 그리드부의 직경은 상기 제1 중앙 채널의 직경보다 작은 것인, 상기 제1 그리드와,

상기 이온 에너지 분석기의 제2면을 형성하는 이온 컬렉터와,

상기 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되는 제1 전압 소스와,

상기 제1 그리드와 이온 컬렉터의 사이에 위치하고 상기 제1 그리드로부터 전기적으로 차폐된 제2 그리드로서, 상기 제2 그리드는 내부에 복수의 제2 개구를 갖는 제2 중앙 그리드부와, 상기 제2 중앙 그리드부 아래에 형성된 제2 중앙 채널을 포함하고, 상기 제2 중앙 그리드부의 직경은 상기 제2 중앙 채널의 직경보다 작은 것인, 상기 제2 그리드와,

상기 제2 그리드에 조작 가능하게 결합된 제2 전압 소스와,

상기 제2 그리드에 조작 가능하게 결합된 이온 전류 미터와,

상기 제1 그리드와 제2 그리드 사이에 위치하는 제1 인슐레이터로서, 상기 제1 인슐레이터는, 상기 제1 인슐레이터가 상기 이온 에너지 분석기의 중앙을 향하는 내측 돌출부를 갖도록, 상기 제1 및 제2 중앙 그리드부에 수직으로 정렬되며 상기 제1 및 제2 중앙 그리드부의 직경보다 큰 직경을 갖되 상기 제1 중앙 채널의 직경보다 작은 직경을 갖는 제1 중앙 개구를 가지는 것인, 상기 제1 인슐레이터와,

상기 제2 그리드와 이온 컬렉터 사이에 위치하는 제2 인슐레이터로서, 상기 제2 인슐레이터는, 상기 제2 인슐레이터가 상기 이온 에너지 분석기의 중앙을 향하는 내측 돌출부를 갖도록, 상기 제1 및 제2 중앙 그리드부에 수직으로 정렬되며 상기 제1 및 제2 중앙 그리드부의 직경보다 큰 직경을 갖되 상기 제2 중앙 채널의 직경보다 작은 직경을 갖는 제2 중앙 개구를 갖는 것인, 상기 제2 인슐레이터

를 포함하고,

플라즈마가 상기 복수의 제1 개구로 상기 제1 그리드를 관통하는 것을 방지하는 단계;

상기 제1 전압 소스로 상기 이온 컬렉터를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계

상기 제2 전압 소스로 상기 제2 그리드를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계

상기 제1 인슐레이터의 내측 돌출부로 상기 제2 그리드로부터 상기 제1 그리드를 전기적으로 차폐시키며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하는 단계;

상기 제2 인슐레이터의 내측 돌출부로 상기 이온 컬렉터로부터 상기 제2 그리드를 전기적으로 차폐시키며, 이들 사이의 절연 파괴를 줄이거나 방지하는 단계;

상기 이온 전류 미터로 상기 이온 컬렉터에서의 이온 전류 흐름을 측정하는 단계; 및

상기 측정된 이온 전류 흐름을 나타내는 신호를 전달하는 단계

를 포함하는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 39

제38항에 잇어서,

상기 제2 그리드를 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계 이전에, 상기 제1 그리드의 전위를 검출하

는 단계를 더 포함하는, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 40

제38항에 있어서,

상기 제1 그리드를 통과하는 복수의 이온을, 전위 장벽을 극복하기에 충분한 에너지를 갖는 이온으로 제한하도록 제1 그리드와 플라즈마 사이에, 이들에 대하여 상기 전위 장벽을 인가하는 단계;

상기 제2 그리드를 통과하는 복수의 이온을 더 제한하도록 상기 제2 그리드를 상기 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키는 단계; 및

상기 제2 그리드를 통과하는 이온의 플럭스를 측정하는 단계

를 더 포함하는, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 41

제38항에 있어서,

상기 이온의 플럭스를 측정하는 단계는,

이온의 플럭스로 이온 컬렉터에 충격을 주는 단계와,

이온의 충격 플럭스를 나타내는 이온 전류를 발생시키는 단계

를 더 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 42

제38항에 있어서,

상기 제2 그리드는 또한, 이온의 플럭스를 나타내는 이온 전류를 발생시키도록 구성되어 있고, 상기 이온 전류는 이온의 플럭스를 측정하는데 사용되는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 43

제40항에 있어서,

상기 전위 장벽은 상기 제1 전압 소스에 의해 인가되고, 상기 선택적이고 가변적인 바이어스는 상기 제2 전압 소스에 의해 인가되고, 상기 이온의 플럭스는 상기 이온 전류 미터에 의해 측정되는 것인, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 44

제38항에 있어서,

제3 그리드에서 이온의 플럭스를 리시브하는 단계와,

상기 이온의 리시브된 플럭스를 나타내는 신호를 전달하는 단계

를 더 포함하는, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 45

제38항에 있어서,

상기 이온의 측정된 플럭스를 나타내는 신호를 전달하는 단계

를 더 포함하는, 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법.

청구항 46

플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용되는 이온 에너지 분석기로서,

내부의 제1 채널 및 관통 연장되는 복수의 제1 개구를 갖는 입구 그리드를 형성하도록 처리된 제1 기판;

내부의 제2 채널 및 관통 연장되는 복수의 제2 개구를 갖는 선택 그리드를 형성하도록 처리된 제2 기판;

상기 입구 그리드와 선택 그리드의 제1 면 상에 위치하며 상기 복수의 제1 및 제2 개구를 통해 광을 전달하도록 구성된 광원;

상기 광원의 반대측인, 상기 입구 그리드와 선택 그리드의 제2 면 상에 위치하며, 상기 복수의 제1 및 제2 개구를 통해 상기 광원으로부터 전달된 광을 수광하도록 구성된 포토다이오드;

상기 제1 및 제2 기판은 상기 입구 그리드와 선택 그리드의 상기 복수의 제1 및 제2 개구를 서로에 대해 조정하여 수직 정렬되어, 상기 포토다이오드는, 상기 광원으로부터 상기 복수의 제1 및 제2 개구를 통해 상기 수직 정렬된 기판들의 반대측에 있는 상기 포토다이오드로 수직 전송되는 최대 광을 검출하고;

내부의 제3 채널을 갖는 이온 컬렉터를 형성하도록 처리된 제3 기판; 및

상기 입구 그리드를 상기 선택 그리드로부터, 그리고 상기 선택 그리드를 상기 이온 컬렉터로부터 DC 차단하여, 상기 입구 그리드가 상기 선택 그리드에 조작 가능하게 결합되는 것인, 이온 에너지 분석기.

청구항 47

제46항에 있어서,

상기 이온 컬렉터는 상기 이온 컬렉터를 상기 입구 그리드에 대하여 가변적으로 바이어스시키도록 구성된 제1 전압 소스에 의해 상기 입구 그리드에 전기적으로 결합되고,

상기 선택 그리드는 상기 선택 그리드를 상기 입구 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키도록 구성된 제2 전압 소스에 의해 상기 선택 그리드에 전기적으로 결합되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 48

제47항에 있어서,

상기 입구 그리드의 바이어스 전위는 플라즈마 전위로 플로팅(float)되도록 구성된 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 49

제47항에 있어서,

상기 입구 그리드는 기준 전위에 대하여 바이어스되어 있는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 50

제46항에 있어서,

상기 제1, 제2 및 제3 기판 중 적어도 하나는 미소전자기계 기반 방법(microelectromechanical-based method)을 포함하는 공정에 의해 형성되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 51

제46항에 있어서,

상기 제1, 제2 및 제3 기판 중 적어도 하나는 레이저 천공법(laser drilling method), 전기 방전 가공법 및 전자빔 가공법 중 하나 이상을 포함하는 공정에 의해 형성되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 52

제46항에 있어서,

상기 제1, 제2 및 제3 기판 중 적어도 하나는 도전성 기판을 포함하는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 53

제52항에 있어서,

상기 제1, 제2 및 제3 기판 중 적어도 하나는 도핑된 실리콘을 포함하는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 54

제52항에 있어서,

상기 도전성 기판은 도전성 실리콘을 포함하는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 55

제46항에 있어서,

컨택트 패드를 형성하기 위해 소결된 제1 백금-유리 프리트와,

상기 컨택트 패드에 도포된 제2 백금-유리 프리트 및 도체로서, 상기 제2 백금-유리 프리트는 상기 도체를 상기 컨택트 패드에 접합하기 위해 소결된 것인, 상기 제2 백금-유리 프리트 및 도체

를 더 포함하는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 56

제55항에 있어서,

상기 제1 및 제2 백금-유리 프리트는 950℃의 온도에서 소결되는 것인 이온 에너지 분석기.

청구항 57

이온 에너지 분석기를 제조하는 방법으로서,

내부의 제1 채널과 복수의 제1 개구를 갖는 입구 그리드를 형성하도록 제1 기판을 처리하는 단계;

내부의 제2 채널과 복수의 제2 개구를 갖는 선택 그리드를 형성하도록 제2 기판을 처리하는 단계;

상기 선택 그리드와 입구 그리드의 제1 면 상에 광원을 위치시키는 단계;

상기 광원의 반대측인, 상기 선택 그리드와 입구 그리드의 제2 면 상에 포토다이오드를 위치시키는 단계;

상기 복수의 제1 및 제2 개구를 통해 상기 광원으로부터 상기 포토다이오드로 광을 전달하는 단계; 및

상기 포토다이오드가, 상기 광원으로부터 상기 복수의 제1 및 제2 개구를 통해 수직 정렬된 상기 기판들의 반대측 상에 있는 상기 포토다이오드로 수직 전달되는 최대 광을 검출할 때까지, 상기 입구 그리드와 선택 그리드를 서로에 대해 조정하여 상기 복수의 제1 및 제2 개구를 수직 정렬하는 단계;

내부의 제3 채널을 갖는 이온 컬렉터를 형성하도록 제3 기판을 처리하는 단계; 및

상기 선택 그리드를 상기 입구 그리드와 이온 컬렉터로부터 전기적으로 차폐시키는 한편 입구 그리드를 선택 그리드에 대하여, 그리고 선택 그리드를 이온 컬렉터에 대하여 조작 가능하게 결합하는 단계

를 포함하는 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 58

제57항에 있어서,

상기 이온 에너지 분석기 내에 적어도 하나의 전기 접속부를 형성하는 단계를 더 포함하고, 상기 적어도 하나의 전기 접속부를 형성하는 단계는,

제1 백금-유리 프리트를 도포하는 단계와,

상기 제1 백금-유리 프리트를 소결하여 컨택트 패드를 형성하는 단계와,

도체와 제2 백금-유리 프리트를컨택트 패드에 도포하는 단계와,

상기 제2 백금-유리 프리트를 소결하여 도체를 상기 컨택트 패드에 접합하는 단계에 의한 것인, 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 59

제58항에 있어서,

상기 제1 및 제2 백금-유리 프리트를 소결하는 단계는 950℃의 온도에서 이루어지는 것인, 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 60

제57항에 있어서,

이온 컬렉터를 입구 그리드에 대하여 가변적으로 바이어스시키도록 구성된 제1 전압 소스에 의해 이온 컬렉터를 입구 그리드에 전기적으로 결합하는 단계와,

선택 그리드를 입구 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스시키도록 구성된 제2 전압 소스에 의해 선택 그리드를 입구 그리드에 전기적으로 결합하는 단계

를 더 포함하는, 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 61

제60항에 있어서,

상기 입구 그리드의 바이어스 전위가 플라즈마 전위로 플로팅(float)되도록 상기 이온 컬렉터를 상기 입구 그리드에 대해 가변적으로 바이어스시키는 단계와,

상기 입구 그리드의 바이어스 전위가 상기 플라즈마 전위로 플로팅되도록 상기 선택 그리드를 상기 입구 그리드에 대해 가변적으로 바이어스시키는 단계

를 더 포함하는, 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 62

제60항에 있어서,

상기 입구 그리드를 기준 전위에 대해 가변적으로 바이어스시키는 단계

를 더 포함하는, 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 63

제57항에 있어서, 제1, 제2 및 제3 기판 중 적어도 하나는 도전성 기판을 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 64

제63항에 있어서, 상기 도전성 기판은 도핑된 실리콘을 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 65

제63항에 있어서, 상기 도전성 기판은 도전성 실리콘을 포함하는 것인, 이온 에너지 분석기 제조 방법.

청구항 66

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은, 2011년 3월 28일자로 출원된 공동 계류 중인 미국 가출원 번호 61/468,187을 우선권으로 주장하며, 이 출원의 내용은 전체적으로 본원 명세서에 참고로 인용된다. 본원은, 발명의 명칭이 "ION ENERGY ANALYZER"인 공동 계류 중인 미국 출원 번호(도켓 번호 TEA-51US1); 발명의 명칭이 "METHODS OF ELECTRICAL SIGNALING IN AN ION ENERGY ANALYZER"인 미국 출원 번호(도켓 번호 TEA-84); 발명의 명칭이 "ION ENERGY ANALYZER AND METHODS OF MANUFACTURING THE SAME"인 미국 출원 번호(도켓 번호 TEA-85)에 관한 것이다. 이들 관련한 공동

계류 중인 출원은 본원과 동일 날짜로 출원되었으며, 각각의 내용은 본원 명세서에 참고로 인용된다. 또한, 본원은 2010년 8월 17일자로 허여된 공동 양도된 미국 특허 7,777,179 및 2011년 1월 25일에 허여된 미국 특허 7,875,859에 관한 것이며, 이들 특허의 내용은 전체적으로 본원 명세서에 참고로 인용된다.

[0002] 본 발명은 이온 에너지 분석에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 플라즈마 처리 시스템 내의 이온 에너지 분포를 측정하기 위한 이온 에너지 분석기와, 이러한 이온 에너지 분석기의 제작 방법 및 사용 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 플라즈마 또는 보다 일반적으로, 전기 방전은 재료 가공을 포함한 다양한 산업 용례에서 광범위하게 사용되고 있다. 예컨대, 반도체 가공 중에는, 반도체 기판 상에 패터닝된 미세 라인을 따라 또는 바이어스(컨택트) 내의 재료를 이방성으로 용이하게 제거하기 위하여 플라즈마를 사용하여 에칭 공정을 돕는 경우가 있다. 이러한 플라즈마 지원 에칭의 예로는, 본질적으로 이온 활성화 화학 에칭 공정인 반응성 이온 에칭("RIE")을 포함한다.

[0004] 플라즈마 가공 중에는, 이온 에너지, 보다 구체적으로, 이온 에너지 분포("IED")는 기판에서의 반응성 공정의 결과에 강하게 영향을 끼치는 공정 파라미터이다. 예컨대, 반도체 장치에 에칭 공정을 실행할 때에, 이온 에너지는 에칭 선택도, 에칭율 균일도, 측벽 프로파일, 잔류물 제어 등에 영향을 끼친다. 이러한 공정 파라미터의 중요성으로 인하여, 플라즈마 처리 시스템 내의 특정 위치에서의 이온 에너지 및 그 분포의 측정이, 플라즈마의 유효성을 특징화하는 데에 중요하다.

[0005] 일반적으로, IED는 그리드 및 이온 컬렉터를 이온 빔 내에 노출시킴으로써 측정된다. 그리드의 전기적 전위는, 바이어스된 그리드에 의해 부여된 전위 장벽을 극복하기에 충분한 에너지를 갖는 빔 내의 이온만이 그리드를 통과하여 이온 컬렉터에 충돌하도록 변경된다. 이온 전류를 그리드 상의 전위의 함수로서 수집하고 측정함으로써, IED의 적분 형태를 얻을 수 있다. 이러한 적분의 미분에 의해, IED를 도출한다.

[0006] 다양한 이온 에너지 분석기(IEA)를 이용하여 수십 년간 플라즈마 공정에서의 IED를 집중적으로 측정하였지만, 개선의 여지가 남아 있다. 예컨대, 대부분의 공지된 종래의 분석기는, 측정치가, 기판을 처리할 때에 더 이상 지배적인 조건을 나타내지 못하고, 큰 전위에서 동작할 수 없으며 및/또는 분석기 내의 2차적인 전자 방출로 인하여 상당한 노이즈가 발생할 정도까지 처리 플라즈마를 요동시킨다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 이들 문제를 해결하기 위하여 많은 시도가 있었지만, 이들 및 다른 문제에 대한 신규하고, 개선된, 그리고 실용적인 해결책에 대한 요구가 여전히 존재한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은, 종래 기술의 이온 에너지 분석기의 전술한 문제와 다른 단점 및 결함을 극복하기 위한 것이다. 본 발명을 특정의 실시형태와 관련하여 설명하고 있지만, 본 발명이 이들 실시형태로 한정되는 것이 아니라는 것을 이해할 것이다. 이와 반대로, 본 발명은, 본 발명의 범위 내에 포함될 수 있는 모든 수정, 변형 및 등가물을 포함한다.

[0009] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용되는 이온 에너지 분석기는 입구 그리드, 선택 그리드 및 이온 컬렉터를 구비한다. 입구 그리드는 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성한다. 입구 그리드는 복수의 제1 개구를 구비하고, 이들 개구는 플라즈마의 드바이 길이(Debye length)보다 작은 치수를 갖는다. 이온 컬렉터는 이온 에너지 분석기의 제2면을 형성하고, 제1 전압 소스를 매개로 입구 그리드에 조작 가능하게 결합되어 있다. 선택 그리드는 입구 그리드와 이온 컬렉터의 사이에 위치 결정되고, 제2 전압 소스를 매개로 입구 그리드에 조작 가능하게 결합되어 있다. 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되는 이온 전류 미터는, 이온 컬렉터에 대한 이온 플럭스를 측정하고 측정한 이온 플럭스를 나타내는 신호를 전달하도록 구성된다.

[0010] 본 발명의 다른 실시형태에 따르면, 진단용 웨이퍼는 플라즈마 노출면을 갖는 기판을 구비한다. 플라즈마 노출면 내로 연장되는 리세스는, 입구 그리드가 기판의 플라즈마 노출면과 동일 공간에 걸쳐 있도록 이온 에너지 분석기를 수용하도록 구성되어 있다.

[0011] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 기판과 이온 에너지 분석기를 구비하는 진단용 웨이퍼에 관한 것이다. 기판은, 이온 에너지 분석기의 입구 그리드를 구비하는 플라즈마 노출면을 포함한다.

[0012] 본 발명의 다른 실시형태는 이온 에너지 분석기에 관한 것이다. 이온 에너지 분석기는 플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용되고, 입구 그리드, 선택 그리드 및 이온 컬렉터를 구비한다. 입구 그리드는 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성한다. 입구 그리드는 복수의 제1 개구를 구비하고, 이들 개구는 플라즈마의 드바이 길이보다 작은 치수를 갖는다. 이온 컬렉터는 이온 에너지 분석기의 제2면을 형성한다. 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합된 전압 소스가 이온 컬렉터를 선택적으로 또한 가변적으로 입구 그리드에 대하여 바이어스시키도록 구성된다. 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합되는 이온 전류 미터가, 이온 컬렉터에 대한 이온 플럭스를 측정하고 측정한 이온 플럭스를 나타내는 신호를 전달하도록 구성된다.

[0013] 본 발명의 다른 실시형태에 따르면, 진단용 웨이퍼는 플라즈마 노출면을 갖는 기판을 구비한다. 플라즈마 노출면 내로 연장되는 리세스는, 입구 그리드가 기판의 플라즈마 노출면과 동일 공간에 걸쳐 있도록 이온 에너지 분석기를 수용하도록 구성되어 있다.

[0014] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 기판과 이온 에너지 분석기를 구비하는 진단용 웨이퍼에 관한 것이다. 기판은, 이온 에너지 분석기의 입구 그리드를 갖는 플라즈마 노출면을 구비한다.

[0015] 본 발명의 다른 실시형태는, 플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 이온 에너지 분석기를 포함한다. 이온 에너지 분석기는 입구 그리드, 선택 그리드 및 이온 컬렉터를 구비한다. 입구 그리드는 플라즈마에 노출되도록 위치 결정되는 이온 에너지 분석기의 제1면을 형성한다. 입구 그리드는 복수의 제1 개구를 구비하고, 이들 개구는 플라즈마의 드바이 길이보다 작은 치수를 갖는다. 이온 컬렉터는 이온 에너지 분석기의 제2면을 형성하고, 선택 그리드는 입구 그리드와 이온 컬렉터의 사이에 위치 결정된다. 제1 인슐레이터가 입구 그리드를 선택 그리드로부터 전기적으로 차폐하도록 구성되고, 제2 인슐레이터가 선택 그리드를 이온 컬렉터로부터 전기적으로 차폐하도록 구성된다. 이온 컬렉터에 조작 가능하게 결합된 이온 전류 미터가, 이온 컬렉터에 대한 이온 플럭스를 측정하고 측정한 이온 플럭스를 나타내는 신호를 전달하도록 구성된다.

[0016] 본 발명의 다른 실시형태에 따르면, 진단용 웨이퍼는 플라즈마 노출면을 갖는 기판을 구비한다. 플라즈마 노출면 내로 연장되는 리세스는, 입구 그리드가 기판의 플라즈마 노출면과 동일 공간에 걸쳐 있도록 이온 에너지 분석기를 수용하도록 구성되어 있다.

[0017] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 기판과 이온 에너지 분석기를 구비하는 진단용 웨이퍼에 관한 것이다. 기판은, 이온 에너지 분석기의 입구 그리드를 구비하는 플라즈마 노출면을 포함한다.

[0018] 본 발명의 다른 실시형태는, 선택 그리드에 조작 가능하게 결합된 전압 소스를 갖는 이온 에너지 분석기에 의해 신호를 발생시키는 방법을 포함한다. 이 방법은 선택 그리드를 입구 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스키는 단계를 포함한다.

[0019] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 복수의 이온을 포함하는 플라즈마의 이온 에너지 분포를 나타내는 신호를 발생시키는 방법은, 제1 그리드와 플라즈마 사이에, 이들에 대하여 전위 장벽을 인가하는 단계를 포함한다. 전위 장벽은 제1 그리드를 통과하는 복수의 이온을, 전위 장벽을 극복하기에 충분한 에너지를 갖는 이온으로 제한한다. 제2 그리드는 제1 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스된다. 선택적이고 가변적인 바이어스는 제2 그리드를 통과하는 복수의 이온을 더 제한한다. 제2 그리드를 통과하는 이온의 플럭스가 측정된다.

[0020] 본 발명의 다른 실시형태에 따르면, 복수의 이온을 포함하는 플라즈마의 이온 에너지 분포를 나타내는 신호를 발생시키는 방법은, 입구 그리드와 플라즈마 사이에, 이들에 대하여 전위 장벽을 인가하는 단계를 포함한다. 전위 장벽은 입구 그리드를 통과하는 복수의 이온을, 전위 장벽을 극복하기에 충분한 에너지를 갖는 이온으로 제한한다. 선택 그리드는 입구 그리드에 대하여 선택적으로 또한 가변적으로 바이어스된다. 선택적이고 가변적인 바이어스는 선택 그리드를 통과하는 복수의 이온을 더 제한한다. 선택 그리드를 통과하는 이온의 플럭스가 이온 컬렉터에서 수용되고 이온 전류 미터에 의해 측정된다. 이어서, 이온의 측정된 플럭스를 나타내는 신호를 전달한다.

[0021] 본 발명의 다른 실시형태는 이온 에너지 분석기와, 이온 에너지 분석기를 제조하는 제조 방법에 관한 것이다. 이 방법은, 제1 채널이 내부에 마련되고 복수의 제1 개구를 갖는 입구 그리드를 형성하도록 제1 기판을 처리하는 단계를 포함한다. 제2 채널이 내부에 마련되고 복수의 제2 개구를 갖는 선택 그리드를 형성하도록 제2 기판을 처리한다. 제3 채널이 내부에 마련되는 이온 컬렉터를 형성하도록 제3 기판을 처리한다. 입구 그리드를 선

택 그리드에 대하여, 그리고 선택 그리드를 이온 컬렉터에 대하여 조작 가능하게 결합하고 전기적으로 차폐시킨다.

[0022] 본 발명의 또 다른 실시형태는, 이온 에너지 분석기와 적어도 하나의 전기 접속부를 내부에 형성하는 공정에 관한 것이다. 이 공정은, 제1 백금-유리 프리트를 도포하는 단계와, 제1 백금-유리 프리트를 소결하여 컨택트 패드를 형성하는 단계를 포함한다. 컨택트 패드에 도체 및 제2 백금-유리 프리트를 도포하고, 소결하여 도체를 컨택트 패드에 접합한다.

[0023] 본 발명의 다른 실시형태에 따르면, 이온 에너지 분석기 내에 적어도 하나의 전기 접속부를 형성하는 방법이 제공된다. 이 방법은, 제1 백금-유리 프리트를 도포하는 단계와, 제1 백금-유리 프리트를 소결하여 컨택트 패드를 형성하는 단계를 포함한다. 컨택트 패드에 도체 및 제2 백금-유리 프리트를 도포하고, 소결하여 도체를 컨택트 패드에 접합한다.

[0024] 본 발명의 다른 실시형태는, 제1 채널이 내부에 마련되고 관통 연장되는 복수의 제1 개구를 갖는 입구 그리드를 형성하도록 제1 기판을 처리하는 단계를 포함하는 이온 에너지 분석기의 제조 방법을 포함한다. 제2 채널이 내부에 마련되고 관통 연장되는 복수의 제2 개구를 갖는 선택 그리드를 형성하도록 제2 기판을 처리한다. 제3 채널이 내부에 마련되는 이온 컬렉터를 형성하도록 제3 기판을 처리한다. 입구 그리드를 선택 그리드에 대하여, 그리고 선택 그리드를 이온 컬렉터에 대하여 조작 가능하게 결합하고 전기적으로 차폐시킨다.

[0025] 본 발명의 다른 실시형태에 따르면, 진단용 웨이퍼 제조 방법은, 유전체 기판의 플라즈마 노출면 내에 리세스를 에칭시키는 단계를 포함한다. 이어서, 입구 그리드가 기판의 플라즈마 노출면과 동일 공간에 걸쳐 있도록 이온 에너지 분석기를 리세스 내에 위치 결정한다.

[0026] 본 발명의 다른 실시형태에 따르면, 진단용 웨이퍼의 다른 형성 방법은 이온 에너지 분석기를 포함한다. 진단용 웨이퍼의 플라즈마 노출면이 제1 기판이다.

[0027] 본 발명이 다른 실시형태는 이온 에너지 분석기로부터 이온 에너지 분석기 컨트롤러로 전달되는 고주파 신호를 필터링하는 RC 회로를 포함한다. 이 이온 에너지 분석기는 처리 챔버 내의 플라즈마의 이온 에너지 분포를 결정하는 데에 사용된다. RC 회로는, 이온 에너지 분석기의 입구 그리드 및 선택 그리드에 각각 조작 가능하게 결합되는 제1 및 제2 필터를 포함한다. 제1 및 제2 필터는, 산화루테늄을 포함하는 밴드-패스 필터 또는 로우-패스 필터를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0028] 본 명세서에 포함되어 본 명세서의 일부를 이루는 첨부 도면은, 본 발명의 실시형태를 예시하며, 이상에서 언급한 발명의 일반적 기술 및 이하에서 언급하는 실시형태의 상세한 기술과 함께 본 발명의 원리를 설명하는 기능을 갖는다.

도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 시스템의 개략적인 단면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시형태에 따른 이온 에너지 분석기("IEA")를 포함한 도 1의 플라즈마 처리 시스템에 사용되는 진단용 웨이퍼의 개략적인 평면도이다.

도 3은 도 2의 IEA의 사시도이다.

도 4는 도 2의 IEA의 개략적인 단면도이다.

도 5a는 도 4의 IEA의 "5A"로 둘러싸인 부분의 충전 전의 상태를 나타내는 도면이다.

도 5b는 도 4의 IEA의 "5A"로 둘러싸인 부분의 충전 후의 상태를 나타내는 도면이다.

도 6은 파형에 따라 동작되고 이온 궤적의 윤곽이 그려진 도 2의 IEA의 선택 그리드의 개략도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시형태에 따른 도 2의 IEA의 동작 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 8은 본 발명의 다른 실시형태에 따른 IEA의 사시도이다.

도 9는 도 8에 도시된 IEA의 분해 사시도이다.

도 10은 본 발명의 다른 실시형태에 따른 IEA의 사시도이다.

도 11은 본 발명의 일 실시형태에 따른 3층 IEA의 실시형태에 전력을 공급하도록 구성된 IEA 컨트롤러를 갖춘

IEA의 개략도이다.

도 12는 본 발명의 일 실시형태에 따른 3층 IEA의 실시형태에 전력을 공급하도록 구성된 IEA 컨트롤러를 갖춘 IEA의 개략도이다.

도 13은 복수 개의 3층 IEA가 위에 마련되고 본 발명의 특정 실시형태에 따른 공통 주사 그리드를 공유하는 진단용 웨이퍼의 실시형태에 전력을 공급하도록 구성된 IEA 컨트롤러를 갖춘 IEA의 개략도이다.

도 14는 본 발명의 일 실시형태에 따른 2층 IEA의 실시형태에 전력을 공급하기에 적당한 2층 IEA의 실시형태에 전력을 공급하도록 구성된 IEA 컨트롤러를 갖춘 IEA의 개략도이다.

도 14a는 도 14의 2층 IEA의 개략적인 단면도이다.

도 15는 본 발명의 일 실시형태에 따른 2층 IEA의 실시형태에 전력을 공급하기에 적당한 2층 IEA의 실시형태에 전력을 공급하도록 구성된 IEA 컨트롤러를 갖춘 IEA의 개략도이다.

도 16은 복수 개의 2층 IEA가 위에 마련되어 있는 본 발명의 일 실시형태에 따른 진단용 웨이퍼에 전력을 공급하기에 적당한 IEA 컨트롤러의 개략도이다.

도 17은 복수 개의 2층 IEA가 위에 마련되어 있는 본 발명의 다른 실시형태에 따른 진단용 웨이퍼에 전력을 공급하기에 적당한 IEA 컨트롤러의 개략도이다.

도 18은 본 발명의 일 실시형태에 따른 도 1의 플라즈마 처리 시스템의 피드-스루 시스템(feed-through system)의 사시도이다.

도 19는 도 1에 도시된 피드-스루 시스템의 일부의 개략적인 평면도이다.

도 20은 본 발명의 실시형태에 따른 IEA를 제조하는 MEMS 기반의 한 가지 제조 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 21a 내지 도 21h는 도 20의 방법의 단계를 예시하는 개략도이다.

도 22는 본 발명의 일 실시형태에 따라 피드-스루 시스템을 매개로 IEA를 IEA 컨트롤러에 전기적으로 결합하는 한 가지 방법을 예시하는 흐름도이다.

도 23a 내지 도 23d는 도 22의 방법의 단계를 예시하는 개략도이다.

도 24는 본 발명의 다른 실시형태에 따른 진단용 플라즈마 처리 시스템의, 도 1과 유사한 개략적인 단면도이다.

도 25a 및 도 25b는 도 20에 마련된 IEA의 격자를 정렬하는데 사용되는 본 발명의 일 실시형태에 따른 정렬 장치(alignment device)의 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하의 설명에 있어서는, 본 발명의 철저한 이해를 돕기 위하여, 그리고 한정의 의도는 없이 설명을 목적으로, 시스템 구성요소의 다양한 기술 및 플라즈마 처리 시스템의 특정의 기하형상 등의 특정의 세부 사항을 설명한다. 그러나 본 발명을 그러한 특정의 세부 사항으로부터 벗어나는 다른 실시형태로 실시할 수도 있다는 것을 이해해야 한다.

[0030] 이외에도, 발명의 본질이 일반적 개념으로서 설명되어 있지만, 발명의 본질로 이루어지는 형태도 상세한 설명에 포함되는 것으로 이해해야 한다.

[0031] 이하에서는, 도면들, 특히 도 1을 참고로 하여, 본 발명의 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 시스템(50)을 간략하게 설명한다. 플라즈마 처리 시스템(50)은, 처리 챔버(56)의 대략 양측에 배치되어 있는 제1 전극(52)과 제2 전극(54)을 구비한다. 제1 전극(52)은 기판 홀더(58) 내에서 진단용 웨이퍼(60) 또는 처리 웨이퍼(도시 생략)를 지지하도록 구성되어 있다.

[0032] 제1 전극(52)은, 제1 RF 주파수 및 제1 RF 전압으로 RF 파워를 제공하도록 구성된 제1 고주파("RF") 파워 시스템(62)에 조작 가능하게 결합될 수 있고, 제2 전극(54)은 제2 RF 주파수 및 제2 RF 전압으로 RF 파워를 제공하도록 구성된 제2 RF 파워 시스템(64)에 조작 가능하게 결합될 수 있다. 예컨대, 제2 RF 주파수는 제1 RF 주파수보다 상당히 높은 RF 주파수일 수 있다. 제1 및 제2 전극(52, 54)에 제공되는 RF 파워는, 두 전극(52, 54) 사이에 위치된 처리 공간(68) 내에 플라즈마(66)를 형성하도록 조작될 수 있다.

[0033] 제1 전극(52) 및 제2 전극(54) 양자가 RF 파워 시스템(62, 64)에 결합된 것으로 도시되어 있지만, 전극들 중 적

어도 하나는 다른 파워 시스템에 결합될 수도 있다. 예컨대, 제2 전극(54)은 직류("DC") 그라운드 또는 DC 전압 소스(70)에 조작 가능하게 결합될 수도 있다. 대안으로, 제1 전극(52)은 DC 그라운드 또는 DC 파워 시스템(72)에 결합되고, 제2 전극(54)은 제2 RF 파워 시스템(64)에 결합될 수도 있다. 다른 대안으로, 제1 전극(52)은 다수의 RF 주파수(예컨대 제1 RF 주파수 및 제2 RF 주파수)를 제공하도록 조작될 수 있는 제1 RF 파워 시스템(62)에 결합되고, 제2 전극(54)은 DC 그라운드 또는 DC 파워 시스템(72)에 결합될 수도 있다. 대안으로, 제2 전극(54)이 DC 파워 시스템(70)에 결합되고, 이 시스템은 저주파 파형으로 변조되거나 펄스화될 수도 있다.

[0034] 또한, 플라즈마 처리 시스템(50)은, 제2 전극(54)에 DC 전압을 제공하도록 구성된 DC 파워 시스템(72)을 선택적으로 포함할 수도 있다. DC 파워 시스템(72)은 가변 DC 파워 서플라이를 구비할 수도 있다. 또한, DC 파워 시스템(72)은 양극 DC 파워 서플라이를 구비할 수도 있다. 또한, DC 파워 시스템(72)은, DC 파워의 극성, 전류, 전압 또는 온/오프 상태를 모니터링하거나, 조정하거나 또는 제어하는 기능 중 적어도 하나를 실행하도록 구성될 수도 있다. 일단 플라즈마(66)가 형성되면, DC 파워 시스템(72)을 이용하여 고에너지 전자빔 형성을 용이하게 할 수도 있다.

[0035] 필요에 따라서, 전기 필터(도시 생략)를 사용하여 RF 파워 시스템(62, 64)을 DC 파워 시스템(72)으로부터 분리시킬 수도 있다. 예컨대, DC 파워 시스템(72)에 의해 제2 전극(54)에 가해지는 DC 전압은 약 -2000 볼트("V") 내지 약 1000 V의 범위일 수도 있다. 바람직하게는, DC 전압의 절대치는 약 100 V 이상의 값을 갖고, 보다 바람직하게는, DC 전압의 절대치는 약 500 V 이상의 값을 갖는다. 또한, DC 전압은 음의 극성을 갖는 것이 바람직하다. 또한, DC 전압은, 제2 전극(54)의 표면에서 발생된 셀프 바이어스 전압보다 큰 절대치를 갖는 음의 전압인 것이 바람직하다. 제1 전극(52)에 마주하는 제2 전극(54)의 표면은 실리콘 함유 물질을 포함할 수도 있다.

[0036] 제2 전극(54)에 음의 DC 전압 등의 DC 전압을 결합하여, 전술한 바와 같이 탄도 전자빔 형성을 용이하게 할 수도 있다. 전자빔의 파워는, 제2 전극(54)에 대한 음의 DC 전압의 중첩으로부터 유도된다. 미국 특허 제7,740,737호에 개시되어 있는 바와 같이, 플라즈마 처리 시스템(50)에 대한 음의 DC 파워의 인가는, 진단용 웨이퍼(60)의 표면에 충돌하는 탄도(무충돌) 전자빔 형성에 영향을 끼친다.

[0037] 이제 도 2를 참조하여, 도시된 진단용 웨이퍼(60)를 상세하게 설명한다. 진단용 웨이퍼(60)는, 예컨대 300 ㎜의 실리콘 기판을 포함한 임의의 사이즈의 베이스 또는 캐리어 기판(61)[이하에서는, "기판(61)"로서 지칭함]을 구비하지만, 다른 사이즈(약 200 ㎜ 내지 약 450 ㎜를 포함) 및 재료를 사용할 수도 있다. 진단용 웨이퍼의 기판(61)은, 진단용 웨이퍼(60)가 플라즈마(66) 내에 침지되고 제1 RF 파워 시스템(62)에 의해 제1 전극(52)을 통해 RF 바이어스되는 동안에 진단용 웨이퍼(60)에 입사하는 이온의 이온 에너지 분포(IED)를 측정하거나, 평가하거나, 진단하는데 사용되도록 구성된 하나 이상의 이온 에너지 분석기("IEA")(74)를 포함하거나 그 중 일부를 포함할 수도 있다. 각각의 IEA(74)는 IEA 측정 전자 시스템(76)[이하에서는, "IEA 컨트롤러(76)"로서 지칭함]에 조작 가능하게 결합될 수 있으며, 이 시스템은, 이하에서 보다 상세하게 설명하는 바와 같이 IED에 관련한 신호를 수신하도록 구성되어 있다.

[0038] 플라즈마 처리 시스템(50)은, 제1 RF 파워 시스템(62), 제2 RF 파워 시스템(64), DC 전압 소스(70), DC 파워 시스템(72) 및 IEA 컨트롤러(76) 중 하나 이상에 조작 가능하게 결합될 수 있는 컨트롤러(78)를 더 포함할 수 있고, 이들 시스템 각각과 데이터를 교환하도록 구성될 수도 있다. 예컨대, 컨트롤러(78)는 이온 전류 및/또는 IED와 관련한 신호를 수신하고, 이 신호를 처리하여 플라즈마(66)의 상태를 결정하도록 구성될 수도 있다. 다른 예에 있어서는, 컨트롤러(78)를 사용하여, 예컨대 에칭 공정에서의 결함 또는 플라즈마 불안정 등을 포함한 (플라즈마 에칭 등의) 플라즈마 공정의 종점(endpoint)과 변경 신호 및/또는 IED를 연관시킬 수 있다.

[0039] 진단용 웨이퍼(60)를 임의의 유형의 플라즈마 처리 시스템(50)과 함께 사용될 수 있다. 이러한 예시적인 예에서는, RF 전동식 용량 결합형 플라즈마("CCP") 처리 시스템에서 IED의 측정이 실시된다. 그러나 진단용 웨이퍼(60)는 유도 결합형 플라즈마("ICP"), 트랜스포머 결합형 플라즈마("TCP"), 전자 사이클로트론 공명("ECR") 플라즈마, 헬리콘파 플라즈마, 표면파 플라즈마("SWP")에 사용될 수도 있으며, 이들은, 예컨대 슬롯형 평면 안테나 등을 이용하여 형성될 수도 있다.

[0040] 계속해서 도 2를 참조하면, IEA(74)는 기판(61)의 대략 중심 영역에 위치되어 있지만, 이 위치가 필수적인 것은 아니며 IEA(74)는 기판(61)의 에지에 보다 근접하게 위치될 수도 있다. 필요에 따라서는, 제2 IEA(도시 생략)가 대략 기판(61)의 에지 영역에 위치될 수도 있다.

[0041] 이제 도 3 및 도 4를 참조하고, 도 1 및 도 2를 계속해서 참조하면, 본 발명의 일 실시형태에 따른 IEA(74)가

도시되어 있다. IEA(74)는, 플라즈마(66)에 노출되어 있는 제1 면을 형성하는 입구 그리드(80)와, 입구 그리드(80)에 근접하여 플라즈마(66)의 반대측에 배치된 이온 선택 그리드(82)와, 선택 그리드(82)에 근접하여 입구 그리드(80)의 반대측에 배치되고, IEA(74)의 제2면을 형성하는 이온 컬렉터(84)를 구비하는 어셈블리이다.

[0042] 이하에서 보다 상세하게 설명하는 바와 같이, 각 그리드(80, 82)와 이온 컬렉터(84)는 도핑된, 또는, 인 도핑된 실리콘 기판(90, 92, 94) 상에 형성될 수 있다. 또한, 상응하는 처리 웨이퍼와 동일한 RF 회로 소자와 유사하게 거동하도록 진단용 웨이퍼(60)의 구조를 선택할 수도 있다. RF 회로 소자는, 예컨대 전도율, RF 임피던스 등을 포함할 수도 있다. 특정의 실시형태에 있어서는, 입구 그리드(80; entrance grid)가 진단용 웨이퍼(60) 상에 직접적으로 형성되어 있고, IEA(74)를 포함한 다른 구성요소가 진단용 웨이퍼(60)의 이면을 매개로 입구 그리드(80)에 결합되어 있다. 다른 실시형태에서는, 입구 그리드(80)가 별개의 실리콘 웨이퍼에 형성되고, 선택 그리드(82) 및 이온 컬렉터(84)와 조립되어 실리콘 웨이퍼의 리세스 내에 위치 결정될 수도 있으며, 이에 대해서는 이하에서 상세하게 설명한다.

[0043] 입구 그리드(80) 및 선택 그리드(82)는 각각, 복수의 개구가 형성되어 있는 중앙의 그리드부(81, 83)를 포함하고, 각각의 개구는, 입구 그리드(80)에 가까운 플라즈마 경계에 있는 플라즈마 시스가 RF 스윙의 최대에서 통상적으로 발생하는 최소 폭으로 있는 순간에 밀도 및 전자 온도에 기초한 드바이 길이(Debye length) 이하인 치수(예컨대, 원형 그리드의 직경; 직사각형 또는 정사각형 그리드의 길이 또는 폭, 또는 필요에 따라 다른 형상 및 적절한 치수)를 갖는다. IEA(74)에 근접한 플라즈마(66)의 경계에 위치되어 있는 플라즈마 시스가 비교적 평평하게 남아 있도록 개구 사이즈를 선택할 필요가 있다. 또한, 서브-드바이 길이는, 입구 그리드(80)를 관통하여 IEA(74) 내로 연장되는 플라즈마 시스의 능력을 규제한다. 전술한 300 ㎜ 직경의 웨이퍼와 100 ㎜ 직경의 IEA에 대해서, 중앙 그리드부(81, 83)는 약 5 ㎜ 내지 약 20 ㎜ 범위의 직경을 가질 수도 있지만, 이들 치수가 제한적인 것으로 고려되어서는 안 된다.

[0044] 중앙의 그리드부(81, 83)는 입구 및 선택 그리드(80, 82) 각각에 대한 두께를 가질 수도 있다. 통과하는 이온의 중성화를 최소화하면서 전기장 및 기계적 강도를 지지하기에 충분한 재료를 제공하기 위하여 두께 범위를 대략 개구 치수(즉, 드바이 길이) 내지 개구 치수의 2배(즉, 드바이 길이의 2배)로 할 수도 있다.

[0045] 입구 그리드(80), 선택 그리드(82) 및 이온 컬렉터(84)를 포함하는 기판(90, 92, 94)은, 인접 기판들(90, 92, 94) 사이에 배치된 인슐레이터(86, 88)에 의해 공간적으로 분리되어 있다. 일 실시형태에 따르면, 예컨대, 인슐레이터(86, 88)는 약 30 ㎛ 내지 약 60 ㎛의 두께 범위를 갖는 알루미나이트(Al_2O_3) 또는 사파이어계 재료로 구성될 수 있다.

[0046] 입구 및 선택 그리드(80, 82)와 같이, 각각의 인슐레이터(86, 88)는 중앙의 그리드부(81, 83)와 실질적으로 상하로 정렬되는 중앙 개구(87, 89)를 구비한다. 중앙 개구(87, 89)는 입구 및 선택 그리드(80, 82)의 중앙 그리드부(81, 83)의 직경과 일치하거나 이보다 큰 직경을 갖는다. 고전압 전위가 그리드(80, 82, 84)에 인가되기 때문에, 인슐레이터(86, 88)에는, 인접하는 그리드(80, 82, 84)들 사이에 발생하는 플래시오버 가능성 및/또는 전기적 차단이 가해질 수 있다. 이와 관련하여, 특히 도 5a 및 도 5b에 도시된 바와 같이, 인슐레이터 재료는, 인슐레이터(86, 88)의 중앙 개구(87, 89)가 그리드(80, 82)의 중앙 그리드부(81, 83)의 아래에 형성된 채널(96, 98)의 직경보다 작고 그리드부의 직경보다 큰 직경을 갖도록 구성될 수 있다. 상기 다른 방법에서, 인슐레이터(86, 88)는 기판(92, 94)으로부터 내측으로 IEA(74)의 중앙을 향해 돌출한다. 이에 따라, 인슐레이터(86, 88)는, 기판(90, 92) 사이에서 연장되는 필드 라인을 충분히 구부리도록 결정된 오버랩 또는 돌출 길이(ℓ)를 갖는 채널 벽으로부터 내측으로 돌출하여 충전 전(도 5a) 및 후(도 5b)의 플래쉬오버를 줄이거나 방지할 수 있다.

[0047] 비교를 행하면, 인슐레이터(86, 88)의 종래의 길이(ℓ)는 제로이다. 이러한 경우에, 개별 도체(예컨대, 그리드(80, 82)와 이온 컬렉터(84))를 연결하는, 인슐레이터(86, 88)의 표면을 따른 경로가 존재한다. 인가된 연속 자기장이 인슐레이터(86, 88)의 표면에 평행한 경우에, 충분히 큰 전기장에 의한 고장 가능성이 있다. 대신에, 도 5a 및 도 5b에 나타낸 바와 같이, 인슐레이터는 길이 ℓ 만큼, 인슐레이터(86, 88)의 표면에 평행한 전기장이 비교적 작은 영역 내로 돌출하여, 표면 아크의 가능성을 감소시킨다.

[0048] 대안으로, 인슐레이터(86, 88)의 표면을 따라 연장되는 모든 가능한 경로의 세트가 존재하는 경우에, 인슐레이터(86, 88)는, 바로 인접하는 그리드(80, 82, 84)의 두 점 사이에 직선 경로가 존재하지 않도록 선택되는 기하 형상을 가질 수도 있다. 보다 구체적으로, 특정의 예시적인 실시형태와 관련하여, 인접하는 그리드는, 제1 인슐레이터(86)에 대해서는, 입구 그리드(80)와 선택 그리드(82) 사이에, 제2 인슐레이터(88)에 대해서는 선택 그리드(82)와 이온 컬렉터 사이를 지칭한다.

[0049] 도 3을 다시 참조하면, IEA(74)를 세라믹 스페이서(99) 및 석영 커버 플레이트(101)로 마무리될 수 있다. 석영 커버 플레이트(101)는, 세라믹계 재료로 구성될 수 있는, 예컨대 하나 이상의 볼트(103)를 매개로 입구 그리드(80)에 결합될 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, IEA(74)를 포함하는 층을 접착제 등에 의해 접합할 수 있다.

[0050] 입구 및 선택 그리드(80, 82) 각각은 IEA 컨트롤러(76)의 각각의 전압 소스(180a, 182a; 도 11)에 조작 가능하게 결합되고, 이온 컬렉터(84; 도 11)는 이온 전류 미터, 특히 본원 명세서에서는, 전류계(106; 도 1)에 조작 가능하게 결합되어 있다. 일 실시형태에 있어서, 이는, 처리 챔버(56; 도 1)의 벽에 있어서의 피드-스루 시스템(75)을 매개로 구현된다. 제1 전압 소스(180a)는, 입구 그리드 전위에 대하여 선택 그리드(82)에 일정 바이어스 또는 교번 바이어스를 인가하도록 조작될 수 있다. 제2 전압 소스(182a)는, 입구 그리드 전위에 대하여 이온 컬렉터에 음의 바이어스를 인가하도록 조작될 수 있다.

[0051] 도 6에 도시된 바와 같이, 예컨대 사인파형(108)에 의해 선택 그리드(82)에 바이어스 전위를 인가하여, 선택 그리드(82)를 입구 그리드(80; 도 2)에 대하여 음의 전압 및 양의 전압 사이에서 바이어스시킨다. 예컨대, 삼각파형을 포함한 다른 파형을 사용할 수도 있다. 입구 그리드(80)에 대한 선택 그리드(82; 도 2)의 전압 전위는, 선택 그리드(82; 도 3)의 중앙의 그리드부(83; 도 3)에 있는 복수의 구멍을 통과하여 이온 컬렉터(84; 도 3)에 도달하는 이온의 최소 이온 에너지(및 전하)를 결정하도록 조작될 수 있다. 대안으로, 제1 선택 에너지의 이온은 선택 그리드(82; 도 3)로부터 떠나갈 수도 있고, 예컨대 일부 그리드 전압에서 추출될 수도 있는 반면, 제2 선택 에너지의 이온은, 이온 컬렉터(84; 도 3)에서 기록된 어느 정도 낮은 전압에서 선택 그리드(82; 도 3)의 중앙 그리드부(83; 도 3)의 복수의 구멍을, 높은 가능성으로, 심지어 낮은 선택 그리드 전압에서도, 횡단한다.

[0052] 도 6의 예시적인 도면은 파형(108)을 따라 상이한 시점에서 고에너지 이온의 이온 궤적을 도시하고 있다. 이온이 부분적으로 전달되는 중간 전압 범위는, 본 발명의 일 실시형태에 따른 이온 에너지 분석기의 분해능에 대한 제한 중 하나를 나타낸다.

[0053] 도 7은, 본 발명의 일 실시형태에 따른 플라즈마 처리 시스템(50)을 이용하는 한 가지 방법을, 도 1 및 도 3을 참조로 하여 예시하는 흐름도(110)이다. 이러한 특정의 실시형태에 있어서는, 입구 그리드(80; 도 2)의 전압이 검출되고, 선택 그리드(82; 도 3) 및 이온 컬렉터(84; 도 3)에 인가된 전압의 크기는, 챔버 그라운드 또는 다른 기준 전압보다는 상기 검출된 전압에 참고로 된다. 선택적인 스텝 112에서는, IEA(74)가 내부에 합체되어 있는 진단용 웨이퍼(60)가 처리 챔버(56) 내에 위치 결정되지만, 이하에서 상세하게 설명하는 바와 같이, IEA(74)의 위치를 진단용 웨이퍼(60)로 한정할 필요는 없으며, 그 대신에, 진단 시스템의 플라즈마 노출면 상의 처리 웨이퍼에 포함될 수 있다. 선택 그리드(82)의 이온 전압을 결정하여 이온 컬렉터(84)에 도달하는 이온 플럭스의 원하는 분율을 선택한다. 이와 관련하여, 스텝 114에서는, 입구 그리드(80)의 부동(浮動) 전위를 검출하고, 선택 그리드의 전압 및 이온 컬렉터의 전압에 대한 기준으로서 사용한다. 이온 컬렉터(84)는, 이온 컬렉터(84)를 음으로 바이어스시키도록 구성되어 있는 전압 소스(180a; 도 11)에 결합된다. 이온 선택 전압은, 대략 0V로부터 최대 이온 에너지와 동일한 값에 이르는 범위의 양(positive)의 DC 전압을 포함할 수 있다. 이온 선택 전압의 범위는, 플라즈마 바운더리의 플라즈마 시스를 통과하고, 입구 그리드(80)를 통하여 IEA(74)에 들어가는 이온의 이온 에너지의 전체 범위를 식별할 수 있도록 충분히 넓게 선택된다.

[0054] 단계 116에서는 전압에 대한 시간-변화 파형을 선택 그리드(82)에 인가하고, 단계 118에서는 이온 컬렉터(84)에서 리시브한 이온 전류 플럭스를 측정한다. 전압 소스(180a)(도 11)는 선택 그리드(82)에 전기적으로 결합되고, 음의 DC 이온 선택 전압으로 이온 컬렉터(84)를 바이어스하도록 구성된 가변 DC 전압 소스를 포함할 수 있다. 가변 DC 전압 소스는, 이온 선택 전압을 제1 전압값과 제2 전압값의 사이에서 변경함으로써 이온 선택 전압을 스캔하도록 구성되어 있다. 이온 선택 전압은 후술하는 바와 같이 입구 그리드(80) 또는 그라운드에서의 부동 전위에 참조될 수 있다.

[0055] 단계 119에서는, 측정한 이온 전류를 선택 그리드(82)의 시간-변화 이온 선택 전압의 함수로서 저장한다. 이와 관련하여, 전류계(106)를 이온 컬렉터(84)에 결합하여 이온 전류를 측정한다. 전류계(106)는 당업자라면 이해하는 바와 같이 연산 증폭기(op-amp) 또는 그 밖의 디바이스를 포함할 수 있다.

[0056] 무엇보다도, IEA 컨트롤러(76)는, 이온 컬렉터(84)에서 선택된 이온 전류에 관련된 신호를 수신하고, 이 신호를 처리하며, 이 신호를 저장하고, 진단받는 플라즈마용 IED를 어셈블링하도록 구성되어 있다. 하나 이상의 IEA(74)가 플라즈마에 침지되는 실시형태에서는, 선택 그리드(82)에서의 전위를 변경하고, 이온 컬렉터(84)에 의해 부여되는 전위 장벽을 극복하여 이온 컬렉터(84)에 부딪치기에 충분한 에너지를 가진 이온에 관한 이온 전류를 모니터링함으로써, IED를 측정할 수 있다. 선택된 이온 전류를 이온 컬렉터(84)에서의 전위의 함수로서

수집 및 측정함으로써, IED의 적분 형태를 취득할 수 있다. 이러한 적분의 미분에 의해 IED가 얻어진다.

[0057] 본 발명의 다른 실시형태에 따르면, IEA 컨트롤러(76)는, 전압 소스(182a)(도 11)를 통해 이온 컬렉터(84)를 바이어스하고 선택 그리드(82)를 고정된 음의 전압으로 음으로 바이어스하는 스윕 출력 레벨을 설정하도록 구성될 수 있는 데, 두 전압은 모두 입구 그리드(80)의 검출 전위와 관련이 있는 것이다. 선택 그리드(82)의 음의 바이어스는 입구 그리드(80)에 들어가는 전자를 밀어내는 작용을 하며, 이온 컬렉터(84)에 인가되는 변화하는 양의 전위는 이온 컬렉터의 전위보다 낮은 에너지를 가진 이온을 입구 그리드에 대하여 밀어내는 작용을 한다. 이온 컬렉터 전압의 함수로서의 이온 컬렉터 전류를 미분하여 IED에 제공할 수 있다.

[0058] 어떤 경우에는, 이용률, 비용, 또는 그 밖의 외부 영향에 의해, 입구 그리드를 구성하는 재료(예컨대 도핑된 실리콘)의 양을 줄이는 것이 요구될 수 있다. 구체적으로, 입구 그리드를 기판에 직접 형성하는 것과 관련된 비용은 매우 높아질 수 있다. 따라서, 입구 그리드의 형성에 필요한 기판 재료의 양을 제한하는 것이 유익할 수 있다.

[0059] 이와 관련하여, 이제 도 8과 도 9를 참조해 보면, 본 발명의 다른 실시형태에 따른 IEA(122)를 갖는 진단 웨이퍼(120)가 도시되어 있다. 진단 웨이퍼(120)는 내부에 오목부(124)가 구비되어 있고, 이 오목부는, 그 내부에 IEA(122)를 수용하고, 개구(127)를 갖는 입구 그리드(126)의 노출면(128)이 진단 웨이퍼(120)의 노출면(130)과 동일 평면상에 있도록 그 형상 및 크기가 설정되어 있는 것이다. 오목한 트랙(132)이 오목부(124)로부터 반경 방향 외측으로 연장되며, 이하에 상세히 설명하는 바와 같이 IEA(122)와 작동식으로 연관된 전자 부품을 수용하도록 구성되어 있다.

[0060] 입구 그리드(126)의 치수는, 입구 그리드(126)와 진단 웨이퍼(120)의 하지 기판(121) 사이에 우수한 용량성 결합을 제공하도록 충분히 커야할 필요가 있다. 전선이 챔버 벽의 피드-스루(75) 시스템(도 1)을 통해 입구 그리드(126)를 외계에 접속시키는 경우, 입구 그리드(126)와 기판(121) 사이의 RF 임피던스가 입구 그리드(126)와 그라운드 사이의 RF 임피던스보다 작게 하기 위해서는, 입구 그리드(126)와 하지 기판(121) 사이의 우수한 용량성 결합이 필요하다. 예를 들어, 입구 그리드(126)를 구성하는 데 사용된 300 ㎜ 직경의 실리콘 웨이퍼의 IEA(122)는 약 100 ㎜의 직경을 가질 수 있고, [관통 개구(135)를 갖는] 선택 그리드(134) 및/또는 이온 컬렉터(136)를 구성하는 데 사용된 실리콘 웨이퍼의 직경은 100 ㎜ 미만일 수 있어, 재료 비용을 더 줄일 수 있다. 일반적으로, 입구 그리드(126) 및 선택 그리드(134)를 구성하는 데 사용된 기판 재료의 두께는 약 100 ㎛ 내지 약 500 ㎛의 범위일 수 있다.

[0061] 그리드(126, 134) 및 이온 컬렉터(136)는 전술한 방식으로 구성된 제1 절연체(138) 및 제2 절연체(140)에 의해 재차 분리된다. IEA(122)에는 석영 덮개판(144)이 결합될 수 있고, 석영 덮개판은 웨이퍼(120)의 다른 오목부(146) 내에 수용되어 있으며, 하나 이상의 볼트(148)를 통해 결합된 어셈블리는 세라믹계 재료로 구성될 수 있다. 또 다른 볼트(150)를 이용하여 IEA(122)를 진단 웨이퍼(120)에 결합할 수 있다.

[0062] 전기 커플링, 즉 전선(154)을 실리콘 진단 웨이퍼(120)로부터 절연시키기 위해 세라믹 스페이스(152)가 포함될 수 있다.

[0063] 본원에 기술된 바와 같이 진단 웨이퍼(120)를 이용하는 것은 도 7과 관련하여 앞서 설명한 방법과 유사할 수 있다.

[0064] 또 다른 처리 방법에서는, 입구 그리드를 형성하는 데 사용되는 기판 재료의 양의 추가적인 제한이 필요할 수 있다. 그 결과, 도 10에 도시된 바와 같이, 본 발명의 다른 실시형태에 따른 실리콘 기판(163)을 포함하는 진단 웨이퍼(162)에 사용하는 입구 그리드(160)가 도시 및 기재되어 있다. 또한, 입구 그리드(160)는 전술한 것과 유사할 수 있고, 제1 세그먼트(164)와 제2 세그먼트(166)로 분할되어 있는 도핑된 실리콘 기판 재료를 포함한다. 구체적으로 예시된 실시형태에서, 제1 세그먼트(164)는 복수의 개구(170)가 구비되어 있는 중앙 그리드부(168)를 포함하고, 제2 세그먼트(166)는 제1 세그먼트(164)와 동심으로 위치해 있다. 그러나, 다른 배치 구조 및 형상도 이용 가능하다.

[0065] 제1 세그먼트(164)와 제2 세그먼트(166)는 리드(172)를 통해 연결되어 있어, 제1 세그먼트(164)와 제2 세그먼트(166)는 전기적으로 단일체로서 작동한다. 그 결과, 제1 세그먼트(164)와 제2 세그먼트(166)의 전체 면적은, 제1 및 제2 세그먼트 전체와 진단 웨이퍼(162) 사이에 우수한 용량성 RF 결합을 제공하도록 충분히 크다. 진단 웨이퍼에 대한 임의의 그리드의 RF 결합을 강화하는 데, 관련 기술이 사용될 수 있다.

[0066] 리드(172)는 도전선 또는 그 밖의 공지의 디바이스일 수 있음은 물론이다.

[0067] 도 10의 IEA(174)를 포함하는 나머지 구성 요소는 도 8과 관련하여 전술한 것과 사실상 유사하여, 뒤에 프라임 부호를 붙인 유사한 도면 부호는 이들 실시형태의 대응 구성 요소를 표시한다.

[0068] 본원의 설명으로부터, 당업자라면 다양한 전기 회로 실시형태가 IEA 컨트롤러(도 1)를 포함할 수 있다는 것을 쉽게 인지할 것이다. 그렇지만, 일부 회로도, 예컨대 하나 이상의 그리드를 결집함으로써 전기 접속의 수를 최소화한 회도도가 다른 것보다 유익할 수 있다. 따라서, IEA 컨트롤러 구성의 여러 실시형태를 설명하였지만; 다수의 회로가 당업자에 의해 구현될 수 있으므로, 본원에 기술된 전기 회로도는 제한적인 것으로 고려되어서는 안 된다.

[0069] 이제 도 11을 참조하여, 이러한 일 실시형태에 따른 IEA 컨트롤러(76a)를 설명한다. 구체적으로, IEA 컨트롤러(76a)는 플라즈마 전위가 가변적이며 상대적으로 바이어스된 플라즈마에 사용하기에 적합하다. 이러한 점에서, 입구 그리드(80)의 양단의 바이어스 전위는 적어도 부분적으로 플라즈마 전위에 의해 결정된다. IEA 컨트롤러(76a)는 IEA(74)의 입구 그리드(80), 선택 그리드(82) 및 이온 컬렉터(84)에 전기적으로 연결되어 있다. 이러한 점에서, IEA 컨트롤러(76a) 내의 제1 가변 전압 소스(180)는 선택 그리드(82)를 입구 그리드(80)에 대해 선택적으로 바이어스하도록 구성되어 있다. IEA 컨트롤러(76a) 내의 제2 가변 전압 소스(182)는 이온 컬렉터(84)를 입구 그리드(80)에 대해 선택적으로 바이어스하도록 구성되어 있다. 일반적으로 각 전압 소스(180, 182)는 -V 내지 +V 범위의 전압 전위를 인가하도록 구성되어 있고, 다양한 방법으로 구성될 수 있다. 일 실시형태에 따르면, 전압 소스(180, 182) 중 어느 하나 또는 양자 모두는 직렬로 연결되어 있는 제1 전압 발생기와, 반대 극성의 제2 가변 전압 발생기를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 전압 발생기는 두 전극 사이에 양의 바이어스를 인가하도록 구성될 수 있고, 제2 가변 전압 발생기는 두 전극을 선택적으로 음으로 바이어스하여 양의 성질을 덜 띠거나 심지어 음의 성질을 띠게 한다.

[0070] 전류계(106)는 이온 컬렉터(84)에 전기적으로 연결되어 있고, 이온 컬렉터(84)에 충격을 가하기에 충분한 에너지를 가진 이온에 기인하는 전류 흐름을 측정하도록 구성되어 있다. 결과적으로 측정된 전류를 나타내는 신호가 유선 접속을 통해 또는 무선으로 처리용 컨트롤러(78)에 전송될 수 있다.

[0071] 몇몇 플라즈마 조건에서는, 도 12에 도시된 본 발명의 다른 실시형태에 따라, 입구 그리드 부동 전압을 측정한 후, 그라운드 등의 기준 전압에 관하여 바이어스할 수 있다. 도 11을 참조하여 전술한 것과 유사한 제1 및 제2 전압 소스(180a, 182a) 이외에, 제3 전압 소스(184)가 IEA 컨트롤러(76b)를 그라운드에 병렬로 전기적으로 연결할 수 있다.

[0072] 필요에 따라, 선택 그리드(82)와 가변 전압 소스(180a) 사이에 다른 이온 전류 미터가 마련될 수 있다. 선택 그리드(82)로부터 검출된 이온 전류는 일반적으로 IED를 결정하는 데, 또는 IEA의 성능을 평가하는 데 사용될 수 있다.

[0073] 진단 웨이퍼가 복수의 IEA(74)를 포함하는 실시형태에서는, 전체 IEA(74)를 하나의 선택 그리드(184)에 통합시키는 것이 유익할 수 있다. 도 13은 이러한 본 발명의 일 실시형태를 보여준다. IEA 컨트롤러(76c)는 또한 각 입구 그리드(80)와 단일 선택 그리드(186) 사이에 전압을 인가하는 제1 전압 소스(180b)를 포함한다. 제2 전압 소스(182b)와 직렬로 연결된 개별 전류계(106)는 이온 컬렉터(84)를 입구 그리드(80)와 전기적으로 연결한다. 도시된 바와 같이, IEA(74)는 본 실시형태에서는 진단 웨이퍼(60)일 수 있는 내부 그라운드 소스에 더 연결되어 있다.

[0074] 도 13은 단일 IEA 컨트롤러(76c) 내에 통합되어 있는 전압 소스(182b)를 예시하지만, 이는 단지 도시의 편의를 위한 것임은 쉽게 인지될 것이며, 실제로는 일부 실시형태에서는 그 내부에 한 세트의 전압 소스(180, 182) 만을 구비한 개별 IEA 컨트롤러가 각 IEA에 조작 가능하게 연결될 수 있다.

[0075] 지금까지 본 발명의 실시형태들은 개별 선택 그리드 및 이온 컬렉터를 구비하였지만; 이들 개별적인 구성 요소들에 의해 행해지는 기능은 단일 유닛에 통합될 수 있다. 예를 들어, 도 14 및 도 14a를 참조해 보면, 본 발명의 다른 실시형태에 따른 IEA(200)가 IEA 컨트롤러(206)의 일 실시형태와 함께 개략적으로 도시되어 있다. IEA(200)는 입구 그리드(202)와 컬렉터(204)를 구비하며, 이 컬렉터는 소정의 에너지 범위의 이온을 선택적으로 수집하도록 작용 가능한 것으로 절연체(207)에 의해 입구 그리드(202)로부터 전기적으로 차폐되어 있다.

[0076] 컬렉터(204)는 전술한 가변 전압 소스(180, 182)(도 11)와 유사한 방식으로 구성될 수 있는 가변 전압 소스(208a)에 의해, 부동 전위를 갖는 입구 그리드에 대하여 바이어스된다. 전류계(210a)는 컬렉터(204)에 전기적으로 연결되어 있고, 컬렉터(204)에 충격을 가하기에 충분한 에너지를 갖는 이온에 기인하는 전류 흐름을 측정하도록 구성되어 있다. 결과적으로 측정된 전류를 나타내는 신호가 유선 접속을 통해 또는 무선으로, 전류계

(210)로부터 처리용 컨트롤러(78)의 프로세서(189)에 전송될 수 있다.

[0077] IEA(200)는 IEA(200)의 구성에 필요한 재료의 양, 특히 도핑 실리콘의 양을 줄일 뿐만 아니라, IEA(200)와 IEA 컨트롤러(206a) 사이의 전기 접속 및 그 차폐의 복잡성을 감소시킨다.

[0078] 사용시, IEA(200)는 이온 전류 프로브로서 작동하도록 구성될 수 있다. 이러한 구성에서, 이온 컬렉터(204)는 총 이온 전류를 측정할 수 있다. 보다 구체적으로, 이온 수집기(204)는 [중앙 그리드부(205)에 복수의 개구(203)를 구비하는] 입구 그리드(202)에 대해 음으로 바이어스될 수 있고, 이온 컬렉터(204)에 충격을 가함으로써 이온 전류가 측정된다. 이온 컬렉터(204)에 인가되는, 도 6을 참조로 하여 설명한 것과 같은 파형에 따라, 싱글 그리드 및 싱글 컬렉터를 이용하여 IED를 결정하여, 이러한 배치를 작고 단순한 구조로 할 수 있다.

[0079] 도 15는 일정하게 바이어스된 입구 그리드(202)와 함께 사용되도록 전기적으로 구성된 IEA 컨트롤러(206b)를 갖는 IEA(200)를 도시한다. 구체적으로, 조정 가능한 전압 소스(208b)에 더하여, 다른 조장 가능한 전압 소스(212)가 IEA(200)를 그라운드에 평행하게 전기적으로 결합할 수 있다.

[0080] 도 16 및 도 17은, 진단용 웨이퍼가 복수의 IEA(200)를 구비하는 2개의 전기 구성을 도시한다. 3개의 IEA가 도시되어 있지만, 예시된 개수로 한정되는 것은 아니라는 것을 쉽게 이해할 것이다. 도 16에 있어서, IEA 컨트롤러(206c)는, 복수의 IEA(200) 각각이 별도의 조정 가능한 전압 소스(208c) 및 전류(210c) 조합을 갖도록 구성되어 있다. 측정된 결과적인 전류를 나타내는 신호를 전달하고 구별할 수 있다. 이 때문에, IED는 진단용 웨이퍼의 복수의 위치에 결정될 수 있다. 전술한 바와 같이, 전압 소스(208c)는 동일한 IEA 컨트롤러(206c) 내에 마련되어 있는 것으로 예시되어 있지만, 이것은, 각각의 IEA(200)가 별도의 IEA 컨트롤러(206)에 조작 가능하게 결합될 수 있다면, 필수적인 것은 아니다.

[0081] 도 17은, 각 IEA(200)가 별도의 조정 가능한 전압 소스(208d) 및 전류계(210d)를 구비하는 점에서 유사하지만, IEA 컨트롤러(206)는 입구(202)에 직접적으로, 그리고 전기적으로 결합되어 있지 않다. 대신에, IEA(20)는, 기판(61) 근처의 내부 그라운드 소스에 결합되어 있다.

[0082] 훨씬 낮은 전압 전위에서는, 고전압 전위 및 RF 에너지를 조작하는 환경 내의 전류계로부터의 전류 측정치를, 접지되는 경우가 있는 IED용 IEA 컨트롤러에 전달하기가 곤란하였다. 즉, 일련의 RF 필터를 각 그리드와 IEA 컨트롤러(76) 사이에 배치하여, 각 그리드상의 하나 이상의 RF 주파수의 RF 전압에 고입력 임피던스를 제공할 수 있다. 본 발명의 일 실시형태에 따라, 전류를 전달하는 한 가지 방법, 즉 피드-스루 시스템(75)을 도 18 및 도 19를 참고로 하여 설명한다.

[0083] 도 18에 있어서, 피드-스루 시스템(75)은 브릿지(214), 피드-스루(215) 및 RF 쵸크(217)를 구비한다. 브릿지(214)는, IEA(122)와 IEA 컨트롤러(76; 도 1) 사이에 이루어진 전기 접속부를 진단용 웨이퍼(120) 및 플라즈마(66; 도 1)로부터 격리시키도록 구성되어 있다. 브릿지(214)는 피드-스루(215)를 매개로 RF 쵸크(217)와 인터페이스되어, IEA(122)에 의해 픽업된 RF 전압을 감소시키고, 와이어 접속부가 챔버 벽을 통과할 때에 RF 전류가 챔버 그라운드로 흐르게 할 수 있다. 마지막으로, RF 쵸크(217)는 저주파 교류 및 직류는 허용하면서, 처리 챔버(56; 도 1)로부터 떨어져 있는 고주파 교류의 이동을 제한하며, IED를 표시하는 이들의 전류가 포함된다.

[0084] 고주파 AC 및 하이 RF 전압 신호의 필터링을 더욱 용이하게 하기 위하여, RC 회로(219)를 피드-스루 시스템(75)에 도입할 수도 있다. 예컨대, 각각의 필터(216, 218)는, 산화루테늄(RuO_2) 또는 산화알루미늄(Al_2O_3)으로 구성되는 노치 또는 밴드 패스 필터 또는 로우 패스 필터를 포함할 수도 있다. 입구 그리드(126; 도 8)와 선택 그리드(134; 도 8)의 각각에 대한 RuO_2 레지스터(216, 218)를, 예컨대 각각 약 5 kΩ의 저항을 제공하도록 구성된 것을, 하나는 진단용 웨이퍼(120) 내에, 하나는 브릿지(214) 내에 구현함으로써, 처리 챔버(56; 도 1)의 벽에 도달하기 전에 전압을 충분히 저하시킬 수 있다.

[0085] 각각의 그리드(126, 134; 도 8) 및 이온 컬렉터(136; 도 8)에 대한 하나 이상의 RF 주파수의 RF 전압에 고입력 임피던스를 제공하기 위하여 일련의 RF 필터를 각 그리드와 IEA 컨트롤러(76; 도 1) 사이에 배치할 수도 있다. IEA(122)는 입구 그리드(126; 도 8)와 IEA 컨트롤러(76; 도 1) 사이에 배치된 제1 RF 필터와, 선택 그리드(134; 도 8)와 IEA 컨트롤러(76; 도 1) 사이에 배치된 제2 RF 필터와, 이온 컬렉터(136; 도 8)와 IEA 컨트롤러(76; 도 1) 사이에 배치된 제3 RF 필터를 포함할 수 있다. 예컨대, 각각의 RF 필터는 노치 또는 밴드 패스 필터 또는 로우 패스 필터를 포함할 수도 있다.

[0086] 구체적으로 도시하지는 않지만, 동조 회로를 필요로 하는 이들 실시형태에서는, 전기 접속부 내에 인덕터를 합체할 수도 있다. 일 실시형태에 있어서, 인덕턴스는 100 MHz의 페라이트로 제한될 수 있고, 도 18을 참고로 설

명한 레지스터 사이에 위치 결정될 수도 있다.

[0087] 이상에서 상세하게 설명한 IEA의 상세와, 도 20 및 도 21을 참고로 하여, 본 발명의 일 실시형태에 따른 IEA(74; 도 1)의 제조 방법을 설명한다. 도 20은, 도 21a 내지 도 21h에 개략적으로 도시되어 있는 방법의 개요를 나타내는 흐름도 230이다.

[0088] 이러한 MEMS(Microelectromechanical System) 기반 공정에 따르면, 도 21a는 스텝 232에 따라 포토레지스트 층(236)이 도포되어 있는 도핑 실리콘 기판(234)을 나타낸다. 포토레지스트 층(236)을, 스텝 238에서 (도 4의 채널 96과 같은) 채널을 생성하도록 치수가 정해진 마스크(240)를 이용하여 마스킹하고 이미징한다. 그 후, 스텝 242에서, 이미징된 포토레지스트 층(236)을 종래의 공정에 따라 소성하고, 현상하고, 가공하여, 도 21b에 도시된 바와 같이, 내에칭성 포토레지스트 층(236)과 기판(234)의 노출면(244)을 제공한다. 그 후, 기판(234)을 스텝 246에서 에칭하여, 도 21c에 도시된 바와 같은 채널(248)을 생성한다. 예컨대 습식 또는 건식 에칭을 포함한 임의의 공지의 방법에 의하여 에칭을 실시할 수도 있다.

[0089] 도 21c에 도시된 바와 같이, 채널(248)이 있는 기판(234)을 이온 컬렉터로서 사용할 수도 있고, 추가의 처리를 실시하여 입구 그리드 또는 선택 그리드 중 어느 하나를 형성할 수도 있다. 이와 관련하여, 결정 스텝 250을 참조하면, 그리드 중 하나가 필요한 경우(결정 스텝 250의 "그리드" 브랜치)에는, 공정이 계속된다. 이와 달리, 이온 컬렉터가 필요한 경우(결정 스텝 250의 "이온 컬렉터" 브랜치)에는, 추가의 공정이 필요하지 않고, 방법은 스텝 276으로 진행한다.

[0090] 어떤 경우에든, 기판(234)의 추가 처리를 설명하기 위하여, 스텝 252에서는, 다른 포토레지스트 층(254; 도 21d)을 기판(234) 및 채널(248; 도 21d)에 도포한다. 마스크(258; 도 21d)를 도포하고, 이미징하고(스텝 260), 소성하고, 현상 및 가공하여, 내에칭성 층의 포토레지스트(255; 도 21e)를 형성한다. 기판(234)을 에칭하여 입구 또는 선택 그리드 중 어느 하나를 위한 개구(266; 도 21f)를 생성할 수도 있다.

[0091] 대안으로, 본원 명세서에 설명하는 포토레지스트(236, 254)는, 포토레지스트 층 자체에 더하여, 하드 마스크 층을 포함하는 듀얼 마스크 층일 수도 있다. 웨이퍼는 그 위에 증착된 열 산화층을 포함할 수 있으며, 이 열 산화층은, 듀얼 마스크 층의 하드 마스크 층으로서 사용될 수 있다.

[0092] 흐름도(230)는 그리드보다 먼저 챔버를 에칭하는 방법을 나타내고 있지만, 당업자는, 그 순서가 필수적인 것이 아니고 챔버보다 먼저 그리드를 에칭할 수도 있다는 것을 이해할 것이다.

[0093] 이제 도 21g 및 도 21h를 참조하고, 도 20을 또한 참조하여, 본 발명의 일 실시형태에 따라 IEA를 정렬(도 20의 스텝 268) 및 조립(도 20의 스텝 270)하는 한 가지 방법을 설명한다. 이와 관련하여, 형성된 2개의 그리드(234, 234')는 인슐레이터(270)를 사이에 두고 서로에 대하여 상하 방향으로 위치 결정되어, 입구 및 선택 그리드를 각각 형성한다. 다양한 방법을 이용하여 정렬을 실행할 수 있지만, 예시적인 방법에서는, 그리드(234, 234')의 이면에 위치 결정된 광원(272)과 그 반대측의 포토다이오드(274)를 포함한다. 포토다이오드(274)에 의해 검출된 최대 광이 그리드(234, 234')를 통하여 전달될 때까지, 하나 이상의 마이크로미터(2개의 마이크로미터 228, 229가 도시)를 구비하는 정렬 장치(224; 도 25a 및 도 25b) 등에 의하여 상부 그리드(234)에 대하여 바닥 그리드(234')를 이동시킬 수도 있다. 마이크로미터(228, 229)는 각각 진단용 웨이퍼(60)의 둘레 또는 오목면(286)에 맞물리도록 구성된 아암(282, 284)을 구비할 수 있다.

[0094] 투광이 최대화되면, 인슐레이터(278)에 의해 결정 스텝 250의 "이온 컨트롤러" 브랜치에 따라 형성된 컨트롤러(280)를 제1 및 제2 그리드(234, 234')에 인접하여 배치하고, 예컨대 볼트(148)에 의해 고정한다(도 8).

[0095] MEMS 기반 공정을 설명하였지만, 대안으로, 다른 그리드 형성 방법을 사용할 수도 있다는 것을 이해해야 한다. 예컨대, 레이저 드릴링, 전기 방전 가공(Electrical Discharge Machining: EDM)(그래파이트 전극 등을 포함), 전자빔 가공 등이 있다.

[0096] IEA가 조립되면, 그리드와 이온 컬렉터를 IEA 컨트롤러(76)에 전기적으로 접속한다(도 1). 그러나 납-주석 땜납을 이용하는 통상의 납땜을 실리콘 기판(61)에 적용하는 것은 곤란하다(도 1). 이와 관련하여, 도 22 내지 도 23d를 참고로, 전술한 전기적 접속을 형성하는 방법을 상세하게 설명한다.

[0097] 도 23a에 도시된 바와 같이, 적절하게, 전기 결합을 위한 위치에 근접하여 있는 입구 또는 선택 그리드(122, 134) 또는 이온 컬렉터(136)의 둘레가 도시되어 있다. 입구 또는 선택 그리드(122, 134) 또는 이온 컬렉터(136)를 포함하는 기판에 드릴링, 커팅, 에칭에 의해 슬릿(294)을 형성할 수도 있고, 그 외의 방법으로 생성할 수도 있다. 슬릿(294)은 엄밀한 공차로, 예컨대 약 10 ㎛ 내지 약 20 ㎛ 범위의 공차로, 전기 접속을 형성하는

도체(300)의 측면 둘레에 마련된다. 이어서, 도 23b에 도시된 바와 같은 스텝 292에서는, 증착 공정을 통하여 백금(Pt) 및 유리의 후막(이하에서는 "프리트"라고 지칭함)을 슬릿에 증착한다. 이어서, 증착된 Pt층을 500 ℃에서 약 30분간 어닐링하여 대략 3 nm 두께의 Pt 층(226)을 형성한다(스텝 296).

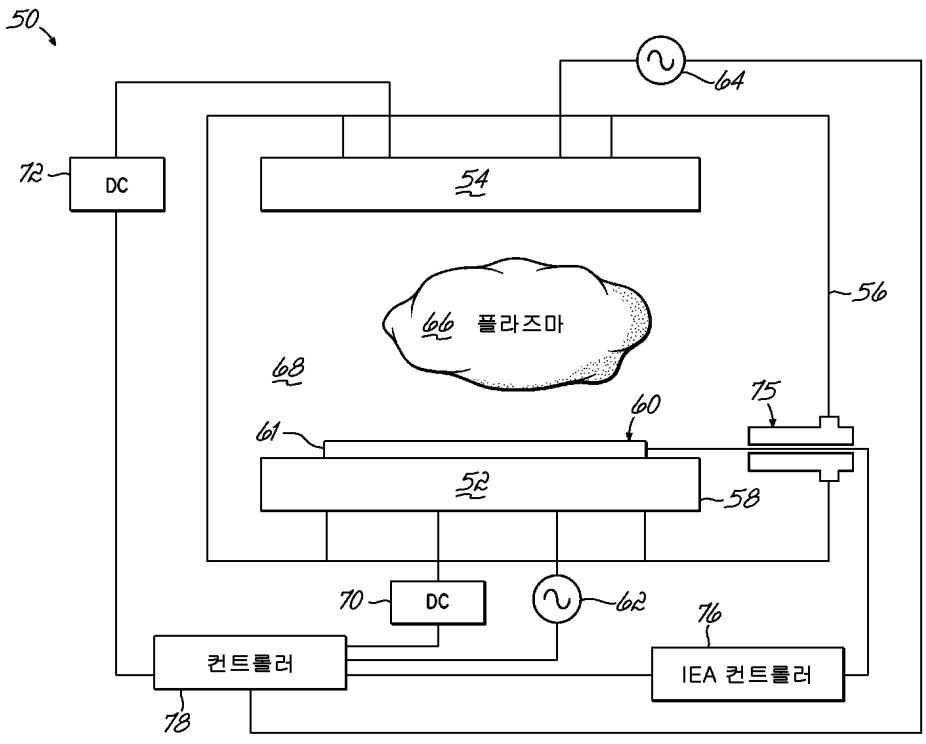
[0098] 도 23c에 있어서, 도체(300)는, Pt층 (226) 위에서 슬릿(294) 내에 위치 결정될 수 있고, 제2 프리트(304)로 피복될 수도 있다(스텝 298). 그리고 도 23d에 도시된 바와 같이, 진단용 웨이퍼(120)는 2단(two-step) 소결 공정(각각 약 300℃ 및 약 950℃)에 의해 소성되어(스텝 302) 도체(300)를 입구 또는 선택 그리드(122, 134) 또는 이온 컬렉터(136)에 전기적으로 또한 기계적으로 접합한다. 백금과 실리콘 사이의 계면에서의 백금 실리사이드 화합물의 형성에 의해 기계적 접합, 특히 전기적 접합이 개선된다.

[0099] 본원 명세서의 실시형태에 따른 IEA를 진단용 웨이퍼로 한정할 필요는 없다. 그 대신에, 도 24를 참고로 또한 본 발명의 다른 실시형태에 따라, 플라즈마 노출면 상에 IEA(310)를 갖는 진단 시스템(50')을 설명한다. 도시된 바와 같이, IEA(310)는 플라즈마 처리 중에 플라즈마(66')에 노출되도록 기판 지지부(58') 상에 위치 결정된다. 진단용 웨이퍼(60')는 기판 지지부(58') 상에 위치 결정된 것으로 도시되어 있지만, 이는 필수적인 것은 아니다. 대신에, IEA(310)를 진단 시스템(50') 내에 위치 결정함으로써, 별도의 IEA를 포함하는지 여부에 따라 임의의 웨이퍼의 플라즈마 가공 중에 IED를 결정할 수 있다. 또한, IEA(310)의 위치를 특정의 예시적인 실시형태로 한정할 필요는 없다. 대신에, IEA(310)의 위치를 플라즈마(66')에 노출될 수 있는 면으로 한정하는 것만이 필요하다. 실제로, 다수의 IEA(310)는, 복수의 개소에서 IED를 결정하여 플라즈마 균일성을 평가하기 위하여 처리 챔버(56') 전체에 걸쳐 위치 결정될 수도 있다.

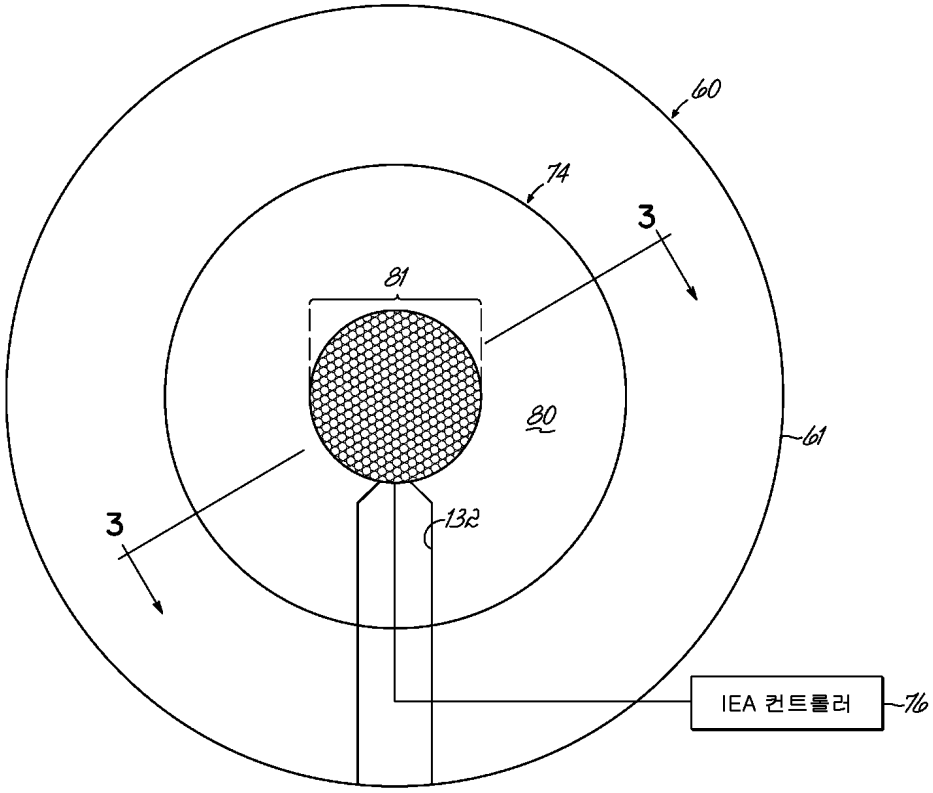
[0100] 본 발명을 다양한 실시형태를 설명함으로써 예시하고 이들 실시형태를 상당히 상세하게 설명하였지만, 당업자는, 본 발명의 신규한 교시 및 이점으로부터 본질적으로 벗어나지 않으면서 예시적인 실시형태에 대하여 많은 변형이 가능하다는 것을 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 따라서 광의의 개념에 있어서의 본 발명은, 설명하고 도시한 특정의 상세 및 예시로 한정되지 않는다. 이에 따라, 본 발명의 정신을 벗어나지 않으면서 그러한 상세로부터 벗어날 수도 있다.

도면

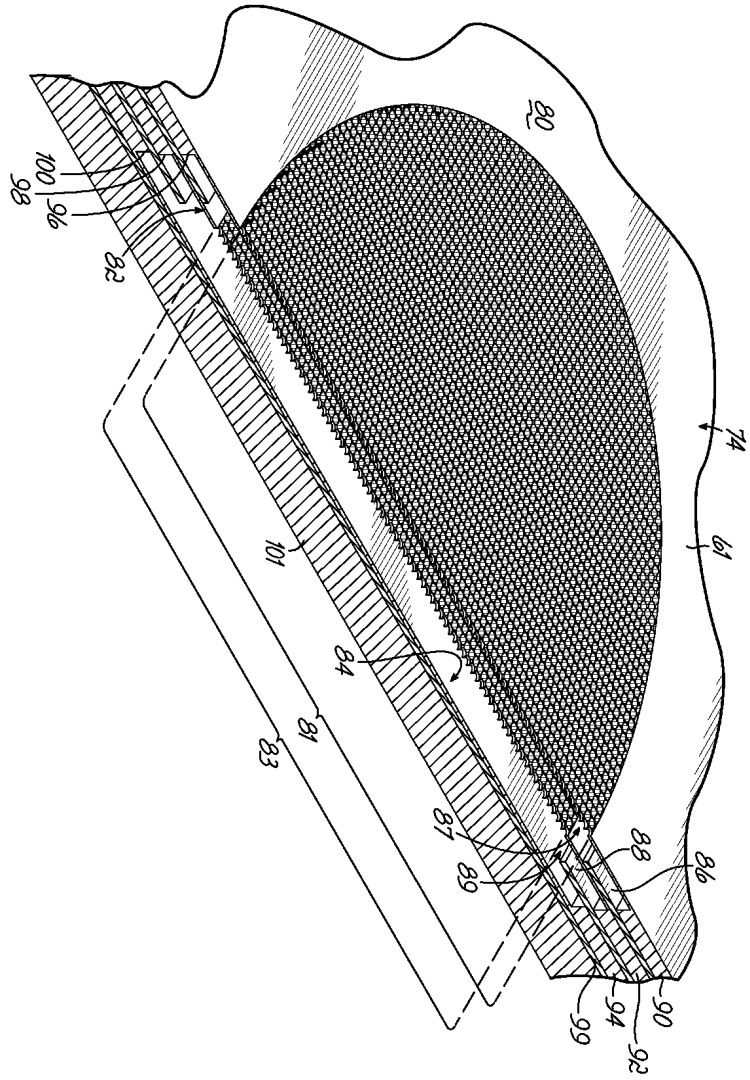
도면1



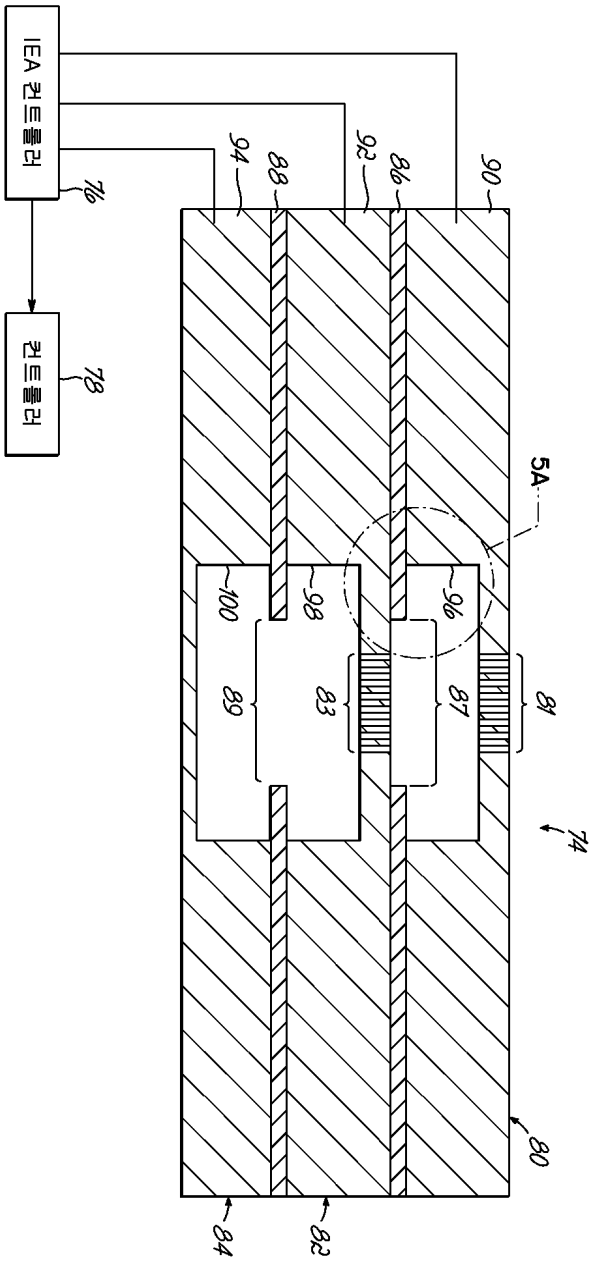
도면2



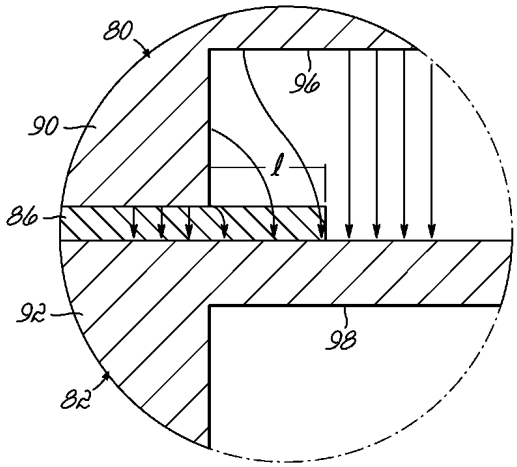
도면3



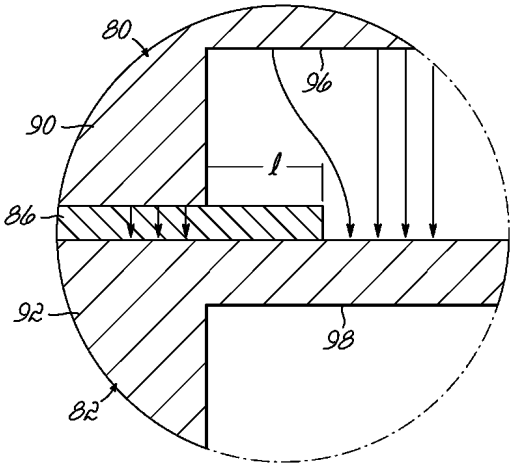
도면4


IEA 컨트롤러
76
컨트롤러
78
94
88
92
86
90
5A
100
98
96
89
83
87
81
74
80
84
82

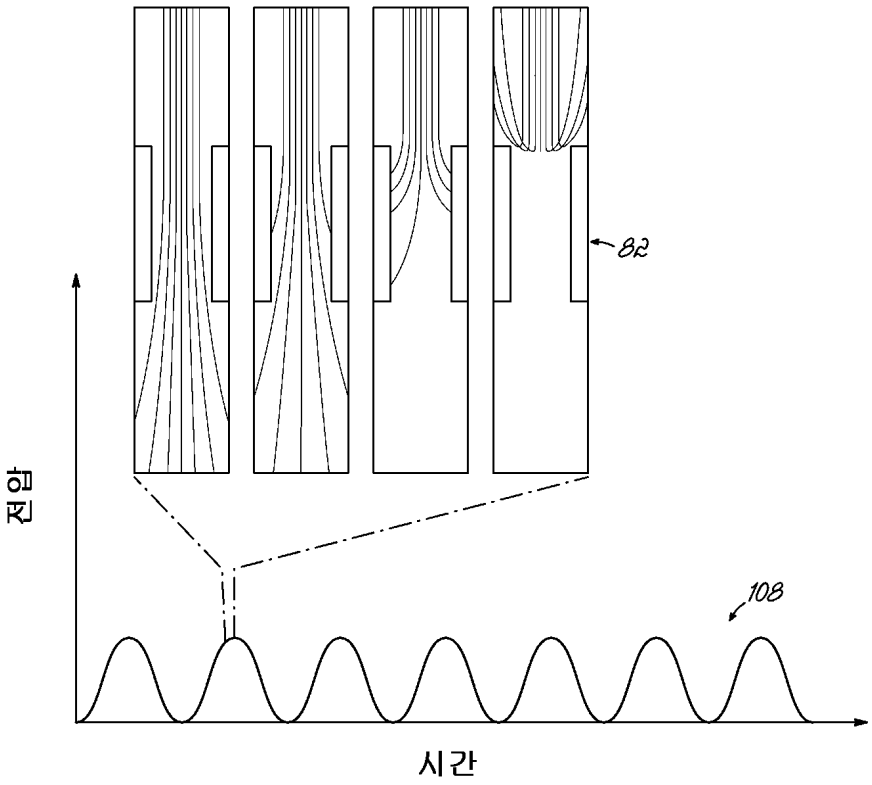
도면5a



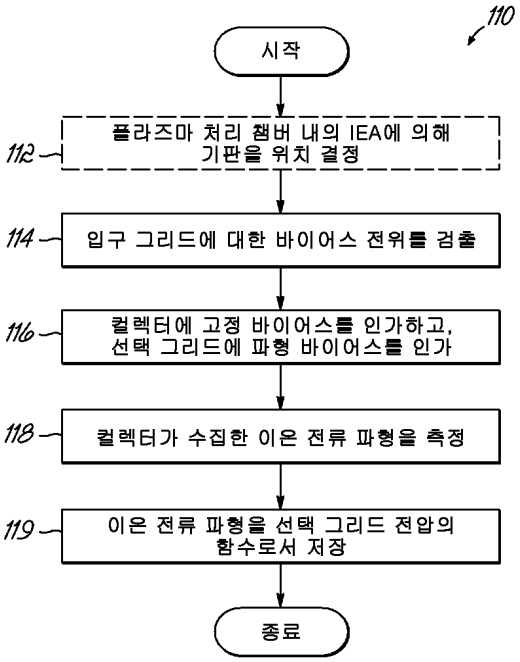
도면5b



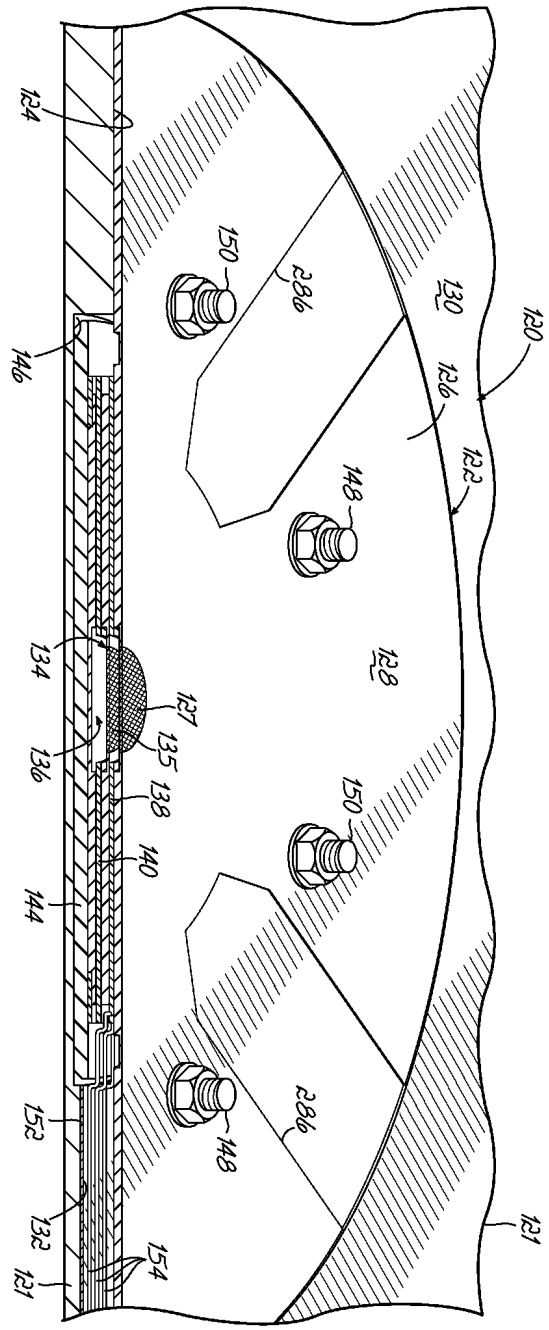
도면6


82
108
전압
시간

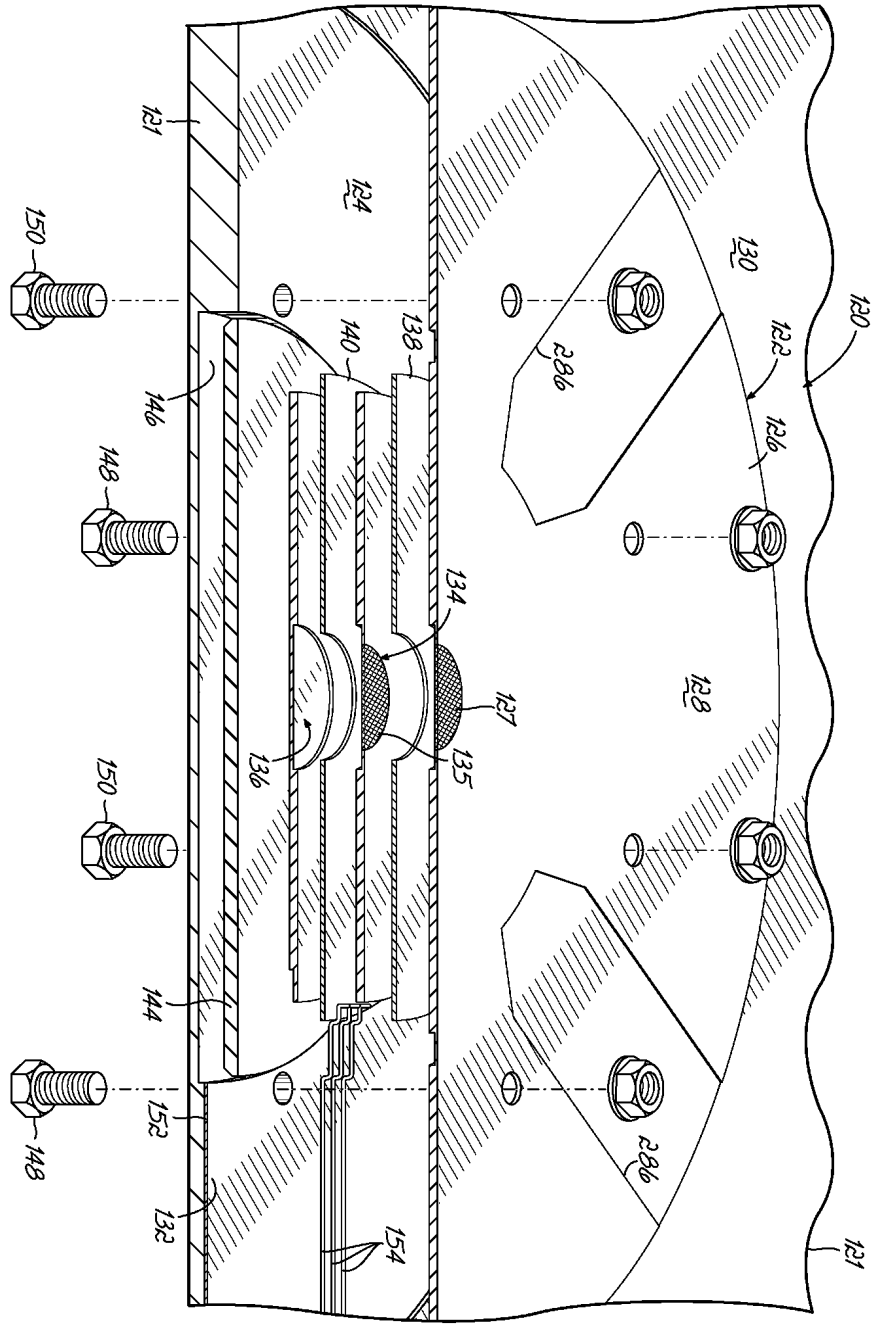
도면7


110
시작
112
플라즈마 처리 챔버 내의 IEA에 의해 기판을 위치 결정
114
입구 그리드에 대한 바이어스 전위를 검출
116
컬렉터에 고정 바이어스를 인가하고, 선택 그리드에 파형 바이어스를 인가
118
컬렉터가 수집한 이온 전류 파형을 측정
119
이온 전류 파형을 선택 그리드 전압의 함수로서 저장
종료

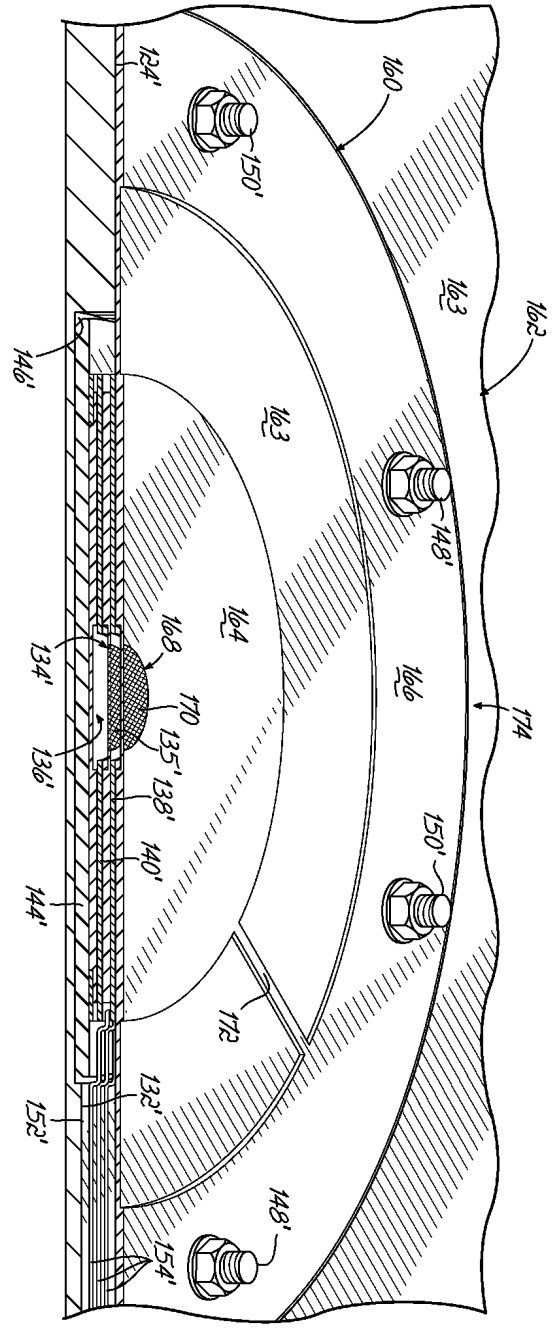
도면8


124
150
286
130
120
146
126
122
148
128
134
127
135
136
138
140
150
144
286
148
152
132
154
121
121

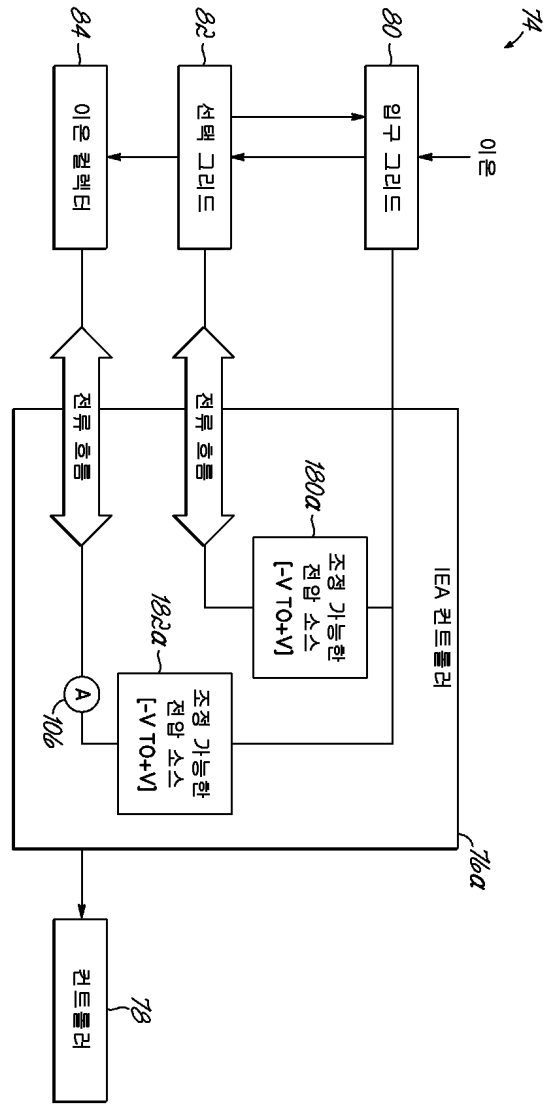
도면9


121
124
150
130
120
140
133
122
286
146
126
148
134
127
128
136
135
150
144
152
132
154
286
121

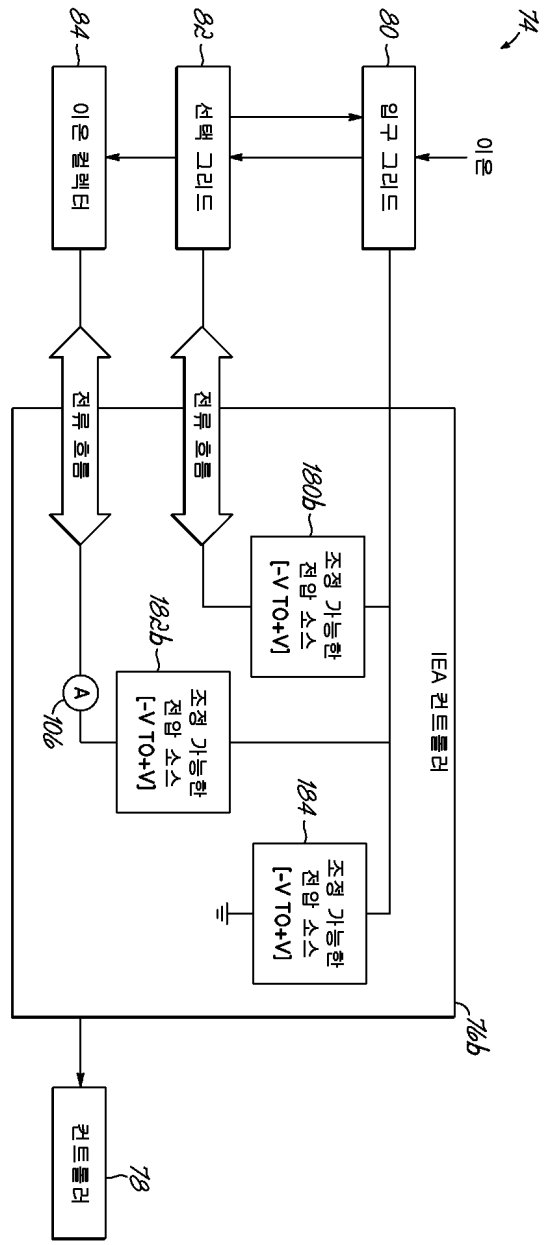
도면10


124'
150'
160
162
163
146'
163
148'
164
168
134'
170
135'
166
174
136'
138'
150'
140'
144'
172
132'
152'
148'
154'

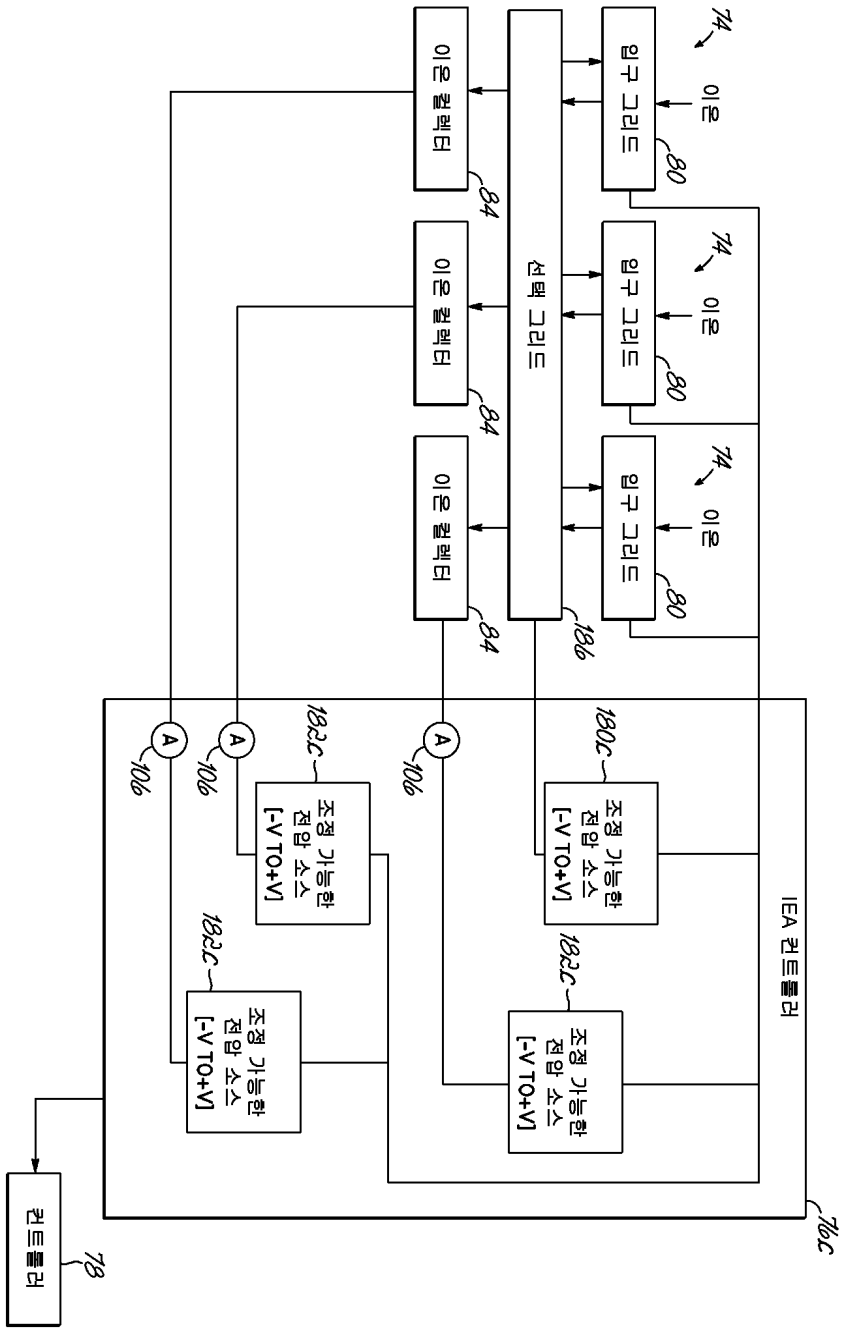
도면11


74
80
입구 그리드
이온
82
선택 그리드
84
이온 콜렉터
전류 흐름
전류 흐름
180a
조정 가능한 전압 소스 [-V TO+V]
182a
조정 가능한 전압 소스 [-V TO+V]
A
106
IEA 컨트롤러
76a
컨트롤러
78

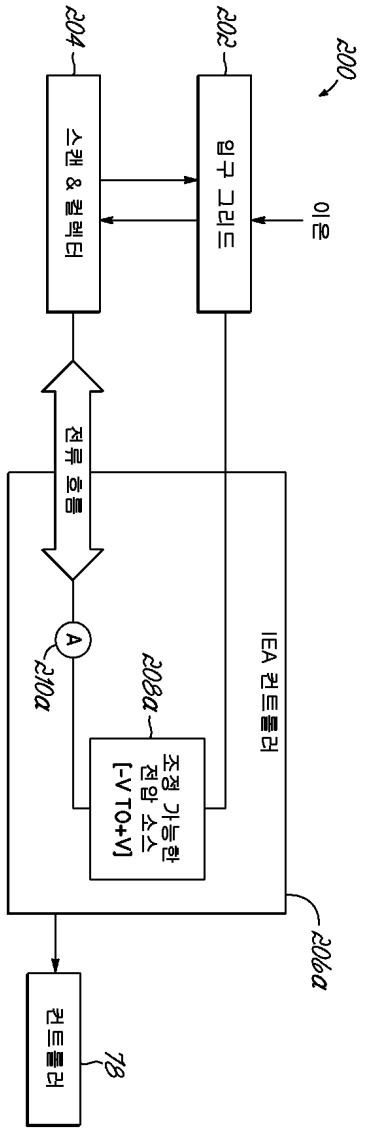
도면12


74
80
입구 그리드
이온
82
선택 그리드
84
이온 컬렉터
전류 흐름
전류 흐름
180b
조정 가능한 전압 소스 [-V TO+V]
182b
조정 가능한 전압 소스 [-V TO+V]
184
조정 가능한 전압 소스 [-V TO+V]
A
186
IEA 컨트롤러
76b
컨트롤러
78

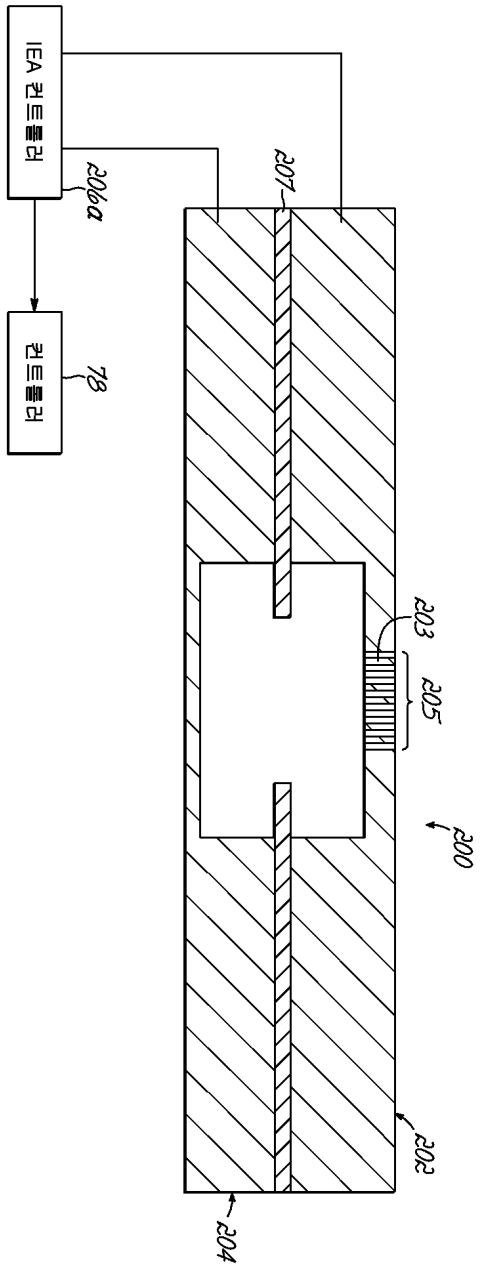
도면13


74
이온
입구 그리드
80
이온 필터
84
선택 그리드
186
180c
조정 가능한 접압 소스
[-V TO+V]
182c
A
106
IEA 컨트롤러
78c
컨트롤러
78

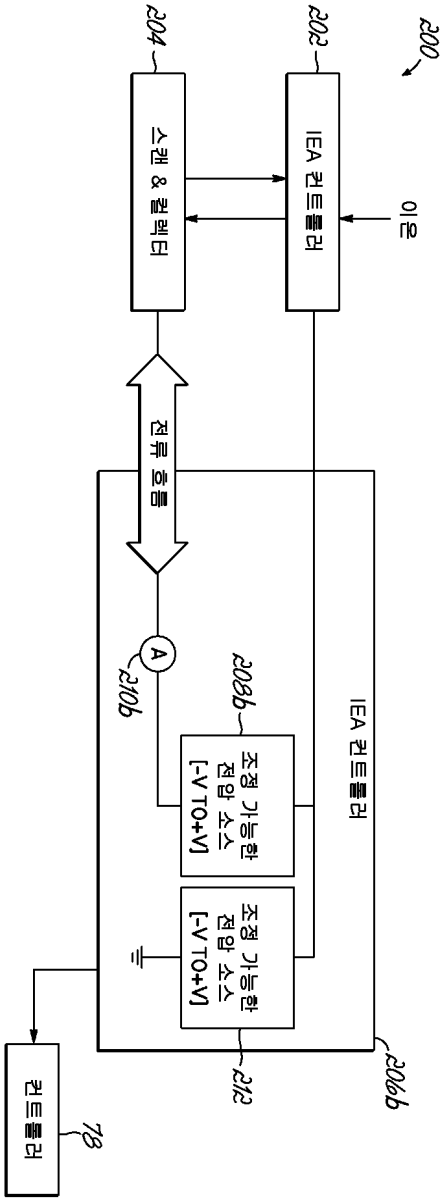
도면14


200
202
204
입구 그리드
스캔 & 콜렉터
이온
전류 흐름
A
210a
208a
조정 가능한 전압 소스 [-V TO+V]
IEA 컨트롤러
206a
컨트롤러
78

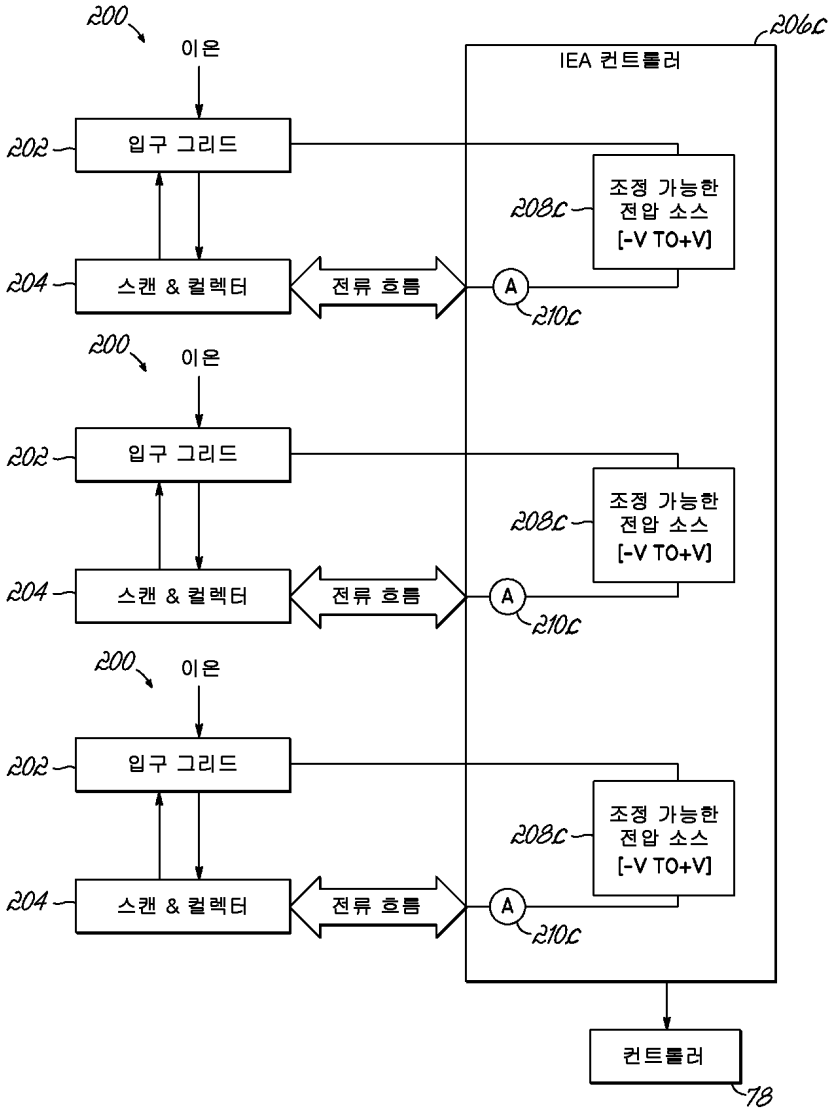
도면14a



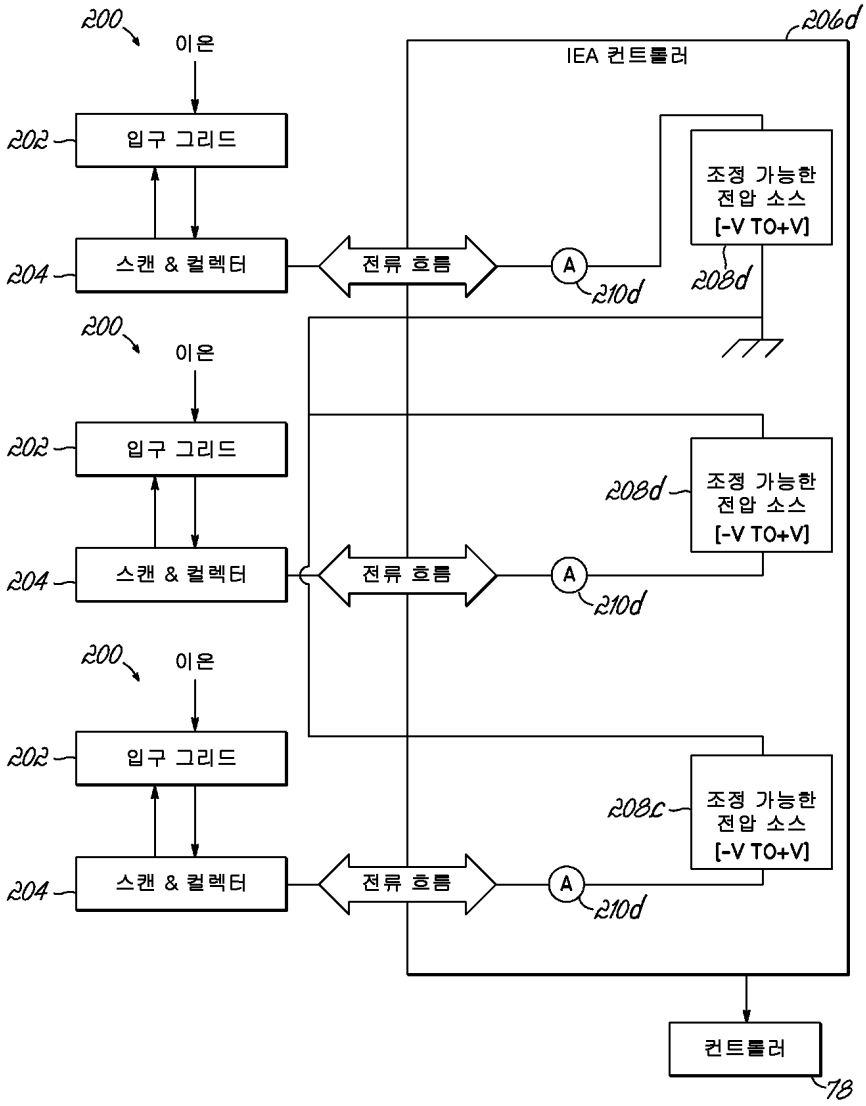
도면15


200
202
IEA 컨트롤러
이온
204
스캔 & 릴렉터
전류 흐름
A
210b
208b
조정 가능한 전압 소스 [-V TO+V]
조정 가능한 전압 소스 [-V TO+V]
212
IEA 컨트롤러
206b
컨트롤러
78

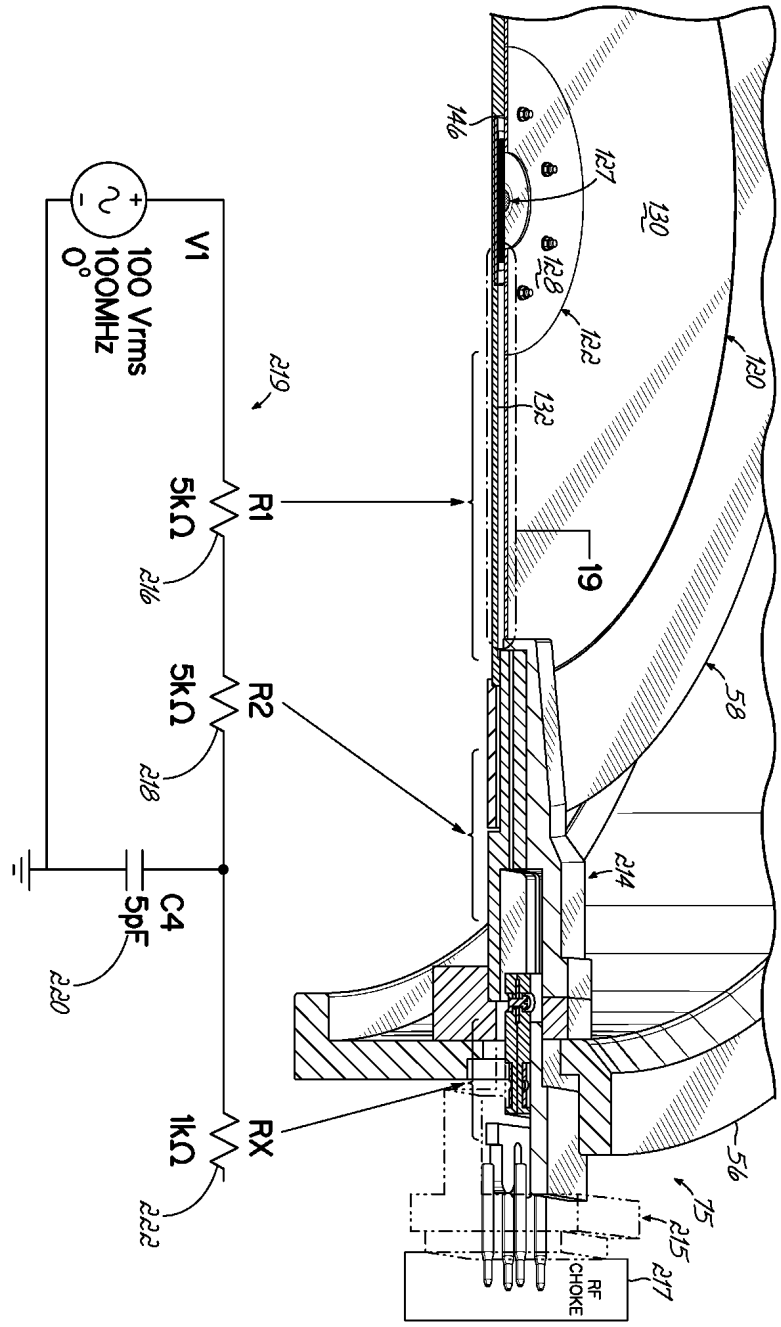
도면16


200
이온
206c
IEA 컨트롤러
202
입구 그리드
208c
조정 가능한
전압 소스
[-V TO+V]
204
스캔 & 컬렉터
전류 흐름
A
210c
200
이온
202
입구 그리드
208c
조정 가능한
전압 소스
[-V TO+V]
204
스캔 & 컬렉터
전류 흐름
A
210c
200
이온
202
입구 그리드
208c
조정 가능한
전압 소스
[-V TO+V]
204
스캔 & 컬렉터
전류 흐름
A
210c
컨트롤러
78

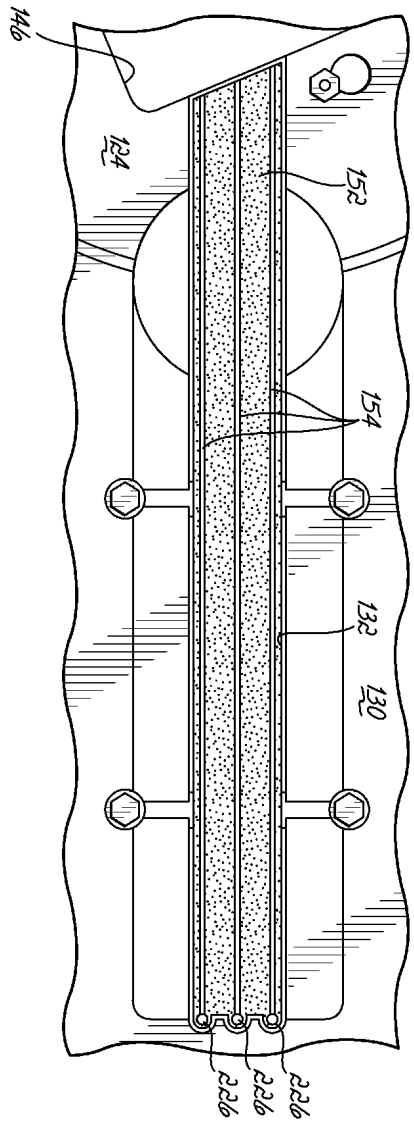
도면17


200
이온
202
입구 그리드
204
스캔 & 컬렉터
전류 흐름
A
210d
206d
IEA 컨트롤러
조정 가능한
전압 소스
[-V TO+V]
208d
208c
컨트롤러
78

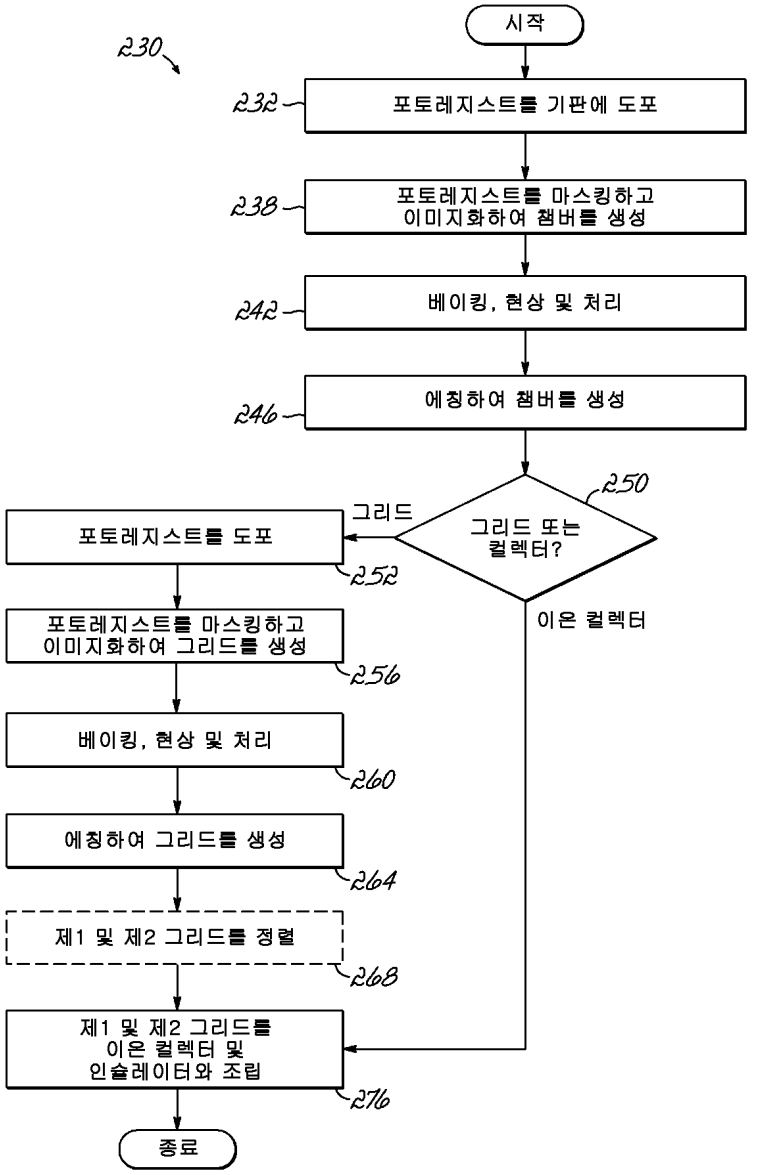
도면18


V1
100 Vrms
100MHz
0°
219
5kΩ
R1
216
5kΩ
R2
218
C4
5pF
220
1kΩ
RX
222
146
127
130
128
122
120
132
19
58
214
56
75
215
217
RF
CHOKE

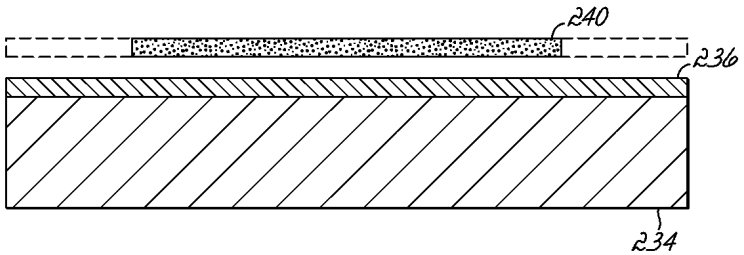
도면19



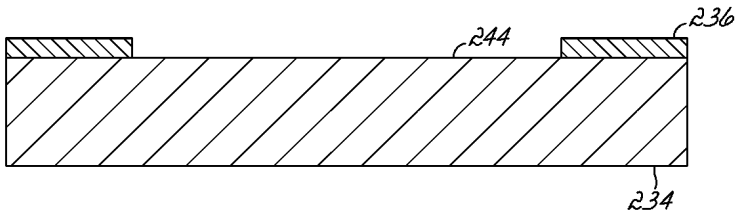
도면20


230
시작
232
포토레지스트를 기판에 도포
238
포토레지스트를 마스킹하고
이미지화하여 챔버를 생성
242
베이킹, 현상 및 처리
246
에칭하여 챔버를 생성
250
그리드 또는
컬렉터?
그리드
이온 컬렉터
포토레지스트를 도포
252
포토레지스트를 마스킹하고
이미지화하여 그리드를 생성
256
베이킹, 현상 및 처리
260
에칭하여 그리드를 생성
264
제1 및 제2 그리드를 정렬
268
제1 및 제2 그리드를
이온 컬렉터 및
인슐레이터와 조립
276
종료

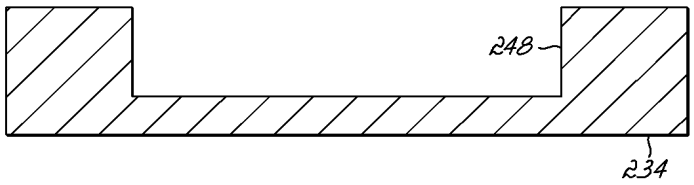
도면21a


240
236
234

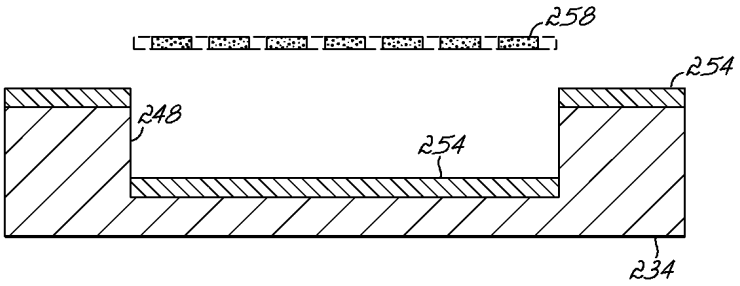
도면21b



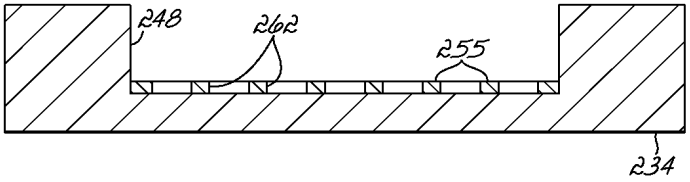
도면21c



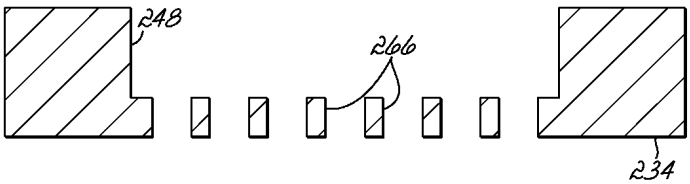
도면21d



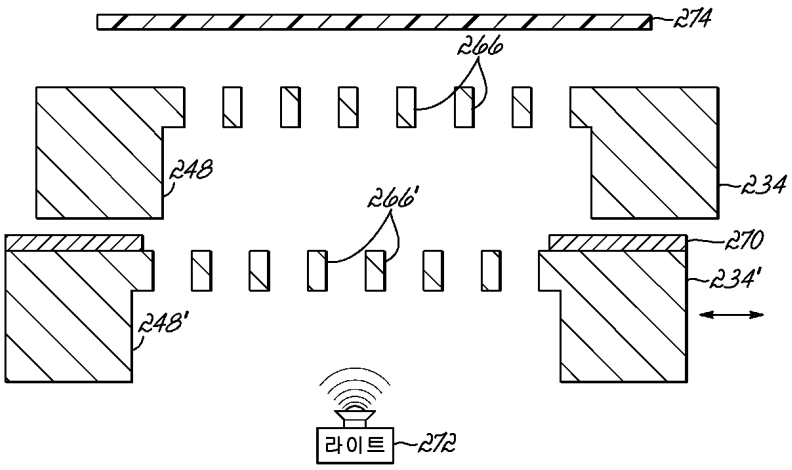
도면21e



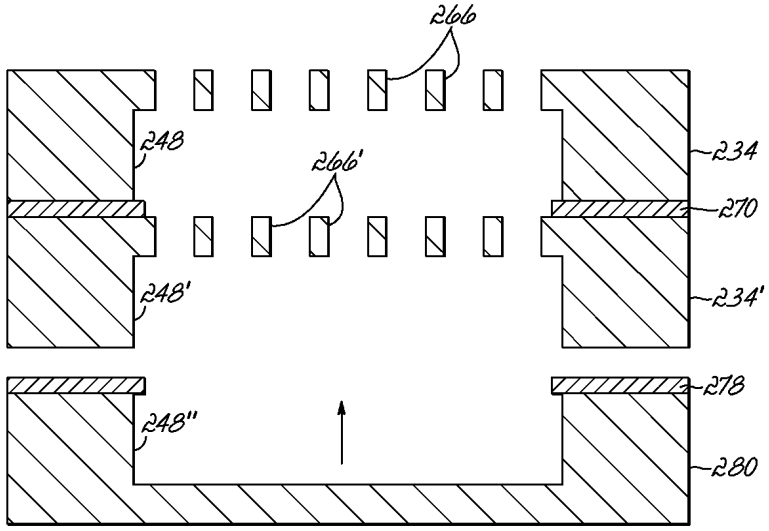
도면21f



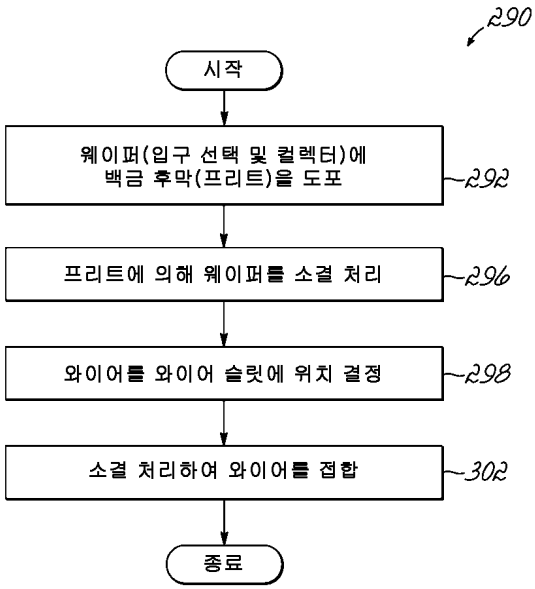
도면21g



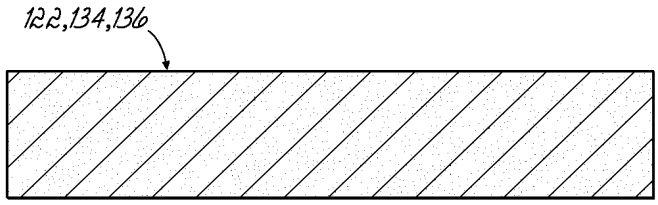
도면21h



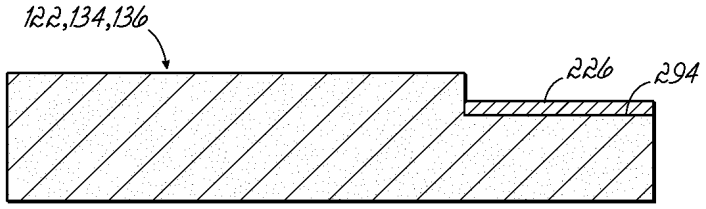
도면22



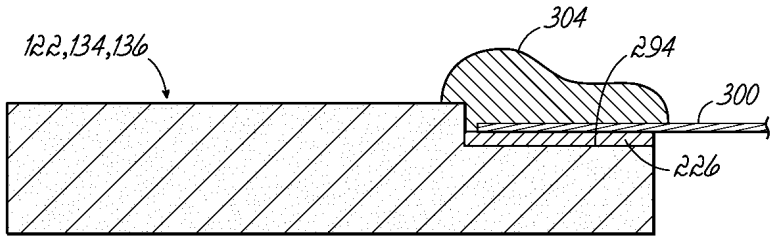
도면23a



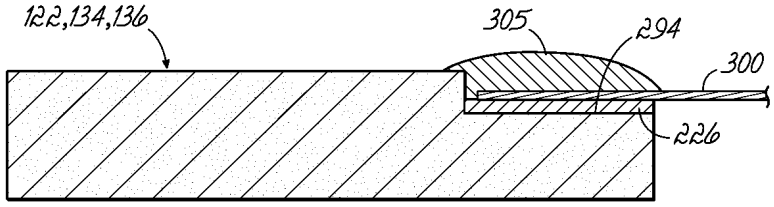
도면23b



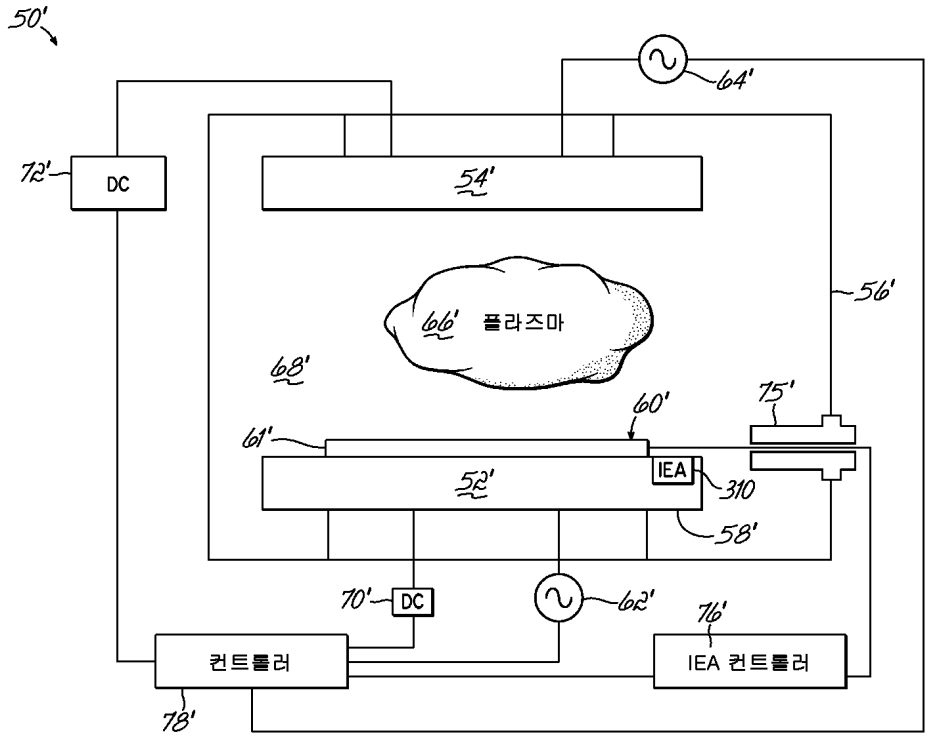
도면23c



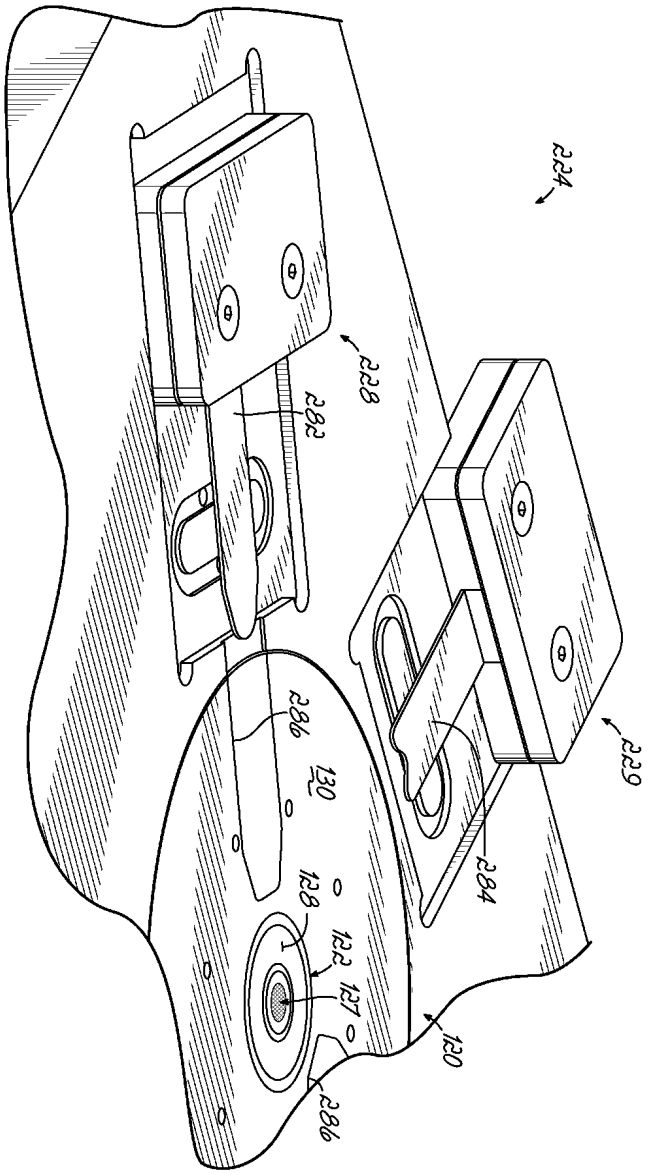
도면23d



도면24


50'
64'
72'
DC
54'
56'
66' 플라즈마
68'
60'
75'
61'
52'
IEA
310
58'
70'
DC
62'
76'
컨트롤러
IEA 컨트롤러
78'

도면25a



도면25b

