



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년06월24일

(11) 등록번호 10-2268345

(24) 등록일자 2021년06월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01) H01J 37/317 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H01J 37/32174 (2013.01)
H01J 37/3171 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-7033334

(22) 출원일자(국제) 2017년04월19일

심사청구일자 2020년04월02일

(85) 번역문제출일자 2018년11월16일

(65) 공개번호 10-2018-0127656

(43) 공개일자 2018년11월29일

(86) 국제출원번호 PCT/US2017/028372

(87) 국제공개번호 WO 2017/184736

국제공개일자 2017년10월26일

(30) 우선권주장

15/133,261 2016년04월20일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US09230773 B1

US20080132046 A1

US20120104274 A1

US20150101634 A1

(73) 특허권자

베리안 세미콘덕터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.

미국 01930 메사추세츠주 글로스터 도리 로드 35

(72) 발명자

빌리우, 코스텔

미국, 01966 메사추세츠, 락-포트, 웨리 리지 레인 34

루비키, 피요트르

미국, 01960 메사추세츠, 피바디, 그레스트우드 레인 7

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인에이아이피

전체 청구항 수 : 총 15 항

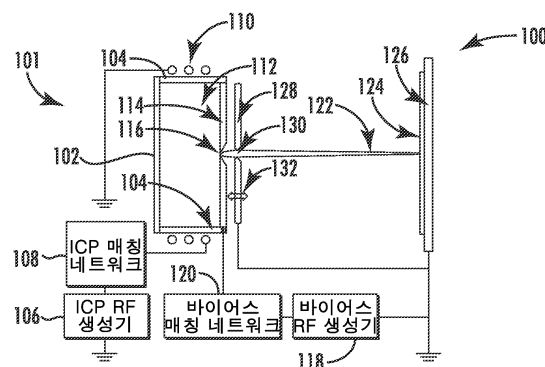
심사관 : 류정현

(54) 발명의 명칭 전하 중성화 이온 빔에 대한 라디오 주파수 추출 시스템

(57) 요약

프로세싱 장치는, 플라스마를 하우징하며 전기 절연체를 포함하는 메인 몸체 부분을 갖는 플라스마 챔버; 플라스마 챔버의 추출 측면을 따라 배치되는 추출 플레이트로서, 추출 플레이트는 전기적으로 전도성이며 추출 개구를 갖는, 추출 플레이트; 플라스마 챔버의 외부에 그리고 추출 개구에 인접하여 배치되는 기관 스테이지로서, 기관 스테이지는 접지 전위인, 기관 스테이지; 및 추출 플레이트에 전기적으로 결합되는 RF 생성기로서, RF 생성기는 플라스마가 플라스마 챔버 내에 존재할 때 접지 전위에 대하여 추출 플레이트에서 포지티브 dc 자체-바이어스 전압을 수립하는, RF 생성기를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1a



(72) 발명자

락웰, 테일러

미국, 01880, 메사추세츠, 웨이크필드, 플레즌트 애비뉴 마운틴 4

캠벨, 크리스토퍼

미국, 01950 메사추세츠, 뉴베리포트, 할리세이 드라이브 15

싱, 비크람

미국, 메사추세츠, 노쓰 앤도버, 앰버빌 로드 75

대니얼스, 케빈 엠.

미국, 01940 메사추세츠, 린필드 사이더 밀 로드 11

허텔, 리차드 제이.

미국, 01921 메사추세츠, 박스포드, 거니슨 로드 32

쿠룬지, 피터 에프.

미국, 02140 메사추세츠, 캠브리지, 메사추세츠 애비뉴 2277

리칸스키, 알렉산드레

미국, 02148 메사추세츠, 몰덴, 파크사이드 플레이스 30, 유닛 6

명세서

청구범위

청구항 1

프로세싱 장치로서,

전기 절연체를 포함하는 메인 몸체 부분을 가지며 플라즈마를 하우징하는 플라즈마 챔버;

상기 플라즈마 챔버의 추출 측면을 따라 배치되는 추출 플레이트로서, 상기 추출 플레이트는 전기적으로 전도성이고 추출 개구를 갖는, 상기 추출 플레이트;

상기 플라즈마 챔버의 외부에 그리고 상기 추출 개구에 인접하여 배열되는 기관 스테이지로서, 상기 기관 스테이지는 접지 전위인, 상기 기관 스테이지; 및

상기 추출 플레이트에 전기적으로 결합되는 RF 생성기로서, 상기 RF 생성기는 상기 플라즈마가 상기 플라즈마 챔버 내에 존재할 때 상기 추출 플레이트에서 접지 전위에 대하여 포지티브 dc 자체-바이어스(self-bias) 전압을 수립하는, 상기 RF 생성기를 포함하는, 프로세싱 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 RF 생성기는 바이어스 RF 생성기를 포함하며,

상기 프로세싱 장치는,

상기 플라즈마 챔버에 인접하여 배치되는 RF 안테나;

상기 RF 안테나에 직접적으로 결합되는 유도 결합 플라즈마(inductively coupled plasma; ICP) 매칭 네트워크;

상기 ICP 매칭 네트워크에 결합되는 ICP RF 생성기; 및

상기 바이어스 RF 생성기와 상기 추출 플레이트 사이에 전기적으로 결합되는 바이어스 매칭 네트워크를 더 포함하는, 프로세싱 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 프로세싱 장치는, 상기 RF 생성기, 상기 추출 플레이트 및 상기 플라즈마 챔버에 인접한 RF 안테나에 결합되는 듀얼 출력 매칭 네트워크를 더 포함하며, 상기 RF 생성기는 상기 플라즈마 챔버 내에 상기 플라즈마를 생성하고 상기 추출 플레이트에 RF 전압을 생성하는, 프로세싱 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 프로세싱 장치는,

상기 추출 플레이트와 기관 스테이지 사이에 배치되는 접지 플레이트로서, 상기 접지 플레이트는 전기 전도성 재료를 포함하고 접지 전위에 결합되며, 상기 접지 플레이트는 접지 플레이트 개구를 더 포함하고, 상기 추출 개구 및 접지 플레이트 개구는 상기 플라즈마와 기관 스테이지 사이에 가시선을 제공하는, 상기 접지 플레이트를 더 포함하는, 프로세싱 장치.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 RF 생성기는 바이어스 RF 생성기를 포함하며,

상기 프로세싱 장치는,

상기 플라즈마 챔버에 인접하여 배치되는 RF 안테나;

상기 RF 안테나에 직접적으로 결합되는 유도 결합 플라즈마(inductively coupled plasma; ICP) 매칭 네트워크;

상기 ICP 매칭 네트워크에 결합되는 ICP RF 생성기; 및

상기 바이어스 RF 생성기와 상기 추출 플레이트 사이에 전기적으로 결합되는 바이어스 매칭 네트워크를 더 포함하는, 프로세싱 장치.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 프로세싱 장치는, 상기 RF 생성기, 상기 추출 플레이트 및 상기 플라즈마 챔버에 인접한 RF 안테나에 결합되는 듀얼 출력 매칭 네트워크를 더 포함하며, 상기 RF 생성기는 상기 플라즈마 챔버 내에 상기 플라즈마를 생성하고 상기 추출 플레이트에 RF 전압을 생성하는, 프로세싱 장치.

청구항 7

청구항 4에 있어서,

상기 추출 개구는 제 1 장축을 갖는 제 1 세장형 개구를 포함하며, 상기 접지 플레이트 개구는 상기 제 1 장축에 평행한 제 2 장축을 갖는 제 2 세장형 개구를 포함하고, 상기 추출 개구는 상기 제 1 장축에 수직인 단축을 따른 제 1 높이를 가지며, 상기 접지 플레이트 개구는 상기 제 1 높이보다 더 작은 상기 단축을 따른 제 2 높이를 갖는, 프로세싱 장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 기관 스테이지는 상기 추출 플레이트에 평행하게 놓이는 기관 평면을 확정하며, 상기 기관 평면과 상기 추출 플레이트 사이의 간격은 1 cm보다 더 작은, 프로세싱 장치.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 플라즈마 챔버의 상기 추출 측면은 상기 추출 플레이트 주위에 배치되는 전기적 비-전도성 부분을 더 포함하는, 프로세싱 장치.

청구항 10

청구항 1에 있어서,

상기 RF 생성기는 상기 추출 플레이트에서 2 MHz 내지 60 MHz의 주파수를 갖는 RF 전압 신호를 생성하는 회로를

포함하며, 상기 RF 전압 신호는 포지티브 부분 및 네거티브 부분을 갖는 파형을 포함하고, 상기 네거티브 부분 동안 전자들이 상기 추출 개구를 통해 추출되어 상기 기관 스테이지로 보내지는, 프로세싱 장치.

청구항 11

기관을 프로세싱하는 방법으로서,

전기 절연체를 포함하는 메인 몸체 부분을 갖는 플라즈마 챔버를 제공하는 단계;

상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성하는 단계;

상기 플라즈마 챔버의 추출 측면을 따라 추출 플레이트를 제공하는 단계로서, 상기 추출 플레이트는 전기적으로 전도성이며 추출 개구를 갖는, 단계;

기관을 홀딩하는 기관 스테이지를 상기 플라즈마 챔버의 외부에 그리고 상기 추출 개구에 인접하여 배열하는 단계로서, 상기 기관 스테이지는 접지 전위인, 단계; 및

상기 추출 플레이트에서 RF 전압을 생성하는 단계로서, 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마가 존재할 때 상기 추출 플레이트에서 접지 전위에 대한 포지티브 dc 자체-바이어스 전압이 수립되며, 상기 포지티브 dc 자체-바이어스 전압에 비례하는 이온 에너지를 갖는 이온 빔이 상기 기관으로 보내지는, 단계를 포함하는, 방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 방법은,

상기 추출 플레이트와 기관 스테이지 사이에 접지 플레이트를 배열하는 단계로서, 상기 접지 플레이트는 전기 전도성 재료를 포함하며 접지 전위에 결합되고, 상기 접지 플레이트는 접지 플레이트 개구를 더 포함하며, 상기 추출 개구 및 접지 플레이트 개구는 상기 플라즈마와 기관 스테이지 사이에 가시선을 제공하는, 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 방법은,

제 1 장축을 갖는 제 1 세장형 개구로서 상기 추출 개구를 제공하는 단계; 및

상기 제 1 장축에 평행한 제 2 장축을 갖는 제 2 세장형 개구로서 상기 접지 플레이트 개구를 제공하는 단계로서, 상기 추출 개구는 상기 제 1 장축에 수직인 단축을 따른 제 1 높이를 가지며, 상기 접지 플레이트 개구는 상기 제 1 높이보다 더 작은 상기 단축을 따른 제 2 높이를 갖는, 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 14

청구항 12에 있어서,

상기 방법은, 상기 추출 플레이트로부터 1 cm보다 더 작은 간격에서 접지 플레이트를 갖는 상기 접지 플레이트를 배열하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 15

프로세싱 장치로서,

전기 절연체를 포함하는 메인 몸체 부분을 갖는 플라즈마 챔버;

그 안에 플라즈마를 생성하기 위하여 상기 플라즈마 챔버에 전기적으로 결합되는 제 1 RF 생성기;

상기 플라즈마 챔버의 추출 측면을 따라 배치되는 추출 플레이트로서, 상기 추출 플레이트는 전기적으로 전도성이고 추출 개구를 갖는, 상기 추출 플레이트;

상기 플라즈마 챔버의 외부에 그리고 상기 추출 개구에 인접하여 배열되는 기관 스테이지로서, 상기 기관 스테이지는 접지 전위인, 상기 기관 스테이지;

상기 추출 플레이트와 기관 스테이지 사이에 배치되는 접지 플레이트로서, 상기 접지 플레이트는 전기 전도성 재료를 포함하고 접지 전위에 결합되며, 상기 접지 플레이트는 접지 플레이트 개구를 더 포함하는, 상기 접지 플레이트; 및

상기 추출 플레이트에 전기적으로 결합되는 제 2 RF 생성기로서, 상기 제 2 RF 생성기는 상기 플라즈마가 상기 플라즈마 챔버 내에 존재할 때 상기 추출 플레이트에서 접지 전위에 대하여 포지티브 dc 자체-바이어스 전압을 수립하는, 상기 제 2 RF 생성기를 포함하는, 프로세싱 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 실시예들은 프로세싱 장치에 관한 것으로서, 더 구체적으로는, 전하 중성화(charge neutralized) 이온 빔들을 제공하는 프로세싱 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이온들로 기관을 처리하기 위해 사용되는 통상적인 장치는 빔라인 이온 주입기들 및 플라즈마 잠입 이온 주입(plasma immersion ion implantation) 튜들을 포함한다. 이들 둘 모두가 에너지들의 범위에 걸쳐 이온들을 주입하기에 적절하다. 빔라인 이온 주입기들에 있어서, 이온들이 소스로부터 추출되고, 질량 분석되며, 그 후 기관 표면으로 전달된다. 플라즈마 잠입 이온 주입 장치에 있어서, 기관은, 플라즈마가 생성되는 동일한 챔버 내에서 플라즈마에 인접하여 위치된다. 기관이 플라즈마에 대하여 네거티브(negative) 전위로 설정되며, 기관의 전방에서 플라즈마 쉬스(plasma sheath)를 가로지르는 이온들이 기관의 표면에 대한 수선에 대하여 0도의 입사각도로 기관 상에 충돌한다.

[0003] 최근에, 콤팩트 시스템 내에서 리본 빔과 같은 이온 빔의 생성을 가능하게 하는 새로운 유형의 프로세싱 장치가 개발되었다. 이러한 장치에 있어서, 이온들이 플라즈마 챔버로부터 추출되지만, 반면 기관이 이온 소스로부터 멀리 위치되는 빔라인 이온 주입기들과 달리, 기관이 플라즈마 챔버에 인접하여 위치된다. 이온들은, 플라즈마에 인접하여 배치된 추출 플레이트 내의 특별한 기하구조의 개구를 통해 추출된다. 이온들은, 기관에 대하여 포지티브하게 dc 전위로 플라즈마 챔버를 바이어싱함으로써 포지티브 이온들로 이루어진 리본 빔으로서 추출될 수 있다. 기관이 접지될 수 있는 동안, 포지티브 이온들 및 2차 전자 방출과의 충돌로부터 포지티브 전하가 기관 상에 축적될 수 있다. 따라서, 공지된 시스템들에 있어서, 펄스 "오프" 기간 동안 기관의 중성화를 가능하게 하기 위하여 펄스형(pulsed) DC 전압이 인가될 수 있다. 산화물 층들을 포함하는 배열을 갖는 반도체 구조체들과 같은 일부 기관들에 대하여, 기관 표면 상에 축적된 포지티브 전하는 심지어 높은 펄스 주파수 및/또는 낮은 듀티 사이클 동작에 대해서도 완전히 중성화되지 않을 수 있다. 따라서, 이온들이 에칭 또는 다른 기관 프로세싱을 위하여 기관으로 보내질 때, 기관 표면에 걸쳐 비-균일 에칭 패턴들이 발생할 수 있으며, 반도체 구조체들의 손상이 발생할 수 있고, 이는 열악한 프로세싱 수율을 야기할 수 있다.

[0004] 이러한 그리고 다른 고려사항들에 관하여, 본 실시예들이 제공된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0005] 일 실시예에 있어서, 프로세싱 장치는, 플라즈마를 하우징하며 전기 절연체를 포함하는 메인 몸체 부분을 갖는 플라즈마 챔버; 플라즈마 챔버의 추출 측면을 따라 배치되는 추출 플레이트로서, 추출 플레이트는 전기적으로 전도성이며 추출 개구를 갖는, 추출 플레이트; 플라즈마 챔버의 외부에 그리고 추출 개구에 인접하여 배치되는 기판 스테이지(stage)로서, 기판 스테이지는 접지 전위인, 기판 스테이지; 및 추출 플레이트에 전기적으로 결합되는 RF 생성기로서, RF 생성기는 플라즈마가 플라즈마 챔버 내에 존재할 때 접지 전위에 대하여 추출 플레이트에서 포지티브 dc 자체-바이어스(self-bias) 전압을 수립하는, RF 생성기를 포함한다.

[0006] 추가적인 실시예에 있어서, 기판을 프로세싱하는 방법은, 전기 절연체를 포함하는 메인 몸체 부분을 갖는 플라즈마 챔버를 제공하는 단계; 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성하는 단계; 플라즈마 챔버의 추출 측면을 따라 추출 플레이트를 제공하는 단계로서, 추출 플레이트는 전기적으로 전도성이며 추출 개구를 갖는, 단계; 기판을 홀딩하는 기판 스테이지를 플라즈마 챔버의 외부에 그리고 추출 개구에 인접하여 배열하는 단계로서, 기판 스테이지는 접지 전위인, 단계; 및 추출 플레이트에서 RF 전압을 생성하는 단계로서, 플라즈마 챔버 내에 플라즈마가 존재할 때 추출 플레이트에서 접지 전위에 대한 포지티브 dc 자체-바이어스 전압이 수립되며, 포지티브 dc 자체-바이어스 전압에 비례하는 이온 에너지를 갖는 이온 빔이 상기 기판으로 보내지는, 단계를 포함할 수 있다.

[0007] 추가적인 실시예에 있어서, 프로세싱 장치는, 전기 절연체를 포함하는 메인 몸체 부분을 갖는 플라즈마 챔버; 그 안에 플라즈마를 생성하기 위하여 플라즈마 챔버에 전기적으로 결합되는 제 1 RF 생성기; 플라즈마 챔버의 추출 측면을 따라 배치되는 추출 플레이트로서, 추출 플레이트는 전기적으로 전도성이고 추출 개구를 갖는, 추출 플레이트; 플라즈마 챔버의 외부에 그리고 추출 개구에 인접하여 배열되는 기판 스테이지로서, 기판 스테이지는 접지 전위인, 기판 스테이지; 추출 플레이트와 기판 스테이지 사이에 배치되는 접지 플레이트로서, 접지 플레이트는 전기 전도성 재료를 포함하고 접지 전위에 결합되며, 접지 플레이트는 접지 플레이트 개구를 더 포함하는, 접지 플레이트; 및 추출 플레이트에 전기적으로 결합되는 제 2 RF 생성기로서, 제 2 RF 생성기는 플라즈마가 플라즈마 챔버 내에 존재할 때 추출 플레이트에서 접지 전위에 대하여 포지티브 dc 자체-바이어스 전압을 수립하는, 제 2 RF 생성기를 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1a 내지 도 1d는 본 개시의 상이한 실시예들에 따른 프로세싱 장치의 변형예들을 도시한다.

도 2a 및 도 2b는 본 실시예들과 관련된 동작의 원리들을 예시하는 예시적인 전압 파형들을 도시한다.

도 2c는 추출 플레이트로의 RF 전압의 인가에 의해 생성되는 이온 에너지 분포 함수(iedf)를 도시한다.

도 2d는 RF 전압과 자체-바이어스 전압의 변형예를 도시한다.

도 3a는 본 개시의 일 실시예에 따른 이온 빔 추출에 대한 추출 시스템의 기하구조 및 시뮬레이션 결과들을 도시한다.

도 3b는 도 3a의 추출 기하구조에 따른 위치의 함수로서의 이온 빔 방사율의 시뮬레이션을 도시한다.

도 3c는 도 3a의 추출 기하구조에 따른 이온 빔의 이온 각도 분포의 시뮬레이션을 도시한다.

도 3d는 도 3a의 추출 기하구조에 따른 이온 빔의 이온 빔 전류 프로파일의 시뮬레이션을 도시한다.

도 4a는 본 개시의 다른 실시예에 따른 장치의 사시도 및 빔 모델링 결과들을 제공한다.

도 4b는 도 4a의 추출 기하구조에 따른 빔 방사율 커브의 모델링 결과들을 제공한다.

도 4c는 도 4a의 추출 기하구조에 따른 이온 빔의 이온 각도 분포의 시뮬레이션을 도시한다.

도 4d는 도 4a의 추출 기하구조에 따른 이온 빔의 이온 빔 전류 프로파일의 시뮬레이션을 도시한다.

도 5a는 본 개시의 다른 실시예에 따른 장치의 사시도를 제공한다.

도 5b는 본 개시의 추가적인 실시예에 따른 추가적인 장치의 사시도를 제공한다.

도 6의 (a) 및 도 6의 (b)는 본 개시의 다양한 실시예들에 따른 추출 플레이트 및 접지 플레이트에 대한 추출 기하구조의 세부사항들을 도시한다.

도 7은 예시적인 프로세스 흐름을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 본원에서 설명되는 실시예들은 컴팩트 장치에서 기판을 프로세싱하기 위한 전하 중성화 이온 빔을 제공하기 위한 장치 및 방법들을 제공한다. 특히, 다양한 실시예들은 대전된 입자 추출을 위한 개구들을 갖는 추출 광학부 전극들을 바이어싱하기 위하여 라디오 주파수(radio frequency; RF) 전압을 이용할 수 있다. 본 실시예들의 다양한 기술들 및 장치는 표면적(surface area)에 있어서 비대칭성을 갖는 RF 바이어싱된 전도성 표면들이 플라스마와 접촉하게 될 때 발생하는 dc 자체-바이어스 생성의 현상을 이용할 수 있다. 자체-바이어스 생성 때문에, 포지티브 이온들이 연속적으로 추출될 수 있으며, 반면 RF 사이클 내의 짧은 버스트(burst)들 동안 전자들이 간헐적으로 추출된다. 이하에서 상세화되는 바와 같이, RF 주기(13.56 MHz에 대하여 70 nsec)가 공지된 펄스형 dc 시스템들에서 사용되는 주기(50 kHz의 최대 획득가능 펄싱 주파수에 대하여 20 msec)보다 훨씬 더 짧기 때문에, 본 실시예들에 따라 배열된 장치는 프로세싱되고 있는 기판에서 포지티브 전하의 축적물을 생성하지 않거나 아주 조금만 생성할 수 있다.
- [0010] RF 전압 추출을 이용하는 특정 실시예들에 있어서, 프로세싱 장치는 공지된 컴팩트 이온 빔 장치에 비하여 단순화될 수 있다. 예를 들어, 본원에서 개시되는 이온 빔 추출 아키텍처를 사용하면 절연 트랜스포머가 제거될 수 있으며, 이는 이온 소스로서 역할하는 플라스마 챔버가 전기적으로 플로팅(floating) 또는 접지 전위일 수 있고, 반면 기판이 접지 전위로 유지되기 때문이다. 추가로, 값비싼 펄스형 dc 전원 공급장치는, 이온 빔 에너지, 빔 전류, 및 다른 이온 빔 속성들의 조정능력을 포함하는 펄스형 dc 추출 시스템들의 성능들을 보존하면서 공지된 RF 생성기 및 매칭 네트워크로 또는 단일 RF 생성기 및 듀얼 출력 매칭 네트워크로 대체될 수 있다.
- [0011] 도 1a 내지 도 1d는 본 개시의 상이한 실시예들에 따른 프로세싱 장치의 변형예들을 도시한다. 도 1a를 참조하면, 플라스마 챔버(102)에 기초하는 이온 소스(101)를 포함하는 장치(100)가 도시된다. 이온 소스(101)는, RF 플라스마 소스, 유도-결합 플라스마(inductively-coupled plasma; ICP) 소스, 용량 결합 플라스마(capacitively coupled plasma; CCP) 소스, 헬리콘(helicon) 소스, 전자 사이클트론 공진(electron cyclotron resonance; ECR) 소스, 간접 가열식 캐소드(indirectly heated cathode; IHC) 소스, 글로우(glow) 방전 소스, 또는 당업자들에게 공지된 다른 플라스마 소스들일 수 있다. 도 1a에 도시된 이러한 특정 실시예에 있어서, 이온 소스(101)는 ICP RF 생성기(106), 및 ICP 매칭 네트워크(108)를 포함하는 ICP 소스이다. RF 생성기로부터 가스 원자들 및/또는 분자들로의 RF 전력의 전달은 안테나(110) 및 유전체 윈도우(window)를 통해 일어나며, 여기에서 유전체 윈도우는 플라스마 챔버(102)의 메인 몸체 부분(104)을 형성한다. 가스 매니폴드(manifold)(미도시)는 적절한 가스 라인들, 질량 흐름 조절기들 및 가스 주입구들을 통해 플라스마 소스(102)에 연결될 수 있다. 장치(100)의 이온 소스(101) 또는 다른 컴포넌트들이 또한, 회전식 또는 멤브레인(membrane) 펌프에 의해 지원(back)되는 터보 분자 펌프와 같은 진공 시스템(미도시)에 연결될 수 있다.
- [0012] 도 1a의 실시예에 있어서, 플라스마 챔버(102)는 전기 절연체로 이루어진 메인 몸체 부분(104)을 포함한다. 메인 몸체 부분(104)은, 예를 들어, 도시된 바와 같은 플라스마 챔버(102)의 벽들을 포함할 수 있다. 플라스마 챔버(102)는 추출 플레이트(114)를 더 포함하며, 여기에서 추출 플레이트는 전기적으로 전도성이다. 추출 플레이트(114)는 추출 개구(116)를 포함한다. 장치(100)는 매칭 네트워크(120)를 통해 추출 플레이트(114)에 결합된 바이어스 RF 생성기(118)를 더 포함한다. 매칭 네트워크는 RF 출력 라인과 직렬로 튜닝(tuning) 커패시터를 포함하며, 여기에서 튜닝 커패시터는, RF 생성기에 의해 보여지는 임피던스를 조정하는 것 이외에, RF 플라스마 시스템을 통해 흐르는 전류의 dc 성분을 차단하는 역할을 갖는다. 이하에서 상세화되는 바와 같이, 동작 시에, 바이어스 RF 생성기는, 플라스마(112)가 플라스마 챔버(102) 내에 존재할 때 추출 플레이트(114)에서 포지티브 dc-자체 바이어스 전압을 수립한다.
- [0013] 장치(100)는 추출 플레이트(114)와 기판 스테이지(126) 사이에 배치되는 접지 플레이트(128)를 더 포함하며, 여기에서 기판 스테이지는 플라스마 챔버(102) 외부에, 예컨대 별개의 챔버(명시적으로 도시되지는 않음) 내에 배치된다. 접지 플레이트(128)는 전기적으로 전도성 재료를 포함할 수 있으며, 도 1a에 도시된 바와 같이 접지 전위에 결합된다. 접지 플레이트는 접지 플레이트 개구(130)를 더 포함하며, 여기에서 추출 개구(116) 및 접지 플레이트 개구(130)는 도 1a에 제시된 바와 같이 플라스마(112)와 기판 스테이지(126) 사이에 가시선(line of sight)을 제공하도록 배열된다.
- [0014] 간략하게 말해서, 바이어스 RF 생성기(118)에 의해 생성되는 포지티브 dc-자체 바이어스 전압은 (포지티브 이온들로 구성된) 이온 빔(122)을 생성하고 이온 빔(122)을 기판 스테이지(126)에 의해 홀딩되는 기판(124)으로 보내는 효과를 갖는다. 동시에, 그리고 이하에서 상세화되는 바와 같이, 추출 플레이트(114)에서 생성되는 RF 전압은 플라스마(112)로부터 추출되며 또한 기판(124)으로 보내지는 전자들의 짧은 버스트들을 생성할 수 있다.

기관(124)으로의 이러한 전자들의 공급은 전하 중성화를 제공하기 위해 기여할 수 있으며, 따라서 과도한 포지티브 전하가 기관(124) 상에서 발달(develop)하지 않는다. 명시적으로 도시되지는 않았지만, 기관 스테이지는 Y-축을 따라 이동가능할 수 있으며, 따라서 기관(124)이 스캔됨에 따라 기관(124)의 전체가 이온 빔(122)뿐만 아니라 중성화 전자들에 노출될 수 있다.

[0015] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 본 실시예들과 관련된 동작의 원리들을 예시하는 예시적인 전압 파형들이 도시된다. 다양한 실시예들에 있어서, RF 신호가 비대칭적인 전극 구성에 인가될 때의 dc-자체 바이어스 생성의 현상이 활용된다. 본 개시의 다양한 실시예들에 따르면, 추출 플레이트(114) 및 접지 플레이트(128)의 배열은 비대칭적인 전극 구성을 제공하며, 여기에서 rf 바이어싱된 전도성의 비대칭적인 표면적들이 플라즈마(112)와 접촉하게 된다. 예를 들어, 그리고 이하에서 도 4b와 관련하여 상세화되는 바와 같이, 추출 플레이트(114)는 접지 플레이트(128)보다 더 큰 표면적을 플라즈마에 제공할 수 있다. RF 전력이 추출 플레이트(114) 상에 인가될 때, 전력이 공급되는 전극(추출 플레이트(114))(APWR)과 접지되는 전극(AGND)(플라즈마(112)에 의해 "보여지는" 접지 플레이트의 영역) 사이의 큰 차이 때문에, 포지티브 dc 자체-바이어스가 전력이 공급되는 전극에서 성장한다. 이러한 현상은 도 2a 및 도 2b에 예시되며, 여기에서 도 2a 및 도 2b는 각기 플라즈마가 존재하지 않는 경우에 그리고 플라즈마가 존재하는 경우에 추출 플레이트(114) 상의 RF 전압(V_{rf}) 파형들을 나타내며, V_{pl} 은 플라즈마 전위의 파형이다. 플라즈마 없이 dc 바이어스가 존재하지 않으며 정전기 전위 극성이 약 0V에서 대칭적으로 교변하는 포지티브 부분 및 네거티브 부분을 갖는 파형을 나타내지만, 반면 플라즈마가 존재할 때 포지티브 dc 바이어스(V_{bias})가 전력이 공급되는 전극 상에서 발달하며, 추출 플레이트(114), 및 추출 플레이트(114)는 하나의 사이클 동안에 상대적으로 더 긴 시간 동안 포지티브 전위이다. 따라서, 플라즈마 전위(도 2a에서 점선의 사인과 라인)는 그 자체를 조정하며, 추출 플레이트(114) 상의 RF 전압이 최소 값에 도달하는 순간에 0 값에 도달한다. 도시된 예에 있어서, RF 전압 신호의 피크-대-피크 진폭은 600 V이고, RF 주파수는 13.5 MHz이다. 이러한 예에서 플라즈마가 존재할 때, 도 2b에 도시된 바와 같이 250 V의 포지티브 dc 자체-바이어스가 생긴다. 추가로, 적절한 동작을 보장하기 위하여, RF 주파수는 다음과 같이 적절하게 선택된다: 플라즈마 쉬스가 형성되는 것을 가능하게 하도록 너무 높지는 않게 그렇지만 매우 광범위한 이온 분포 또는 표면 대전 효과들을 야기하도록 너무 낮지는 않게 선택된다.

[0016] 포지티브 dc 자체-바이어스의 이러한 발달은 다음과 같이 설명될 수 있다. RF 신호가 추출 전극에 인가될 때, 전하 중성 상태의 결과로서 바이어스 매칭 네트워크(120) 내의 튜닝 커패시터의 존재 때문에 어떠한 순(net) dc 전류도 존재하지 않는다. 결과적으로, 하나의 사이클 동안 어떠한 순 전하도 전극들의 하나 상에 축적되지 않도록 전압은 전력이 공급되는 전극(추출 플레이트(114))의 전방에서 쉬스들 상에서 떨어지며 접지 전극(접지 플레이트(128))는 자체-조정한다. 플라즈마가 존재할 때, 플라즈마는 오로지 추출 플레이트(114) 내의 추출 개구(116)를 통해서만 접지 전극, 즉, 접지 플레이트(128)를 볼 수 있다. 이는 전력이 공급되는 전극 내 접지 전극(APWR/AGND)의 큰 표면적 비율을 효과적으로 수립할 수 있다. 예를 들어, 추출 플레이트(114)는 각각의 측면 상에 수 센티미터의 치수들을 가질 수 있으며, 이는 수십 또는 수백 제곱 센티미터의 표면적을 제공한다. 사실상 플라즈마(112)에 대한 접지 전극으로서 역할하는 접지 플레이트(128)의 표면적은 단지 추출 개구(116)를 통해 플라즈마(112)에 노출되는 접지 플레이트(128)의 면적을 조정할 수 있다. 이하에서 상세화되는 바와 같이, 이러한 면적은 추출 개구(116)의 면적보다 어느 정도 더 작을 수 있다. 다양한 실시예들에 있어서, 추출 개구(116)는 도시된 직교 좌표계의 X-축을 따라 수십 센티미터의 치수를 가질 수 있으며 동시에 Y-축을 따라 수 밀리미터의 치수를 가질 수 있고, 이는, 예를 들어, 10 cm^2 의 전체 면적을 산출한다. 따라서, 접지 플레이트(128)의 면적이 수백 cm^2 일 때, APWR/AGND의 비율은 10/1보다 더 클 수 있다. 따라서, RF 전압의 대부분은 접지 플레이트(128)의 전방에서 쉬스 상에서 떨어지며; 따라서, dc 자체-바이어스와 동일한 평균 에너지를 갖는 포지티브 이온들이 연속적으로 추출될 수 있고 반면 플라즈마 쉬스가 붕괴할 때, 즉, 추출 플레이트 상의 RF 전압이 네거티브일 때 일시적인 간격 동안 전자들이 버스트들로 추출될 수 있다. 이온 추출을 가능하게 하기 위하여, 추출 개구의 높이는 적절하게는 하기와 같이 대략 플라즈마 쉬스 두께일 수 있다

$$s = \frac{\sqrt{2}}{3} \lambda_D \left(\frac{2V_{rf}}{T_e} \right)^{3/4} \quad (1)$$

[0017] 여기서 T_e 는 전자 온도를 나타내며, λ_D 는 전자 디바이 길이(Debye length)를 나타낸다.

[0018]

[0019] 도 2b에서 상세화되는 바와 같이, 약 74 ns의 주어진 RF 주기에 대하여, V_{rf} 가 네거티브일 때 Δt_e 로 도시된 짧은

은 간격 또는 버스트 동안 전자들이 플라즈마(112)로부터 추출될 수 있다. 이러한 예에 있어서, Δt_e 의 지속기간은 약 10-12 ns일 수 있지만, 반면 이러한 지속기간은 플라즈마로 전달되는 RF 파워, 가스 압력, RF 주파수, APWR/AGND, 및 다른 파라미터들을 포함하는 실험적인 조건들을 변화시킴으로써 튜닝될 수 있다. 특히, 아르곤 이온들 또는 다른 프로세싱 이온들과 같은 이온들은 RF 신호에 응답하지 않고 단지 연속적인 포지티브 dc 바이어스로서 V_{bias} 를 보기 때문에, 간격들(Δt_e) 동안 이온들이 계속해서 추출될 수 있다. 다시 말해서, 이온들은 본 실시예들에 의해 이용되는 주파수들에서의 RF 필드 극성의 교번을 따라가기에는 너무 거대하며(massive), 따라서 이온들은 dc 자체-바이어스 전압과 동일한 평균 에너지를 갖는 이온 빔(122)으로서 추출된다. 또한, 이러한 예에 있어서, RF 신호의 주파수 때문에, 전자들의 버스트들 사이의 간격이 단지 ~ 70ns이며, 이는 기관(124) 상에 많은 양의 전하가 축적되고 손상을 야기하기에는 불충분한 시간이다.

[0020] 특히, 도 2c에 도시된 바와 같이, 추출 플레이트(114)에 대한 RF 전압의 인가에 의해 생성되는 이온 에너지 분포 함수(iedf)는 단일 에너지(monoenergetic)가 아니다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 이온 에너지는 에너지 확산(energy spread)을 나타내며, 여기에서 에너지 확산은 RF 주기 대 플라즈마 쉬스를 통한 이온 통과 시간의 비율에 비례적이다. 따라서, RF 주파수가 높을수록 더 좁은 iedf가 산출된다. 특정 RF 구성에 의존하여, 2 MHz 내지 60 MHz의 일반적으로 사용되는 RF 주파수들에 대해, iedf의 폭은 수 십 eV만큼 작을 수 있다. 이온 에너지의 이러한 범위는 필름 또는 코팅을 형성하기 위한 이온들의 증착 또는 기관의 예칭과 같은 프로세싱 애플리케이션들에 대하여 용인이 가능할 수 있다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다.

[0021] 또한, 이온 빔(122)의 이온 빔 에너지는 dc 자체-바이어스 전압(V_{bias})을 변화시킴으로써 튜닝될 수 있다. 일반적으로, V_{bias} 는 대략적으로 도 2d에 도시된 바와 같이 V_{rf} 의 선형적인 함수이다. 구체적으로, 2개의 전압들 사이의 관계는 $V_{bias} = [(1-a)/(1+a)]V_{rf}$ 로서 표현될 수 있으며, 여기에서 a 는 전력이 공급되는 전극 대 접지 전극의 표면적 비율을 포함하는 비대칭 인자이다. 인자 " a "가 0과 1 사이의 값들을 취할 수 있기 때문에, 결과는 a 가 0일 때 V_{rf} 와 동일한 V_{bias} 값 및 $a=1$ 일 때 $V_{bias}=0$ 이라는 것이다. 평균 에너지는 RF 전압 및 그에 따라 추출 플레이트(115) 상의 인가되는 RF 전압을 조정함으로써 변화될 수 있다. 결과적으로 안테나(110)에 전달되는 전력의 양을 수정함으로써 빔 전류가 조정될 수 있다.

[0022] 적절한 동작을 보장하기 위하여, 접지 플레이트(128)는 추출 플레이트(114)의 목표 거리 내에, 예컨대 Z-축을 따라 1 cm 또는 그 미만의 거리 내에 배열될 수 있다. 이러한 거리는 도시된 바와 같이 방향(132)을 따라 조정될 수 있다. 접지 플레이트가 목표 거리 이내에 위치될 때, 이는 접지 플레이트(128)가 이상에서 설명된 바와 같은 비대칭적인 전극 구성에서 제 2 전극으로서 역할하는 것을 가능하게 한다. 도 1a에 추가로 도시된 바와 같이, 장치(100)는 추출 플레이트(114)의 평면과 기관 스테이지(126) 사이의 Z-축을 따른 거리를 조정하기 위한 능력을 제공한다. 기관(124)이 제 2 전극으로서 역할하지 않기 때문에, 기관(124)은 플라즈마 챔버(102)로부터 더 멀리, 예컨대 회망되는 경우 Z-축을 따라 1 cm 또는 그 이상의 거리에 위치될 수 있다.

[0023] 도 3a는 본 개시의 일 실시예에 따른 추출 시스템(300)의 기하구조의 세부사항들을 도시한다. 추출 시스템(300)은 추출 플레이트(314) 및 접지 플레이트(328)를 포함할 수 있으며, 여기에서 동작은 추출 플레이트(114) 및 접지 플레이트(328)와 관련하여 설명된 동작과 유사하다. 도 3a는 또한 조건들의 특정 세트에 대하여 이온 빔(302)에 대한 이온 빔 추출의 시뮬레이션의 결과들을 도시한다. 도 3a의 모델링 결과들은 또한 600 V dc 자체-바이어스의 조건들 하에서의 이온 빔 형상 및 등전위 라인들(332)을 예시한다. 이러한 기하구조에 대하여, 추출 플레이트(314)는 4 mm의 Y-축을 따른 높이를 갖는 추출 개구(316)를 가지며, 반면 접지 플레이트(328)는 2 mm의 Y-축을 따른 높이를 갖는 접지 플레이트 개구(330)를 갖는다.

[0024] 도 3b는 도 3a의 추출 기하구조에 따른 기관 평면에서의 위치의 함수로서 이온 빔 방사율(331)의 시뮬레이션을 도시한다. 도시된 바와 같이, 이온 빔(302)은 기관(웨이퍼)(124)에서 Y-축을 따라 ~ 12 mm에 걸치는 ~ 4 도/mm의 약간 발산하는 빔이다.

[0025] 도 3c는 도 3a의 추출 기하구조에 따른 이온 빔(302)의 이온 각도 분포의 시뮬레이션을 도시한다. 도시된 바와 같이, 평균 각도 = 0 도인 추출된 이온 빔의 이온 각도 분포(340)는 ~4 도의 이온 각도 분포 또는 각도 확산을 갖는다.

[0026] 도 3d는 도 3a의 추출 기하구조에 따른 이온 빔(302)의 이온 빔 전류 프로파일의 시뮬레이션을 도시한다. 도시된 바와 같이, 빔 전류 프로파일(350)은 빔 전류의 ~90%가 Y-축을 따라 ~4 mm의 범위 내에 속한다는 것을 예시한다.

- [0027] 특히, 정확한 빔 전류 프로파일 및 이온 빔(302)에 의해 충돌되는 기관(124)의 면적은 기관(124)의 위치를 변화 시킴으로써 변화될 수 있다. 도 1a 및 도 3a에 전반적으로 예시된 실시예들에 있어서, 접지 플레이트를 사용함으로써, 기관(124)을 추출 플레이트에 대하여 멀리 위치시키기 위한 능력은 추가적인 이점을 제공한다. 특히, 이온 빔으로부터 기관(124)으로부터 예칭되고 플라즈마 챔버 내로 이동하는 재료의 양은, 기관이 추출 플레이트에 더 가깝게 위치될 수 있는 공지된 시스템들에 비하여 실질적으로 감소될 수 있다. 예를 들어, 예칭된 재료의 양은 기관과 추출 사이에서 Z 방향을 따른 거리의 제곱의 역으로서 스케일링(scale)될 수 있으며, 따라서, 거리가 2배가되는 경우 플라즈마 챔버 내로 다시 이동하는 예칭된 재료는 4배 감소된다.
- [0028] 다양한 실시예들에 있어서, Z-축을 따른 추출 플레이트와 접지 플레이트 사이의 간격은 로컬 pd 곱(압력 곱하기 분리 간극 길이)에 대한 파셴 항복 조건에 의해 부여되는 한계를 가지고 가능한 한 작게 만들어질 수 있다. 압력 조건들이 몇 mTorr 등의 범위 내로 유지되는 경우, 예를 들어, 2-3 kV를 초과하지 않는 전압들에 대하여 추출 플레이트와 접지 플레이트 사이의 1-2 mm만큼 작은 간격이 이용될 수 있다. 압력 및 전압의 유사한 범위에 대하여, 추출 플레이트와 접지 플레이트의 간격의 상부 범위와 관련하여, 간격은 9-10 mm 이하일 수 있으며, 이는 이러한 경우에 더 큰 간격이 유지될 때 간격이 플라즈마 쉬스 두께를 초과할 수 있기 때문에 플라즈마가 접지 전극을 "느낄(feel)" 수 없기 때문이다. 특히, 이러한 한계들은 플라즈마 밀도 및 RF 전압의 함수이며: 더 높은 전압 및/또는 낮은 플라즈마 밀도는 결과적인 더 큰 플라즈마 쉬스 두께 때문에 더 큰 간격에 유리하게 작용한다. 일 예로서, $5 \times 10^9 - 10^{11}$ cm⁻³의 범위 내의 플라즈마 밀도들 및 몇 kV의 추출 전압들에 대하여, 추출 플레이트와 접지 플레이트 사이의 최대 10 mm에 이르는 간격이 여전히 접지 플레이트 및 추출 플레이트가 도 2b 또는 도 2d와 관련하여 이상에서 도시된 바와 같이 dc 자체-바이어스 전압을 생성하는 비대칭적인 구성으로서 기능하는 것을 가능하게 할 수 있다. 어림 잡아서, Z-축을 따른 추출 플레이트와 접지 플레이트 사이의 간격은 Y-축을 따른 추출 개구 높이와 동일할 수 있다. 접지 플레이트 외부의 기관의 위치와 관련하여, 기관과 추출 플레이트 사이의 간격을 증가시키는 것이 정전기 전위 분포에 영향을 주지 않는다. 따라서, 기관은 추출 개구를 통한 그리고 플라즈마 챔버 내로의 기관으로부터의 재료의 백-스퍼터링(back-sputtering)을 감소시키기 위하여 추출 플레이트로부터 더 멀리 위치될 수 있다. 기관과 추출 플레이트의 간격의 상한과 관련하여, 기관 상의 이온 빔의 풋프린트(footprint)는 주어진 빔 발산에 대하여 간격에 따라 증가한다. 따라서, 주어진 경우에서 기관 표면의 일 부분으로 빔 확산을 제한하기 위하여, 기관과 추출 플레이트 사이의 더 작은 간격이 유용할 수 있다. 도 3a의 예에 있어서, 기관(124)은 추출 플레이트(314)로부터 z=25 mm에 위치될 수 있으며, 여전히 합리적으로 작은 빔 풋프린트(완전히 중성화된 빔에 대하여 Y-축을 따라 ~ 30 mm)를 가질 수 있다.
- [0029] 도 1b는 본 개시의 추가적인 실시예들에 따른 다른 장치(150)를 도시한다. 장치(150)는 이하에서 언급되는 것을 제외하면 장치(100)와 유사하게 기능할 수 있다. 이러한 변형예에 있어서, 2개의 별개의 RF 생성기를 갖는 대신에, RF 생성기(152)로서 도시된 오로지 하나의 RF 생성기가 제공되며, 이는 RF 생성기들 및 매칭 네트워크들의 수를 감소시킨다. 이에 더하여, 듀얼 출력 매칭 네트워크(154)가 제공되며, 여기에서 듀얼 출력 매칭 네트워크(154)는 RF 생성기(152)에, 추출 플레이트(114)에, 그리고 플라즈마 챔버(102)에 인접한 RF 안테나(안테나(110))에 결합된다. 이러한 방식으로, RF 생성기(152)는 플라즈마 챔버(102) 내에서 플라즈마(112)를 생성하기 위하여 그리고 이상에서 설명된 바와 같이 추출 플레이트(114)에서 dc 자체-바이어스를 생성하기 위하여 기능한다.
- [0030] 이제 도 1c를 참조하면, 본 개시의 추가적인 실시예들에 따른 다른 장치인 장치(160)가 도시된다. 장치(160)는 전반적으로, 장치(160)가 접지 플레이트(128)를 생략할 수 있는 점을 제외하면, 장치(100)에 관하여 이상에서 설명된 것과 동일한 컴포넌트들을 포함할 수 있다. 그 대신에, 이러한 실시예에 있어서, 기관(124)이 비대칭적인 전극 구성에서 접지 전극으로서 역할할 수 있다. 이러한 구성에 있어서, 접지 전극의 면적은 추출 개구(116)의 면적과 동일할 수 있으며, 이는 추출 개구(116)가 플라즈마(112)에 의해 보여지는 접지 플레이트(128)의 면적을 정의하도록 역할하기 때문이다. 추가적으로, 기관(124)이 플라즈마(112)에 대한 접지 전극으로 역할하기 때문에, 기관 스테이지(126)가 도 1의 구성에서 보다 추출 플레이트(114)에 더 가깝게 배열될 수 있다.
- [0031] 이제 도 1d를 참조하면, 본 개시의 추가적인 실시예들에 따른 추가적인 장치인 장치(180)가 도시된다. 장치(180)는 전반적으로, 장치(180)가 접지 플레이트(128)를 생략할 수 있다는 점을 제외하면 장치(150)에 관하여 이상에서 설명된 것과 동일한 컴포넌트들을 포함할 수 있으며, 따라서 기관(124)이 도 1c와 관련하여 설명된 바와 같이 접지 전극으로서 역할한다.
- [0032] 도 4a는 본 개시의 일 실시예에 따른 추출 시스템(400)의 기하구조의 세부사항들을 도시한다. 추출 시스템(400)은 추출 플레이트(414)를 포함할 수 있으며, 여기에서 동작은 추출 플레이트(114)와 관련하여 설명된 동작과

유사하다. 도 4a는 또한 조건들의 특정 세트에 대하여 이온 빔(402)에 대한 이온 빔 추출의 시뮬레이션의 결과들을 도시한다. 도 4a의 모델링 결과들은 또한 2 kV dc 자체-바이어스의 조건들 하에서의 이온 빔 형상 및 등전위 라인들(432)을 예시한다. 이러한 기하구조에 대하여, 추출 플레이트(414)는 4 mm의 Y-축을 따른 높이를 갖는 추출 개구(416)를 가지며, 반면 기관(124)은 Z-축을 따라 추출 플레이트(414)에 대하여 Z= 7 mm의 위치에 위치된다. 이러한 시뮬레이션에 있어서, 기관(124)은 추출 광학부의 일 부분을 형성하며, 여기에서 기관(124)은 이상에서 논의된 바와 같은 비대칭적인 전극 구성의 접지 전극으로서 역할한다.

[0033] 도 4b는 도 4a의 추출 기하구조에 따른 기관 평면에서의 위치의 함수로서의 이온 빔 방사율(431)의 시뮬레이션을 도시한다. 도시된 바와 같이, 이온 빔(402)은 기관(웨이퍼)(124)에서 Y-축을 따라 ~ 2 mm에 걸치는 ~ -2 도/mm의 약간 발산하는 빔이다.

[0034] 도 4c는 도 4a의 추출 기하구조에 따른 이온 빔(402)의 이온 각도 분포의 시뮬레이션을 도시한다. 도시된 바와 같이, 평균 각도 = 0 도인 추출된 이온 빔의 이온 각도 분포(440)는 ~2 도의 이온 각도 분포 또는 각도 확산을 갖는다.

[0035] 도 4d는 도 4a의 추출 기하구조에 따른 이온 빔(402)의 이온 빔 전류 프로파일의 시뮬레이션을 도시한다. 도시된 바와 같이, 빔 전류 프로파일(450)은 빔 전류의 ~95%가 Y-축을 따라 ~6 mm의 범위 내에 속한다는 것을 예시한다.

[0036] 도 5a는 본 개시의 다른 실시예에 따른 장치(500)의 사시도를 제공한다. 장치(500)는 이상에서 설명된 바와 같은 RF 생성기(들) 및 매칭 네트워크(들)와 같은 다른 컴포넌트들을 포함할 수 있다. 장치(500)는 유전체 벽(502)을 포함하는 플라즈마 챔버(501)를 포함하며, 여기에서 유전체 벽(502)은 알루미늄, 석영, 질화 알루미늄 또는 다른 절연체 재료로 만들어질 수 있다. 안테나(504)는 플라즈마 챔버(501) 내에 유도 결합된 플라즈마를 드라이브하기 위하여 플라즈마 챔버(501) 주위에 배치된다. 장치(500)는 플라즈마 챔버(501)의 측면을 따라 배치되는 추출 플레이트(506)를 포함한다. 추출 플레이트(506)는 전기 전도성 재료로 만들어질 수 있으며, 도 1a 내지 도 1d와 관련하여 이상에서 전반적으로 설명된 바와 같이 RF 생성기에 결합될 수 있다. 이러한 실시예에 있어서, 추출 플레이트(506)는 플라즈마 챔버(501)의 추출 측면(505)의 전체 부분을 점유할 수 있다. 도 5a에 추가로 도시된 바와 같이, 추출 플레이트(506)는 제 1 장축을 갖는 제 1 세장형 개구를 구성하는 추출 개구(510)를 포함할 수 있으며, 여기에서 제 1 장축은 X-축을 따라 놓인다. 장치(500)는 접지 플레이트 개구(512)를 갖는 접지 플레이트(508)를 더 포함할 수 있으며, 여기에서 접지 플레이트 개구(512)는 제 1 장축과 평행하게 정렬되는 제 2 장축을 갖는 제 2 세장형 개구를 구성한다. 이러한 방식으로, 이온들은 플라즈마 챔버(501)로부터 리본 빔으로서 추출될 수 있으며, 접지 플레이트(508)를 통해 리본 빔으로서 계속해서 전파될 수 있다.

[0037] 도 5b는 본 개시의 추가적인 실시예에 따른 다른 장치(520)의 사시도를 제공한다. 장치(520)는 언급되는 것 이외에는 장치(500)와 유사한 컴포넌트들을 가질 수 있다. 장치(520)는 추출 측면을 제외하고는 플라즈마 챔버(501)와 유사한 플라즈마 챔버(521)를 포함할 수 있다. 이러한 예에 있어서, 플라즈마 챔버(521)의 추출 측면(525)은 추출 플레이트(524) 주위에 배치되는 플레이트와 같은 전기 비-전도성 부분(522)을 포함하며, 여기에서 추출 플레이트(524)는 전기 전도성이고 전반적으로 전술된 실시예들에서 설명된 것과 같이 동작한다. 이러한 실시예는, 플라즈마 챔버 벽들의 더 큰 비율이 전기 비-전도성이어서 챔버 벽들에 대한 감소된 플라즈마 손실들 및 주어진 입력 전력에 대하여 더 높은 플라즈마 밀도를 야기하는 플라즈마 챔버(521)를 제공한다.

[0038] 이제 도 6의 (a) 및 도 6의 (b)를 참조하면, 본 개시의 다양한 실시예들에 따른 추출 플레이트(606) 및 접지 플레이트(608)에 대한 추출 기하구조의 세부사항들이 도시된다. 도면들 내에 도시된 조망은 기관을 향해 바라보는 플라즈마 챔버의 내부로부터이다. 추출 플레이트(606)는 도시된 바와 같이 X-축을 따라 연장된 추출 개구(612)를 포함한다. 일부 실시예들에 있어서, 추출 개구(612)는 X-축을 따라 30 cm, 40 cm, 또는 그 이상의 거리에 걸쳐질 수 있으며, 이는 X-축을 따른 유사한 치수들의 기관(124)의 전체를 커버하기에 충분하다. 따라서, 기관(124)이 Y-축을 따라 스캔될 때, 기관(124)의 전체가 추출 개구(612)를 통해 방출되는 중에 노출될 수 있다. 도 6b에 구체적으로 도시된 바와 같이, 추출 개구(612)는 제 1 장축(X-축)에 수직하는 단축(Y-축)을 따른 제 1 높이(H1)를 가질 수 있다. 다양한 실시예들에 있어서, 플라즈마 챔버로 인가되는 RF 전력에 의존하여, 플라즈마 쉬스 두께는 수백 마이크로미터로부터 수 밀리미터까지의 범위일 수 있다. 따라서, 제 1 두께(H1)는, 예를 들어, 5 밀리미터 미만이 되도록 배열될 수 있다. 이에 더하여, 접지 플레이트 개구(614) 또한 세장형 개구이며, 제 1 높이보다 더 작은 단축을 따른 제 2 높이(H2)를 갖는다. 예를 들어, H1은 4 mm일 수 있으며, 반면 H2는 1.5 mm이다. 실시예들이 이러한 맥락으로 제한되지 않는다. 도 4b에 추가로 표시된 바와 같이, 접지 플레이트 개구(614)는, 반드시 그래야 하는 것은 아니지만, X-Y 평면에 투사될 때 추출 개구(612) 내에서 중심에

위치될 수 있다. 이러한 배열은 플라스마로부터 기관(124)까지의 가시선을 허용하며, 이온 빔이 플라스마로부터 기관(124)까지 Z-축에 평행한 방향으로 전파하는 것을 가능하게 한다.

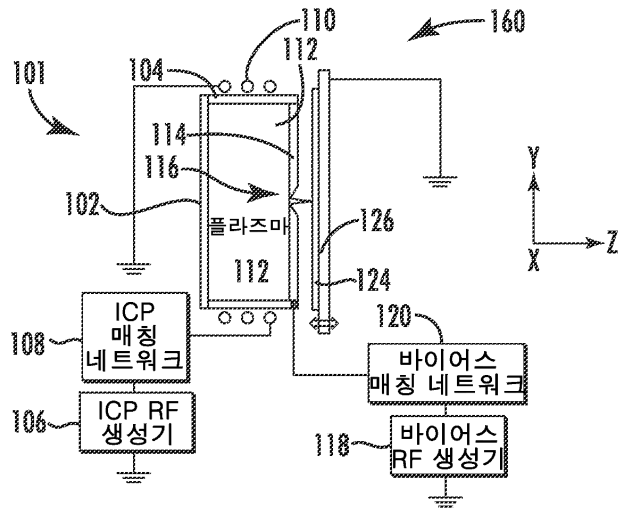
[0039] 특히, 도 6의 (b)에 도시된 기하구조에서, 비대칭적인 전극 구성의 상대적인 면적은 다음과 같이 결정될 수 있다. 추출 플레이트(606)는 제 1 면적(A1)을 가질 수 있으며, 반면 추출 개구(612)는 제 2 면적(A2)을 갖는다. 언급된 바와 같이, 제 2 면적(A2)은, 예컨대 A1의 10% 면적보다 더 작은 것과 같이 면적(A1)보다 훨씬 더 작을 수 있다. 추가적으로, 접지 플레이트 개구는 제 2 면적(A2)보다 더 작은 제 3 면적(A3)을 가질 수 있다. 다양한 실시예들에 따르면, 접지 전극의 유효 면적은 A2-A3이다. 플라스마가 단지 접지 플레이트(608)의 노출된 면적(609)만을 보기 때문에 이러한 계산 결과가 생기며, 여기에서 노출된 면적(609)은 접지 플레이트(608)의 평면 상에 투사되는 추출 개구(612)의 면적 빼기 접지 플레이트 개구(614)에 의해 획정되는 개방 면적이다. 특정 실시예들에 따르면, 추출 전극, 추출 개구, 및 접지 전극 개구의 상대적인 크기들은 $A1/(A2-A3)$ 이 10 이상이 되도록 설정될 수 있다.

[0040] 도 7은 예시적인 프로세스 흐름(700)을 도시한다. 블록(702)에서, 플라스마 챔버가 제공되며, 여기에서 플라스마 챔버는 전기 절연체를 포함하는 메인 몸체 부분을 포함한다. 메인 몸체 부분은 일부 예들에 있어서 플라스마 챔버 벽들의 표면적의 대부분을 커버할 수 있다. 블록(704)에서, 플라스마 챔버의 추출 측면을 따라 추출 플레이트가 제공되는 단계가 수행된다. 추출 플레이트는 전기 전도성일 수 있으며, 상이한 실시예들에 있어서 추출 측면의 전체 또는 일 부분에 걸쳐 연장할 수 있다. 블록(706)에서, 기관을 홀딩하는 기관 스테이지가 플라스마 챔버의 외부에 그리고 추출 플레이트의 추출 개구에 인접하게 배열되며, 여기에서 기관 스테이지는 접지 전위이다. 기관 스테이지는 접지 전위로 또한 홀딩되는 기관을 홀딩할 수 있다. 블록(708)에서, 접지 플레이트는 추출 개구와 기관 스테이지 사이에 배열되며, 여기에서 접지 플레이트는 전기 전도성 재료를 포함하고 접지 전위에 결합된다. 접지 플레이트는, 추출 개구와 함께 플라스마 챔버와 기관 사이에 가시선을 제공하는 접지 플레이트 개구를 포함할 수 있다. 접지 플레이트는 비대칭적인 전극 구성의 접지 전극으로서 역할하기 위하여 추출 플레이트의 목표 거리 이내에 배열될 수 있다. 블록(710)에서, 플라스마 챔버 내에 플라스마가 생성된다. 블록(712)에서, RF 전압이 추출 플레이트에서 생성되며, 여기에서 플라스마가 플라스마 챔버 내에 존재할 때 추출 플레이트에서 접지 전위에 대한 포지티브 dc 자책-바이어스 전압이 수립된다.

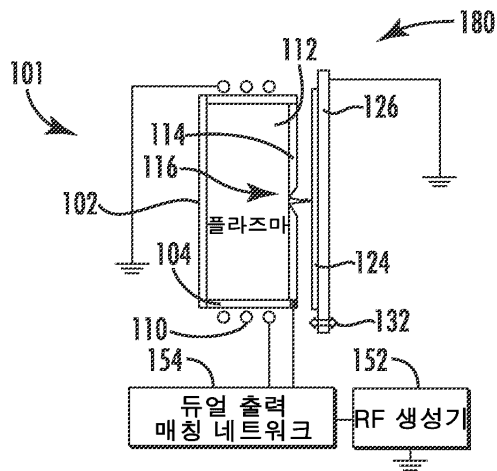
[0041] 본 실시예들은, 절연 트랜스포머에 대한 필요 없이 그리고 플라스마 챔버를 높은 전압까지 상승시킬 필요 없이 컴팩트 프로세싱 장치에서 기관으로 이온 빔을 전달하기 위한 능력을 포함하는 다수의 이점들을 제공한다. 이에 더하여, 다양한 실시예들은 값이 비싼 펄스형 dc 전원 공급장치가 산업 표준 RF 시스템으로 대체되는 것을 가능하게 한다. 다른 이점들은 전통적인 펄스형 dc 프로세싱 장치에 비하여 컴팩트 이온 빔 프로세싱 장치에서 기관에 대한 완전한 중성화를 제공하기 위한 능력을 포함한다.

[0042] 본 개시는 본원에서 설명된 특정 실시예에 의해 범위가 제한되지 않는다. 오히려, 본원에서 설명된 실시예들에 더하여, 본 개시의 다른 다양한 실시예들 및 이에 대한 수정예들이 이상의 설명 및 첨부된 도면들로부터 당업자들에게 자명해질 것이다. 따라서, 이러한 다른 실시예들 및 수정예들이 본 개시의 범위 내에 속하도록 의도된다. 추가로, 본 개시가 본원에서 특정 목적을 위한 특정 환경에서의 특정 구현예의 맥락에서 설명되었지만, 당업자들은 이의 유용함이 이에 한정되지 않으며, 본 개시가 임의의 수의 목적들을 위한 임의의 수의 환경들에서 유익하게 구현될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 이하에서 기술되는 청구항들은 본원에서 설명된 바와 같은 본 개시의 완전한 폭과 사상의 관점에서 해석되어야만 한다.

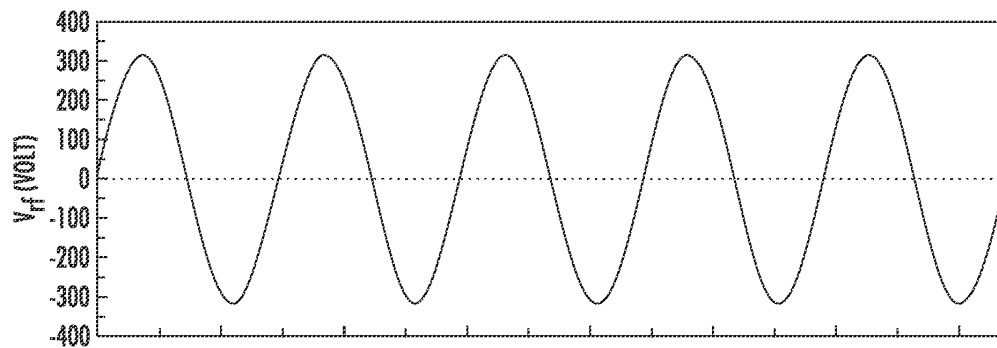
도면1c



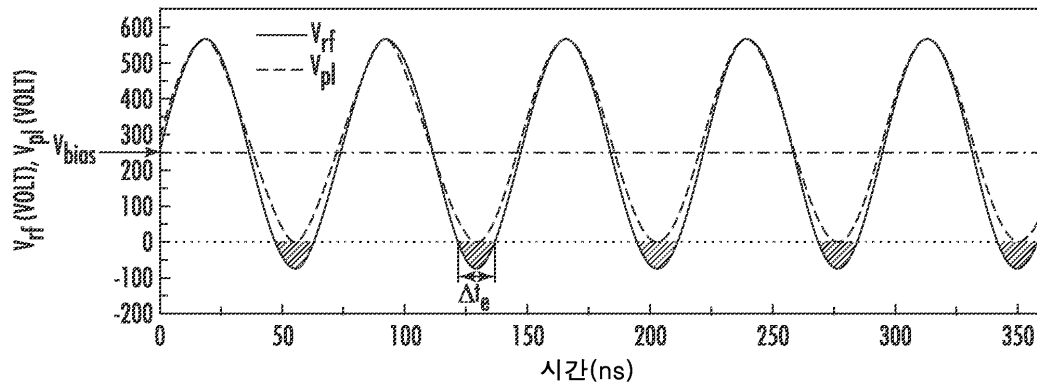
도면1d



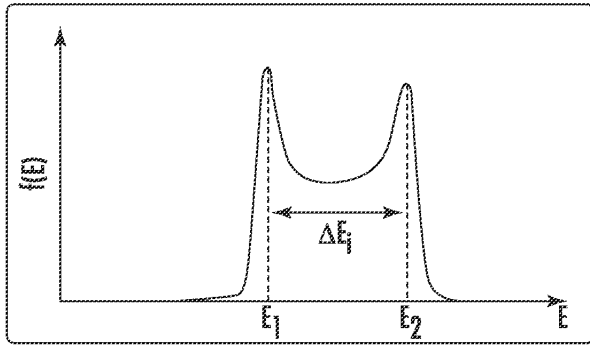
도면2a



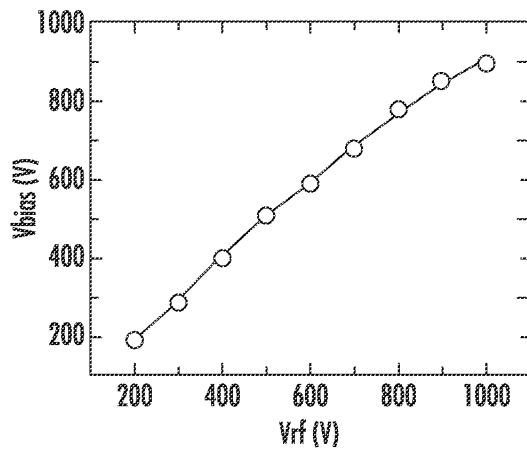
도면2b



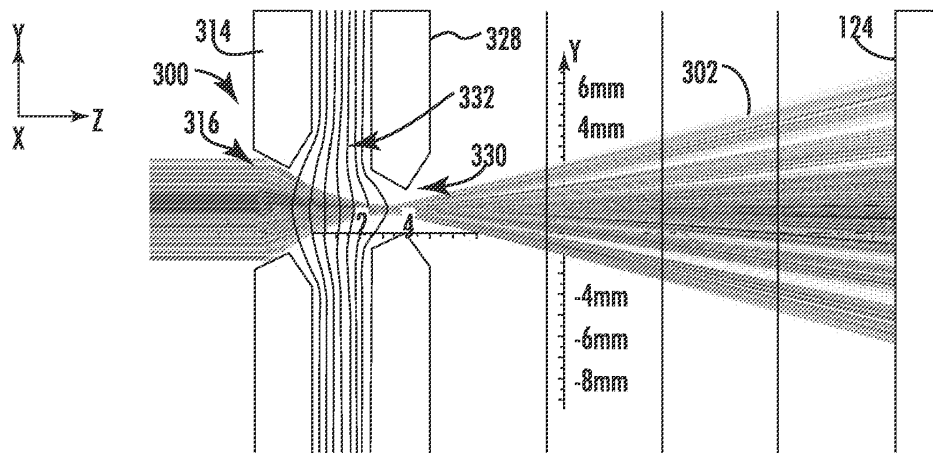
도면2c



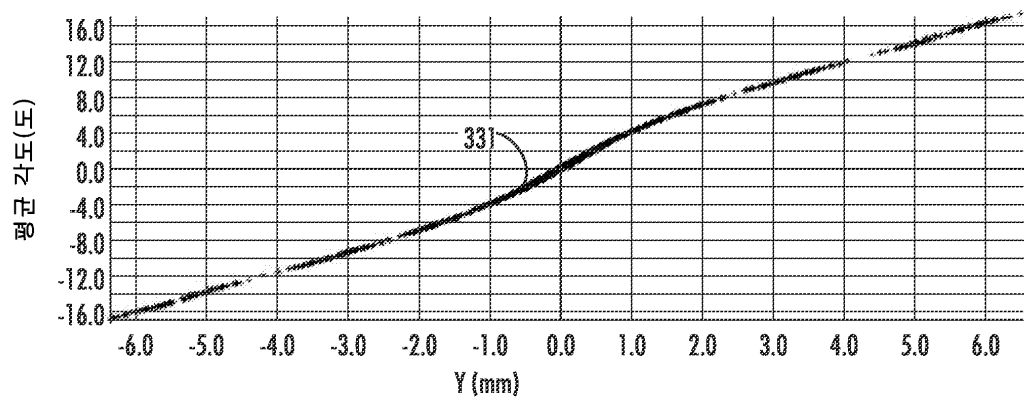
도면2d



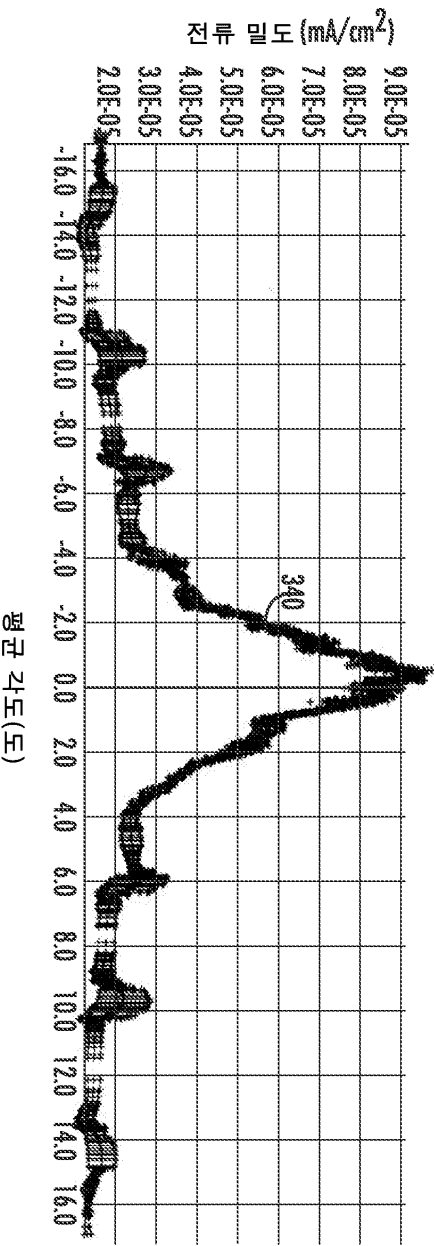
도면3a



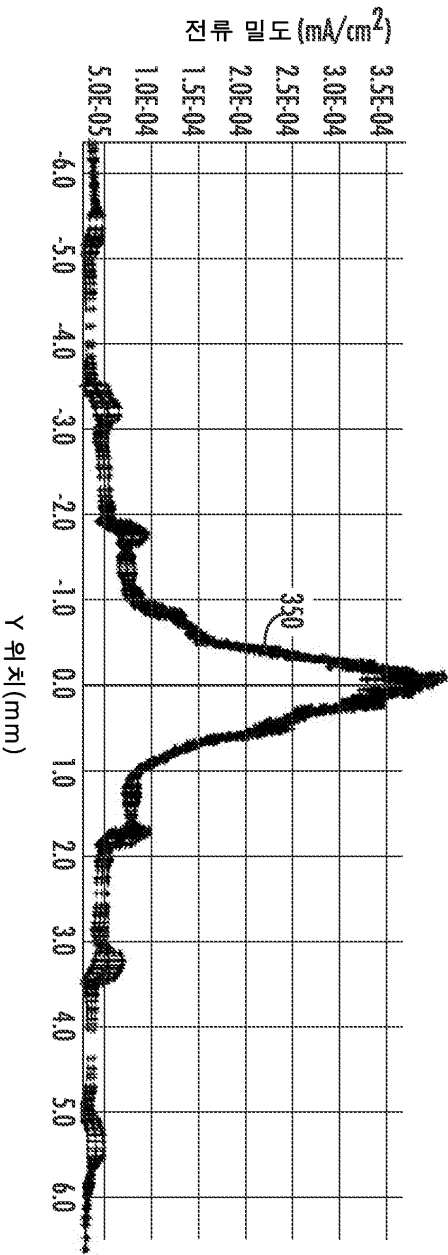
도면3b



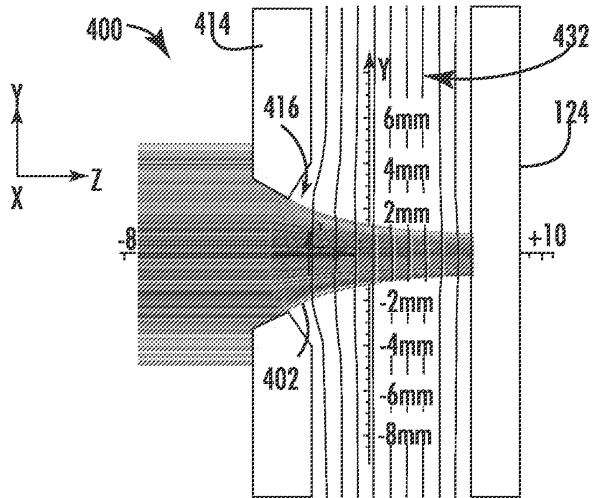
도면3c



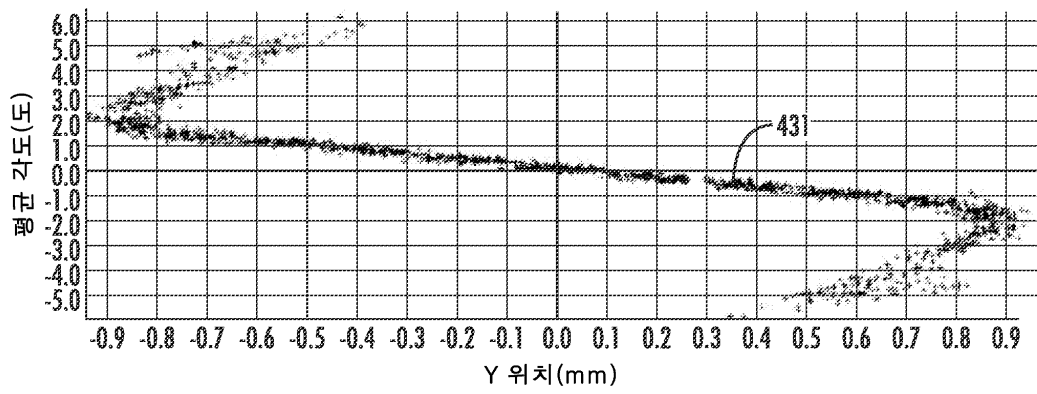
도면3d



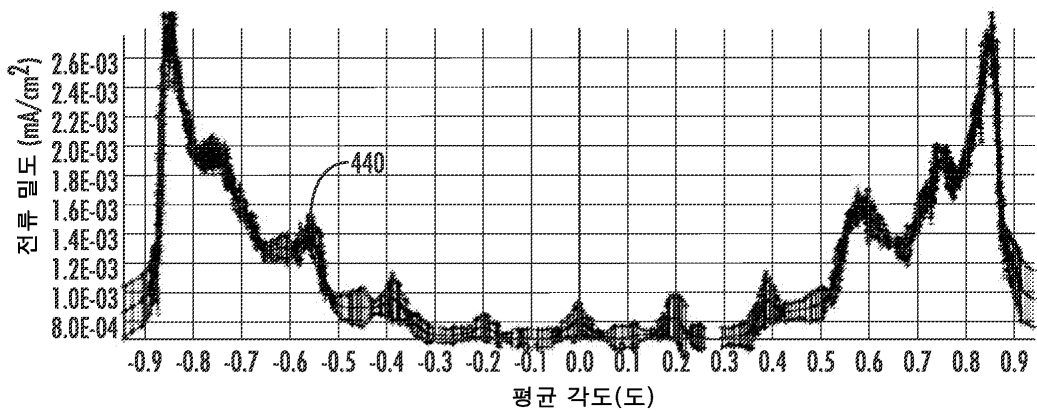
도면4a



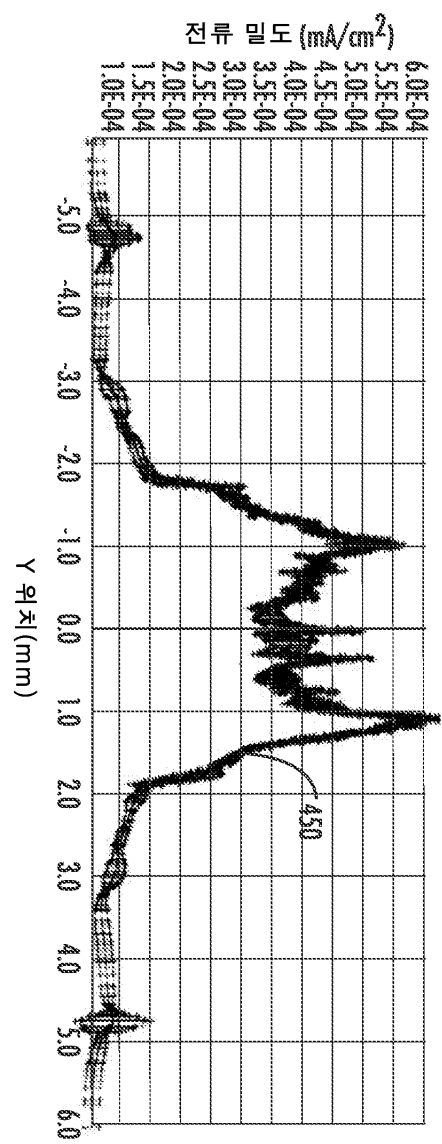
도면4b



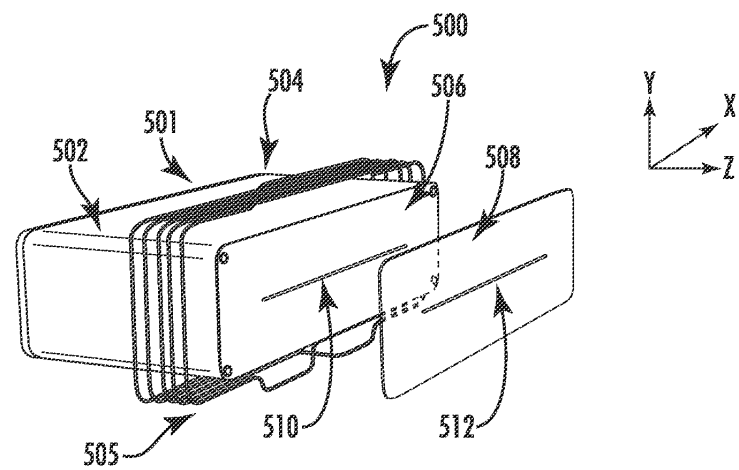
도면4c



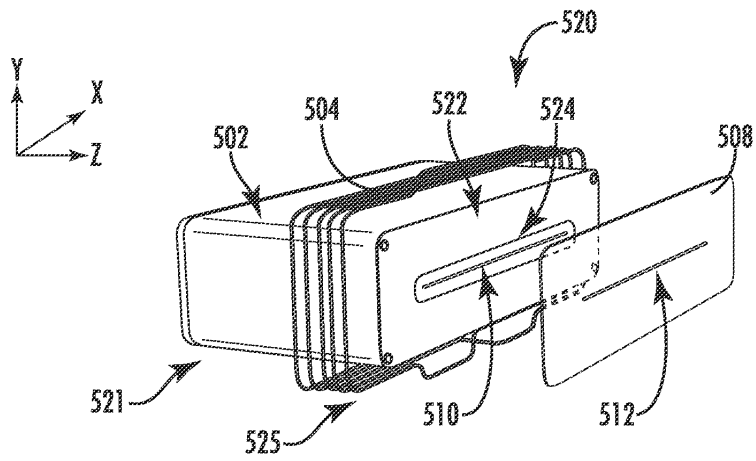
도면4d



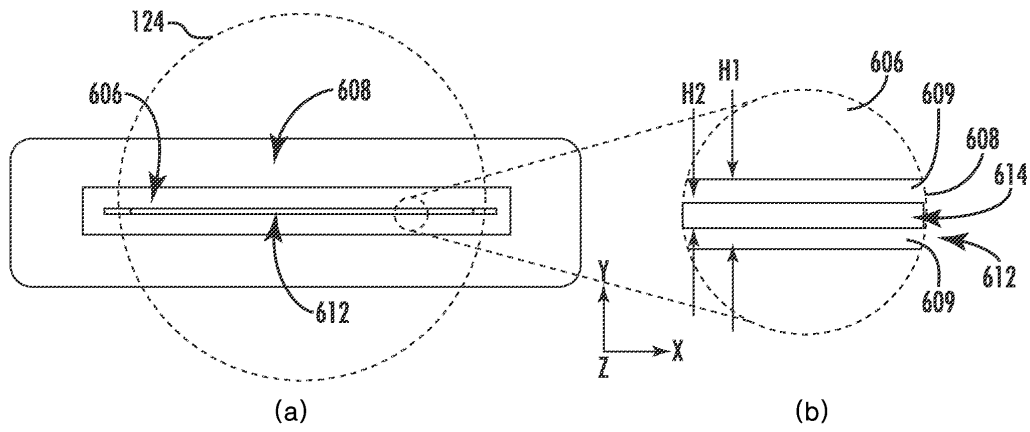
도면5a



도면5b



도면6



도면7

