



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년04월26일
(11) 등록번호 10-1615671
(24) 등록일자 2016년04월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/08 (2006.01) H01J 27/16 (2006.01)
H01J 37/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/08 (2013.01)
H01J 27/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-7006237
(22) 출원일자(국제) 2013년08월08일
심사청구일자 2015년09월25일
(85) 번역문제출일자 2015년03월10일
(65) 공개번호 10-2015-0042260
(43) 공개일자 2015년04월20일
(86) 국제출원번호 PCT/US2013/054056
(87) 국제공개번호 WO 2014/028290
국제공개일자 2014년02월20일
(30) 우선권주장
61/682,356 2012년08월13일 미국(US)
13/961,060 2013년08월07일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP평성11510302 A
JP2001042099 A
US20100066252 A1
EP0756309 A

(73) 특허권자
베리안 세미콘덕터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.
미국 01930 매사추세츠주 글로스터 도리 로드 35
(72) 발명자
빌로이우, 코스텔
미국, 01966 매사추세츠주, 락포트, 퀴리 릿지 레
인 34
울슨, 죠셉 씨.
미국 01915 매사추세츠 비버리 미팅 플레이스 씨
클 5
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
특허법인에이아이피

전체 청구항 수 : 총 14 항

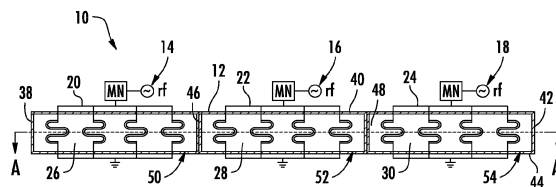
심사관 : 임은정

(54) 발명의 명칭 와이드 이온 빔을 위한 다수의 안테나들을 갖는 유도 결합 플라즈마 이온 소스

(57) 요약

와이드 이온 빔 소스(10)는 미리 결정된 관계로 배열된 복수개의 RF 윈도우들(26, 28, 30), 상기 복수개의 RF 윈도우들의 제 1 측면상에 배치된 단일 플라즈마 챔버(12), 복수개의 RF 안테나(20, 22, 24)들로서, 상기 복수개의 RF 안테나들의 각각의 RF 안테나는 상기 복수개의 RF 윈도우들의 개개의 RF 윈도우의 제 2 측면상에 배치되고, 상기 제 2 측면은 상기 제 1 측면에 대향되는, 상기 안테나들 및 복수개의 RF 소스(14, 16, 18)들로서, 각각의 RF 소스는 상기 복수개의 RF 안테나들의 개개의 RF 안테나에 결합되고, 제 1 RF 안테나에 인접한 RF 안테나에 결합된 제 2 RF 소스에 의해 생성된 제 2 RF 신호의 주파수로부터 제 1 RF 안테나에 결합된 제 1 RF 소스에 의해 생성된 제 1 RF 신호의 주파수에서의 10 kHz보다 더 큰 복수개의 RF 소스들을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01J 37/321 (2013.01)

H01J 37/3211 (2013.01)

H01J 37/32165 (2013.01)

H01J 37/32422 (2013.01)

H01J 2237/0817 (2013.01)

H01J 2237/31706 (2013.01)

(72) 발명자

벨, 에드워드 더블유.

미국 매사추세츠 01951 뉴베리 미들 로드 53

시에라드즈키, 만니

미국 매사추세츠 01833 조오지타운 웨스트 메인 스트리트 185

명세서

청구범위

청구항 1

와이드 이온 빔 소스(wide ion beam source)에 있어서,

미리 결정된 관계로 배열되는 복수개의 RF 윈도우들;

상기 복수개의 RF 윈도우들의 제 1 측면상에 배치된 단일 플라즈마 챔버;

복수개의 RF 안테나들로서, 상기 복수개의 RF 안테나들의 각각의 RF 안테나는 상기 복수개의 RF 윈도우들의 개개의 RF 윈도우의 제 2 측면상에 배치되고, 상기 제 2 측면은 상기 제 1 측면에 대향되는, 상기 안테나들; 및

복수개의 RF 소스들로서, 각각의 RF 소스는 상기 복수개의 RF 안테나들의 개개의 RF 안테나에 결합되고, 제 1 RF 안테나에 인접한 RF 안테나에 결합된 제 2 RF 소스에 의해 생성된 제 2 RF 신호의 주파수로부터 상기 제 1 RF 안테나에 결합된 제 1 RF 소스에 의해 생성된 제 1 RF 신호의 주파수에서의 차이는 10 kHz보다 크고 200 kHz 이하인, 상기 RF 소스들을 포함하는, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 주파수에서의 차이는 100 KHz보다 작은, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 제 2 RF 소스에 의해 생성된 상기 제 2 RF 신호의 주파수로부터 상기 제 1 RF 소스에 의해 생성된 상기 제 1 RF 신호의 주파수에서의 차이는 적어도 0.5% 이고 그리고 1% 미만인, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 복수개의 RF 윈도우들의 단-대-단(end-to-end) 치수는 적어도 2 미터인, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 복수개의 RF 소스들은 서로에 독립적으로 동작하는, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 6

청구항 1에 있어서, 상기 복수개의 RF 소스들의 각각의 RF 소스는 개개의 매칭 네트워크 및 개개의 RF 전압 평형 커패시터(voltage equilibrium capacitor)를 더 포함하는, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 개개의 매칭 네트워크는 자신의 개개의 RF 소스의 주파수에 대하여 조정(calibrate)되는, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 8

청구항 1에 있어서, 상기 복수개의 RF 윈도우들의 상기 미리 결정된 관계는 동일 평면 관계를 포함하는, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 9

청구항 1에 있어서, 상기 복수개의 RF 소스들은

13.46 MHz 주파수에서 제 1 RF 신호를 생성하도록 구성된 상기 제 1 RF 소스;

13.56 MHz 주파수에서 제 2 RF 신호를 생성하도록 구성된 상기 제 2 RF 소스; 및

13.66 MHz 주파수에서 제 3 RF 신호를 생성하도록 구성된 제 3 RF 소스;를 포함하는, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 10

청구항 1 에 있어서,

상기 복수개의 RF 윈도우들에 대향하여 상기 단일 플라즈마 챔버의 둘레상에 위치된 추출 개구로서, 상기 추출 개구는 상기 단일 플라즈마 챔버로부터 이온들을 추출하도록 구성된, 상기 추출 개구를 더 포함하되,

상기 와이드 이온 빔 소스는 상기 추출 개구를 통한 추출 후에 8% 또는 그 미만의 균일성(uniformity)을 갖는 이온 빔을 생성하도록 구성된, 와이드 이온 빔 소스.

청구항 11

와이드 이온 빔을 생성하기 위한 시스템에 있어서,

미리 결정된 관계로 배열되는 복수개의 RF 윈도우들;

상기 복수개의 RF 윈도우들의 제 1 측면상에 배치된 단일 플라즈마 챔버;

복수개의 RF 안테나들로서, 상기 복수개의 RF 안테나들의 각각의 RF 안테나는 상기 복수개의 RF 윈도우들의 개개의 RF 윈도우의 제 2 측면상에 배치되고, 상기 제 2 측면은 상기 제 1 측면에 대향되는, 상기 안테나들; 및

복수개의 RF 소스들로서, 각각은 13.56MHz의 2%이내의 주파수에서 동작하도록 구성되고, 각각의 RF 소스는 상기 복수개의 RF 안테나들의 개개의 RF 안테나에 결합되고, 제 1 RF 안테나에 인접한 RF 안테나에 결합된 제 2 RF 소스에 의해 생성된 제 2 RF 신호의 주파수로부터 상기 제 1 RF 안테나에 결합된 제 1 RF 소스에 의해 생성된 제 1 RF 신호의 주파수에서의 차이는 10 kHz보다 더 큰, 상기 RF 소스들을 포함하는, 와이드 이온 빔을 생성하기 위한 시스템.

청구항 12

청구항 11에 있어서, 상기 제 2 RF 소스에 의해 생성된 상기 제 2 RF 신호의 주파수로부터 상기 제 1 RF 소스에 의해 생성된 상기 제 1 RF 신호의 주파수에서의 차이는 적어도 0.5% 이고 그리고 1% 미만인, 와이드 이온 빔을 생성하기 위한 시스템.

청구항 13

청구항 11에 있어서, 상기 복수개의 RF 소스들은 서로에 독립적으로 동작하는, 와이드 이온 빔을 생성하기 위한 시스템.

청구항 14

청구항 11에 있어서, 적어도 세개의 RF 윈도우들, 각각의 RF 안테나가 개개의 RF 윈도우에 결합되어 있는 적어도 세개의 RF 안테나들, 및 각각의 RF 소스가 개개의 RF 안테나에 결합되어 있는 적어도 세개의 RF 소스들을 포함하는, 와이드 이온 빔을 생성하기 위한 시스템.

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2012년 8월 13일에 출원된 U.S. 가특허 출원 일련 번호. 61/682,356의 이익을 주장하고, 이의 전체 내용은 그 전체가 참조로서 본원에 통합된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 발명은 전반적으로 반도체 디바이스 제조 분야에 관한 것으로, 보다 상세하게는 와이드 이온 빔(wide ion beam)을 생성하기 위해 다수의 안테나들을 갖는 이온 소스에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 이온 주입은 이온들을 작업물 또는 타겟 기관으로 도핑하기 위해 사용되는 프로세스이다. 큰 영역 플랫 패널들의 주입과 같은 큰 포맷 이온 주입 애플리케이션들은 광폭(extra wide)의 (예를 들어, 2-6 미터 폭) 리본 이온 빔들을 요구한다. 높은 이온 빔 전류들을 지속시키기 위해 필요한 높은 플라즈마 밀도들을 제공해야만 하는 것에 추가하여, 큰 포맷 애플리케이션들에서 사용되는 플라즈마 소스들은 연장된 길이들에 대하여 매우 좋은 플라즈마 균일성 (1-2%)을 제공하는 것이 목표가 된다. 가스 상태의 전구체들에 대하여, 유도 결합 플라즈마(ICP) 소스들이 와이드 리본 이온 빔들을 생성하기 위한 적절한 해결책인 것으로 증명되었다. 예를 들어, RF 유도 결합 플라즈마 소스는 상당히 높은 이온 빔 전류들 (약 1 mA/cm 봉소) 및 상대적으로 좋은 균일성 (700 mm에 대하여 < 2%)을 제공한다. 그러나, 이온 빔 폭의 추가 확장은 RF 안테나 및 유전체 RF 윈도우 길이들에 관한 물리적 제약들 때문에 단일 RF 안테나를 가지고는 가능하지 않다. 예를 들어, 긴 안테나들은 높은 안테나 인덕턴스를 가지며, 통상의 RF 주파수들에 비하여 비-물리적 튜닝(non-physical tuning) 및 커패시터들 값들 로딩(loading)으로 매칭 유닛들을 필요로 한다.

[0006] 게다가, 안테나 루프에서 생길 수 있는 정상파 효과 때문에 안테나는 RF 전자기 파장의 $\frac{1}{4}$ 을 초과하지 않도록 디자인될 수 있기 때문에 전체 안테나 길이가 제한된다. 이러한 고려사항 때문에, 13.56 MHz의 동작 주파수에 대하여, 최대 안테나 길이 (모든 안테나 권선수(antenna turn)의 길이들을 가산함으로써 취해진)는 약 5 미터이다.

[0007] 추가하여, 윈도우들이 더 커짐에 따라서 윈도우들은 일반적으로 더 두꺼워져야 하기 때문에, RF 파워 송신을 허용하고 플라즈마 챔버들의 진공 밀봉을 제공하는 유전체 윈도우들은 사이즈에서 제약된다. 예를 들어, 250-300 ° 섭씨 열 응력 (thermal stress)이하의 1 분위기 압력을 지속하기 위해서, 1 미터 길이 및 15 센티미터 높이 윈도우는 석영의 경우에 약 15 밀리미터의 두께 및 알루미늄의 경우에 약 10 밀리미터를 가져야만 한다. 그러나, 두꺼운 윈도우들은 플라즈마 밀도에 유해한 영향과 함께 열악한 RF 파워 커플링을 제공한다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0008] 앞에 언급한 점에 대하여, RF 플라즈마들에 기반된 새로운 와이드 이온 빔 소스들이 개시된다.

[0009] 본 발명의 일 대표적인 실시예에서, 와이드 이온 빔 소스는 미리 결정된 관계로 배열된 복수개의 RF 윈도우들, 상기 복수개의 RF 윈도우들의 제 1 측면상에 배치된 단일 플라즈마 챔버, 복수개의 RF 안테나들로서, 상기 복수개의 RF 안테나들의 각각의 RF 안테나는 상기 복수개의 RF 윈도우들의 개개의 RF 윈도우의 제 2 측면상에 배치되고, 상기 제 2 측면은 상기 제 1 측면에 대향되는, 상기 안테나들을 포함한다. 상기 와이드 이온 빔 소스는

복수개의 RF 소스들로서, 각각의 RF 소스는 상기 복수개의 RF 안테나들의 개개의 RF 안테나에 결합되고, 제 1 RF 안테나에 인접한 RF 안테나에 결합된 제 2 RF 소스에 의해 생성된 제 2 RF 신호의 주파수로부터 상기 제 1 RF 안테나에 결합된 제 1 RF 소스에 의해 생성된 제 1 RF 신호의 주파수에서의 차이는 10 kHz보다 더 큰, 상기 RF 소스들을 더 포함할 수 있다.

[0010] 다른 실시예에서, 와이드 이온 빔을 생성하기 위한 방법은 상기 복수개의 RF 윈도우들의 제 1 측면을 따라서 단일 플라즈마 챔버에 인접하여 미리 결정된 관계로 복수개의 RF 윈도우들을 배열하는 단계, 상기 복수개의 RF 윈도우들의 개개의 RF 윈도우의 제 2 측면상에 복수개의 RF 안테나들의 RF 안테나를 배치하는 단계로서, 상기 제 2 측면은 상기 제 1 측면에 대향되는, 상기 배치하는 단계; 및 복수개의 RF 소스들의 RF 소스를 상기 복수개의 RF 안테나들의 개개의 RF 안테나에 결합하는 단계로서, 제 1 RF 안테나에 인접한 RF 안테나에 결합된 제 2 RF 소스에 의해 생성된 제 2 RF 신호의 주파수로부터 상기 제 1 RF 안테나에 결합된 제 1 RF 소스에 의해 생성된 제 1 RF 신호의 주파수의 차이는 10 kHz보다 더 큰, 상기 결합단계를 포함한다.

[0011] 추가 실시예에서, 와이드 이온 빔을 생성하기 위한 시스템은 미리 결정된 관계로 배열된 복수개의 RF 윈도우들, 상기 복수개의 RF 윈도우들의 제 1 측면상에 배치된 단일 플라즈마 챔버, 및 복수개의 RF 안테나들로서, 상기 복수개의 RF 안테나들의 각각의 RF 안테나는 상기 복수개의 RF 윈도우들의 개개의 RF 윈도우의 제 2 측면상에 배치되고, 상기 제 2 측면은 상기 제 1 측면에 대향되는, 상기 안테나들을 포함한다. 상기 시스템은 또한 복수개의 RF 소스들로서, 각각은 13.56MHz의 2%이내의 주파수에서 동작하도록 구성되고, 각각의 RF 소스는 상기 복수개의 RF 안테나들의 개개의 RF 안테나에 결합되고, 제 1 RF 안테나에 인접한 RF 안테나에 결합된 제 2 RF 소스에 의해 생성된 제 2 RF 신호의 주파수로부터 상기 제 1 RF 안테나에 결합된 제 1 RF 소스에 의해 생성된 제 1 RF 신호의 주파수에서의 차이는 10 kHz보다 더 큰, 상기 RF 소스를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0012] 예제 방식에 의해, 본 개시된 디바이스의 특정 실시예가 첨부 도면들을 참조하여 이제 설명될 것이다:

도 1 은 본 발명에 따른 이온 소스를 예시하는 평면도이다.

도 2 는 도 1의 라인 A-A'을 따라 취해진 도 1의 이온 소스의 단면도이다;

도 3 은 본 발명에 따른 대안적인 이온 소스를 예시하는 평면도이다;

도 4a 는 5 Hz만큼 동작 주파수에서 다른 13.56 MHz의 두개의 파형들에 대한 계산된 변조 효과들을 예시하는 그래프이다;

도 4b는 동일한 주파수에서 동작하는 두개의 RF 소스들 셋을 갖는 이온 소스에 대하여 측정된 빔 프로파일들을 예시하는 그래프이다;

도 4c는 100 마이크로초 동안 예시된 100 KHz만큼 동작 주파수에서 다른 13.56 MHz의 두개의 파형들에 대하여 계산된 변조 효과들을 예시하는 그래프이다;

도 4d는 대략 10 마이크로초 동안 예시된 100 KHz만큼 동작 주파수에서 다른 13.56 MHz의 두개의 파형들에 대하여 계산된 변조 효과들을 예시하는 그래프이다;

도 5는 상이한 주파수들에서 동작하는 세개의 RF 소스들 셋을 갖는 이온 소스에 대하여 측정된 빔 프로파일들을 예시하는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 본 발명에 따른 디바이스는 첨부 도면들을 참조하여 이하에서 더욱 완전하게 설명될 것이며, 첨부 도면들에는 디바이스의 선호 실시예들이 도시된다. 그러나, 이 디바이스는 많은 상이한 형태들로 구현될 수도 있으며, 본 명세서에서 설명되는 실시예들에 한정되는 것으로 해석되지 않아야 한다. 오히려, 이러한 실시예들은 본 개시가 철저하고 그리고 완벽하도록 하기 위해, 그리고 당업자들에게 본 디바이스의 범위를 충분히 전달되도록 하기 위해 제공된다. 도면들에서, 같은 번호들은 그 전반에 걸쳐 같은 엘리먼트들을 나타낸다.

[0014] 본 실시예들은 RF 플라즈마들을 이용하여 와이드 이온 소스를 제공하기 위한 장치 및 방법들에 관한 것이다. 다양한 실시예들에서, RF 신호 위상들의 조절 및 연속적인 모니터링을 요구함이 없이 매우 와이드 이온 빔을 생성하기 위해 다수의, 공간적으로-중첩 플라즈마들 동작을 가능하게 하는 와이드 이온 소스가 개시된다.

- [0015] 도면들 1 및 2에 관련하여, 본 발명에 따른 RF 플라즈마 이온 소스 (10)의 실시예가 (이하에서 “RF 이온 소스 (10)”으로 지칭된다) 도시된다. RF 이온 소스 (10)는 단일 플라즈마 챔버 (12), 개개의 RF 안테나들 (20, 22, 및 24)를 갖는 다수의 RF 소스들 (14, 16, 및 18) (각각은 RF 제너레이터 “rf” 및 매칭 네트워크 “MN”을 포함함), 다수의 RF 윈도우들 (26, 28, 및 30), 하나 이상의 가스 입구들 (32), 및 이온들이 단일 플라즈마 챔버 (12)로부터 추출되는 추출 개구 (36)를 갖는 페이스플레이트(face plate) (34)를 포함할 수 있다. 편의성 및 명확성의 목적을 위해, 용어들 예컨대 “전방(front),” “후방(rear),” “상부(top),” “바닥(bottom),” “위(up),” “아래(down),” “안쪽을 향하여(inwardly),” “밖으로 향하여(outwardly),” “수평의(horizontal),” “수직의(vertical),” “횡방향(lateral),” 및 “길이 방향(longitudinal)”은 본 출원에서 RF 이온 소스 (10)의 컴포넌트들의 상대적 배치 및 방위를 설명하기 위해 사용될 것이고, 각각은 도 2에 보여주는 바와 같이 RF 이온 소스 (10)의 기하학적 구조 및 방위에 대한 것이다. 상기 용어는 구체적으로 언급된 워드들, 그것의 파생어들, 및 유사한 취지의 워드들을 포함할 것이다. 도면들 1 및 2은 또한 XYZ 좌표 시스템을 참고로 하여 설명될 수 있어서, 도 1의 수평 방향은 X-축과 평행하고, 도 1의 수직 방향은 Y-축과 평행하고, 그리고 Z-축은 도 1의 평면에 직교한다. 도면 2의 축들은 도 2의 수평 방향은 X-축과 평행하고, 도 2의 수직 방향은 Z-축과 평행하고, 그리고 Y-축은 도 2의 평면에 직교하도록 배향된다.
- [0016] 플라즈마 챔버 (12)는 낮은 압력에서 공급 가스(feed gas)를 보유하기 위해 제공된 직사각형, 원통형 또는 보다 복잡한-형상의 인클로저(enclosure)일 수 있다. 플라즈마 챔버 (12)는 x 방향에서 3 미터의 전체 폭을 갖는 내부 공간을 정의하는 수직으로-연장된 (즉, 도 2의 z 방향에서 연장된) 측벽들 (38, 40, 42, 및 44)을 포함할 수 있다. 플라즈마 챔버 (12)는 회망하는 이온 빔, 예컨대 리본 이온 빔의 폭에 의존하여 더 적거나 또는 더 커질 수 있다. 길게된 조인트 솔더(joint shoulder)들(46 및 48)은 동일한 특성들, 형상 및 사이즈를 가질 수 있는 RF 윈도우 지지체들 (50, 52, 및 54)에 대하여 간격되고, 평행한 관계에서 플라즈마 챔버 (12)의 오픈 상부 말단에 걸쳐서 y 방향 (도 2)에서 연장될 수 있다. 페이스 플레이트 (34)는 플라즈마 챔버 (12)의 바닥 말단(bottom end)을 밀봉한다. 플라즈마 챔버 (12)의 전체 페이스 플레이트 (34)를 가로질러 연장될 수 있는 추출 개구 (36)는 와이드 이온 빔이 이하에서 설명될 플라즈마 챔버 (12)로부터 추출될 수 있는 개구를 제공할 수 있다. 추출 개구 (36)는 RF 이온 소스 (10)의 거의 전체 3 m 길이인 구멍(opening)일 수 있다. 일 실시예에서, 추출 개구 (36)는 이온 빔의 총 사이즈 및 y 방향의 크기에서 대략 직사각형의 구멍 3-30 밀리미터(mm) (즉, x 방향에서 3 미터(m))이다. 페이스 플레이트 (34)는 z 방향에서 3-10 mm 두께일 수 있고 추출 개구 (36)의 에지들은 빔 이온들이 플라즈마로부터 추출될 때 빔을 더 잘 형성하도록 구성될 수 있다. 측벽들 (38, 40, 42 및 44), 조인트 솔더들(46 및 48)은 알루미늄, 알루미늄 합금들, 또는 스테인리스 스틸로 형성될 수 있다. 페이스 플레이트는 텅스텐, 스테인리스 스틸, 흑연 또는 유전체 예컨대 알루미늄, 석영 또는 사파이어로 만들어질 수 있다. 플라즈마 챔버 안쪽에는 석영, 흑연, 실리콘 카바이드 또는 알루미늄 스프레이된(sprayed) 실리콘으로 만들어진 얇은 라이너(liner)들이 금속 플라즈마 챔버 벽들을 덮기 위해 사용될 수 있다.
- [0017] RF 윈도우들 (26, 28 및 30)은 평면 부재들일 수 있고 RF 윈도우 지지체들 (50, 52 및 54)의 형상에 유사한 수평 평면의 형상을 각각 가질 수 있다. RF 윈도우들 (26, 28, 및 30)은 미리 결정된 관계로 배열될 수 있다. 예를 들어, RF 윈도우들 (26, 28, 및 30)은 서로에 평행하게 놓여지게 배열될 수 있다. RF 윈도우들 (26, 28, 및 30)은 동일한 평면에 놓여질 수 있고 즉, 서로에 동일 평면의 관계(coplanar relationship)를 가질 수 있다. 실시예들은 이 상황에 제한되지 않는다. RF 윈도우들 (26, 28 및 30)은 RF 윈도우 지지체들 (50, 52 및 54)내에 마운트될 수 있고 그것들을 진공 밀봉할 수 있다. 예를 들어, RF 윈도우들 (26, 28 및 30)의 에지들은 측벽들 (38, 40, 42 및 44) 및 조인트 솔더들(46 및 48)의 수직 표면들에 형성된 오목부(recess)들 내에 자리될 수 있다. 대안적으로, RF 윈도우들 (26, 28 및 30)은 측벽들 (38, 40, 42 및 44) 및 조인트 솔더들(46 및 48)의 상부 표면들에 예컨대 접착제들 또는 기계적인 파스너들로 고정될 수 있는 것이 고려된다. 고온 O-링들 또는 다른 적절한 밀봉 부재가 그것들 사이에 진공 밀봉을 수립하기 위해 RF 윈도우들 (26, 28 및 30) 및 측벽들 (38, 40, 42 및 44) 및 조인트 솔더들(46 및 48)의 에지들 중간에 배치될 수 있는 것이 추가로 고려된다. RF 윈도우들 (26, 28 및 30)은 따라서 수직으로는 플라즈마 챔버 (12)의 내부 및 RF 안테나들 (20, 22 및 24) 중간에 (이하에서 설명됨), 수평 방위로 배치될 수 있다.
- [0018] RF 이온 소스 (10)의 대표적인 실시예가 그 내부에 배치된 세개의 개개의 RF 윈도우들 (26, 28 및 30)을 갖는 세개의 RF 윈도우 지지체들 (50, 52 및 54)과 함께 도면들 1 및 2에 도시되고, 각각의 RF 윈도우 (26, 28 및 30)는 1 미터 폭일 수 있다. 따라서, 선형 관계(linear relationship)로 배열된 RF 윈도우들 (26, 28, 30)의 단-대-단(end-to-end) 치수는 3 미터일 수 있다. 그러나, RF 이온 소스 (10)는 독립 RF 소스들, 예컨대 RF 소스들 (14, 16 및 18)로 제공되기 때문에, RF 윈도우 지지체들, RF 윈도우들, 또는 관련된 RF 안테나들 및 RF 소

스들의 수에 관한 제약은 없다. 게다가, RF 안테나들 (20, 22 및 24)은 다양한 구성들로 배열될 수 있다. 예를 들어, RF 안테나들 (20, 22 및 24)은 선형 플라스마 소스를 제공하기 위해 1-D 패턴 (즉, 1 로우(row)에 다수의 컬럼(column)들)로, 또는 큰 영역 이온 보조 증착을 위해 2-D 패턴 (즉, 다수의 로우들에 다수의 컬럼들)로 배열될 수 있다. 각각의 RF 안테나 (20, 22 및 24)는 독립적인 RF 체인 (즉, RF 제너레이터 + 매칭 네트워크(matching network) + RF 전압 평형 커패시터(voltage equilibration capacitor))에 의해 공급되기 때문에 1-D 기하학적 구조의 경우에 플라스마 소스 폭 (및 함축적으로 추출된 빔 폭) 및 2-D 기하학적 구조의 경우에 표면적은 이론적으로는 비제한적이다. 따라서 본 실시예들은 두개 상호간에 수직 방향들에서 수 미터로 연장되는 단면들을 갖는 이온 빔들을 생성할 수 있는 이온 소스들로 확장된다.

[0019] RF 윈도우들 (26, 28 및 30)은 이하에서 추가 설명될 RF 안테나들 (20, 22 및 24)로부터의 RF 에너지가 플라스마 챔버 (12) 내부의 공급 가스 (60)에 결합되게 하는 매체들이다. RF 윈도우들 (26, 28 및 30)은 한정되는 것은 아니지만, 알루미늄, 사파이어, 또는 석영을 포함하는 임의의 통상의 재료로 형성될 수 있고, 그것은 이런 커플링을 가능하게 한다. 비록 알루미늄 및 석영이 어떤 애플리케이션들에 대하여 바람직한 특성들을 제공하지만, 그것들은 상대적으로 낮은 열 전도도를 가지며 높은 동작 온도에서 플라스마 챔버 (12)의 측벽들 (38, 40, 42 및 44)과 진공 밀봉 장애들을 일으키기 쉬울 수 있다.

[0020] 도 2에 예시된 바와 같이, RF 소스들 (14, 16 및 18) 및 개개의 RF 안테나들 (20, 22 및 24)은 플라스마 챔버 (12) 내부의 낮은 압력 공급 가스 (60)에 효율적인 RF 에너지 커플링을 제공하기 위해 RF 윈도우들 (26, 28 및 30) 위에 배치될 수 있다. RF 안테나들 (20, 22 및 24)은 당해 기술 분야에서의 통상의 기술자들에 익숙한 도 1에 도시된 구불구불한 형상(serpentine shape)을 가질 수 있다. 그러나, RF 안테나들 (20, 22 및/또는 24)의 특정한 형상, 사이즈, 및 구성은 본 발명에 벗어남이 없이 변화될 수 있다. 예를 들어, 평평한 나선형의 다양한 RF 안테나들이 도 3에 도시된 것들과 같이 채용될 수 있다. 도 3 실시예에서 RF 이온 소스 (300)는 매칭 네트워크들 MN1, MN2 및 MN3 및 전압 평형 커패시터들 C1, C2, 및 C3를 통하여 개개의 평평한 나선형 RF 안테나들 (302, 304 및 306)에 결합된 RF 제너레이터들 rf1, rf2, 및 rf3를 포함한다.

[0021] 다시 도면들 1 및 2과 관련하여, RF 이온 소스 (10)의 동작 동안, 공급 가스 (60)는 플라스마 챔버 (12)의 둘레 주변에 고르게 간격된 가스 입구들 (32)를 통하여 플라스마 챔버 (12)의 내부로 공급된다. 공급 가스(feed gas)(60)는 일부 실시예들에서, 수소, 헬륨, 산소, 질소, 비소, 붕소, 인, 알루미늄, 인듐, 안티모니, 카보레인, 알칸, 또는 다른 p형 또는 n형 도펀트 함유 가스 혼합물일 수 있거나 또는 이들을 수용 또는 포함할 수 있다. RF 소스들 (14, 16 및 18)은 RF 안테나들 (20, 22 및 24)를 통하여 및 RF 윈도우들 (26, 28, 30)를 통하여 플라스마 챔버 (12)에 RF 파워를 공급하여 공급 가스 (60)의 도펀트-함유 가스 분자들을 해리 및 이온화하고 그렇게 함으로써 희망하는 이온의 종들을 생성한다. 그런다음 생성된 도펀트 이온들은 이어서 페이스 플레이트 (34)에 위치되거나 또는 그에 인접한 추출 전극들 (미도시)에 의해 플라스마 챔버 (12)로부터 추출되어 기관 (미도시)쪽으로 향하는 와이드 이온 빔 (64)을 형성한다. 도 2에 보다 분명하게 예시된 바와 같이, 플라스마는 따라서 단일 플라스마 챔버 (12) (즉, 챔버 (12)를 개개의 공간들로 나누는 벽들이 없다)에 독립적인 RF 소스들 (14, 16 및 18)에 의해 생성된다. 플라스마 소스 (미도시)를 둘러싸는 멀티커스프 자기장 구성 및 각각의 RF 소스 (14, 16 및 18)의 독립적인 파워공급은 이런 연장된 폭을 갖는 플라스마 챔버(예를 들어, 대표적인 실시예에서 3 미터)를 가로질러 플라스마 균일성을 가능하게 하는데 더 큰 유연성을 제공한다. 멀티커스프 자기장(multicusp magnetic)은 적절하게-위치된 영구 자석들에 의해 생성되고, 이온 추출 영역에서 보다 균일한 플라스마를 만드는데 사용될 수 있다.

[0022] 공급 가스 입구들 (32)이 플라스마 챔버 (12)의 둘레 주변에 고르게 분포되기 때문에, 플라스마 균일성을 확실하게 하기 위해 단지 남아있는 고려사항들은 조인트 솔더들(46 및 48)의 치수 (z 및 x 방향들 둘다에서), RF 안테나들 (20, 22 및 24)의 공간적인 분리에 의해 주어지는 국부적인 파워 증착 (즉, 세기), 및 RF 안테나들 (20, 22 및 24)간의 간섭 영향들이다. 각각의 이들 고려사항들이 차례로 이제 다루어질 것이다.

[0023] 약 3-4 eV의 전자 온도 및 약 $1-5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 의 전자 밀도를 갖는 전형적인 유도 결합 (ICP) 플라스마는 전자 충

돌 주파수 $\sim 1-5 \times 10^6 \text{ sec}^{-1}$, 및 결과적으로 플라스마 전도도 $\sigma = ne^2/m_e \nu_c \approx 2-6 \times 10^3 \Omega^{-1} m^{-1}$ 에 의해 특성화된다. 따라서, 13.56 MHz RF 구동 주파수(driving frequency) 및 낮은 동작 압력 (예를 들어, 수 mTorr)에 대

한, 플라스마는 $\delta = (2/\omega \mu_0 \sigma)^{1/2} \approx 2-3 \text{ cm}$ 의 침투 깊이(skin depth) (대부분의 RF 파워가 침전되는 RF 윈도우 아래 깊이)를 가질 것이다. 따라서 조인트 솔더들(46 및 48)이 z 방향에서 약 2-3 cm 보다 짧게 만들어진다면

안테나들 (20, 22 및 24)에 의해 방출된 RF 파워는 조인트 솔더들(46 및 48)의 하단 종단(lower termini)들보다 플라즈마 챔버 (12)에 더 깊이 침전될 것이기 때문에 조인트 솔더들은 플라즈마 챔버 (12)내 플라즈마의 균일성에 영향을 미치지 않을 것이라는 것이 이해된다. x 방향에서의 조인트 솔더들(46 및 48)의 치수는 O-링(O-ring)을 수용하는 적절한 공간을 제공하기 위해서 뿐만 아니라 RF 윈도우들 (26, 28 및 30)을 지지하기 위한 적절한 구조상의 강도를 제공하기 위해 2-2.5 cm일 수 있다. 이들 O-링은 온도 내성의 플루오르카본 고무로 만들어지고 RF 윈도우 지지체들 (50, 52 및 54)를 둘러싸는 홈들에 배치된다. O-링들은 RF 윈도우들 (26, 28 및 30)이 그것들 위에 놓여지도록 홈들 밖으로 1-3 mm 돌출하고 따라서, 챔버가 펌프 다운(pump down)될 때, 그것들은 플라즈마 챔버 진공 밀봉을 보장한다.

[0024] RF 안테나들 (20, 22 및 24)의 공간적인 분리에 관련하여, RF 안테나들 (20, 22 및 24)은 서로에 대하여 매우 근접하게 위치될 수 있지만, 예컨대 플라즈마 점화 단계 동안에 일어날 수 있는 고전압 상황들에서 RF 안테나들 (20, 22 및 24)간의 전기적 아킹(electrical arcing)을 방지하기 위해서 적어도 1.5 센티미터만큼 떨어져 간격 될 수 있다. 플라즈마 밀도에 비-균일성이 나타나기 시작할 두개의 인접한 안테나들간의 최대 분리 거리(maximum separation distance)는 약 3-4 플라즈마 침투 깊이(plasma skin depth)이다. 도 3 에 도시된 바와 같이, 각각의 RF 안테나들 (302), (304) 및 (306)은 적절한 RF 제너레이터 (rf1, rf2, rf3) 및 적절한 매칭 네트워크(MN1, MN2, MN3)과 함께 제공될 수 있다. RF 안테나들 (302, 304 및 306)을 따라서 전압의 균등 분포를 촉진시키기 위해서, 각각의 RF 안테나들의 "접지(grounded)" 레그(leg)들이 평형 커패시터 (C1-C3)와 제공될 수 있다. 양의 이온들을 추출하기 위해서 플라즈마 소스는 추출 파워 서플라이에 의해 보장되는 100 KV까지의 상승된 전기 전위에 있어야 한다. 그래서 전형적으로 그라운드 전극 및 억제 전극으로 구성되는 추출 전극 시스템은 플라즈마 챔버 및 전기 접지간의 전기 전위 강하(drop)에 동등한 에너지를 갖는 양의 이온들을 추출할 수 있다.

[0025] RF 안테나들 (20, 22 및 24) 또는 (302, 304 및 306)간의 누화 또는 간섭에 관하여, RF 소스들 (14, 16 및 18)이 동일한 구동 주파수에서 동작하도록 설정된다 하더라도 실제 동작 주파수들에서 작은 차이들이 여전히 존재할 수 있다는 것을 발명자들이 발견했다. 이것은 전형적인 RF 소스의 주파수 정확도가 약 $\pm 0.005\%$ 에 있기 때문이며, 이는 13.56 MHz 구동 주파수에 대하여 약 ± 700 Hz와 동등하다. 주파수들에서의 이 약간의 차이는 플라즈마에서 유도된 RF 전기장에서 바람직하지 않은 변조로 귀결될 수 있다. 예를 들어, 동일한 진폭이나 상이한 주파수들을 갖는 두개의 RF 파형들의 전기장은

$$Y_{1,2} = A \sin(\omega_{1,2}t + \phi_{1,2})$$

[0026] ,에 의해 설명될 수 있고 (1)

[0027] 여기서, A는 전기장의 진폭 (단순화를 위하여 둘모두의 파형들에 대하여 동일하게 취해짐), ω 맥동(pulsation)은 주파수 f에서 $2\pi f$ 와 같고, 및 ϕ 최초 위상이다. 그 결과로 생긴 RF 전기장은 따라서

$$Y_x = 2A \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t + \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t + \frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right)$$

[0028] 에 의해 주어진다 (2)

[0029] 그 결과로 생긴 정현파는 따라서 주파수 $\Delta f = f_1 - f_2$ 를 갖는 주기 함수로 변조된다. 이것은 5 Hz만큼 동작 주파수에서 다른 13.56 MHz의 두개의 파형들에 대하여 계산된 변조 효과들을 도시한 도4a에 예시된다. 커브 (402)는 변조된 결과 파형의 포락선을 표시하고 및 영역 (404)는 13.56 MHz 파형을 표시한다 (긴 시간 스케일상에서 선명하게 식별되지 않음).

[0030] 도 4b에 관련하여, 측정된 빔 프로파일들은 제 1 및 제 2 독립적인 RF 소스들에 대하여 도시되고, 둘모두의 소스들은 13.56 MHz에서 동작되고 800W 전달한다(도면의 명확성을 위하여 두개의 RF 소스들만의 동시 동작이 도시된다). 프로파일들은 빔의 전체 길이를 따라서 이온 빔 전류 측정을 획득하기 위해 x 방향에서 움직이는 이동하는 패러데이 컵에 의해 측정된다. 커브 (414)는 단지 제 1 RF 소스의 동작에 의해 발생된 빔 프로파일을 나타내고 커브 (416)는 단지 제 2 RF 소스의 동작에 의해 발생된 빔 프로파일을 나타낸다. 커브 (412)는 제 1 및 제 2 RF 소스들 둘모두의 동시 동작에 의해 발생된 빔 프로파일을 나타내고 특성, 및 바람직하지 않은, 변조 영향을 예시한다. 도 4b의 예에서, 전류는 x 방향 매 20-25 mm을 따라서 변동한다. 특별히, 전류는 약 20-25 mm의 거리들에 대하여 일부 영역들에서 약 75%까지 변동(fluctuate)한다. 빔 프로파일은 빔을 가로질러 일정한 속도에 움직이는 패러데이 컵으로 획득되기 때문에 이것은 주기적인 공간 변동이 아니라 주기적인 시간 변동 ("맥놀이 효과(wave beating effect)")이다. 다른 빔 프로파일을 가지고, 변동들은 동일한 공간 주기성을 보이지

만 피크들 및 계곡들은 상이한 x 위치들에 위치된다. 따라서, 가장 주의 깊게 디자인된 시스템들에서도 피할수 없는 다수의-RF-소스 이온 소스에 파워공급하기 위해 사용되는 상이한 RF 소스들간의 동작 주파수에서의 매우 작은 차이들은 시간의 함수로서 플라스마 밀도의 수락할 수 없는 변화로 귀결될 수 있고 결과적으로 시간 함수로서 및 함축적으로 이런 이온 소스의 타겟 표면에 위치 함수로서 이온 빔 전류 변화로 귀결된다.

[0031] 바람직하게는, 상이한 RF 소스들간의 RF 주파수에서의 매우 작은 차이를 배제하려고 하기 보다는 상이한 RF 소스들간의 주파수에서의 차이를 증가시키는 것이 앞서 언급한 문제를 배제할 수 있다는 것을 발명자들은 발견했다. 구체적으로, 발명자들은 상이한 RF 소스들에 의해 파워 공급되는 이온 소스에서의 전류 변화들을 줄이거나 배제하는데 효율적인 상이한 RF 소스들간의 RF 주파수 차이들의 범위를 식별하였다. 보다 상세하게는, 만약 RF 소스들이 예를 들어, 10 내지 100 kHz 만큼에 의해 다른 상이한 주파수들에서 운영하도록 설정된다면, RF 변조 효과는 관측되지만 매우 빠른, 예컨대 10 μ s이고, 그 결과로 생긴 빔 프로파일에서 플라스마 밀도 변조 효과들은 관측되지 않을 수 있다는 것을 본 발명자들은 발견하였다.

[0032] 도 4c는 100 마이크로초 동안 예시된 100 KHz만큼 동작 주파수에서 다른 13.56 MHz의 두개의 파형들에 대하여 계산된 변조 효과들을 예시하는 그래프이다; 커브 (422)는 변조된 결과 파형의 포락선이다. 13.56 MHz 파형이 커브 (422)내에 있고, 그렇게 긴 시간 스케일상에서 분명히 식별 가능하지 않지만 음영된 영역 (424)에 의해 암시된다. 커브 (422)의 작은 주기 때문에 (대략 10 마이크로초), 플라스마 밀도에 대한 또한 함축적으로 이온 빔 전류 균일성에 관한 상당한 매크로스코픽 영향이 없다.

[0033] 도 4d는 더 큰 레벨의 확대에서 도 4c의 그래프를 예시하는 그래프이다. 커브 (432)는 커브 (422)에 대응되는 포락선이고, 및 커브 (434)는 13.56 MHz 파형이다. 커브 (434)의 주기는 도 4d 에 마크된 것처럼 대략 73.75ns 이다.

[0034] 물리적으로 인접한 안테나에 결합된 제너레이터에 대하여 및 공칭 RF 주파수에 대하여 적어도 0.5% 그리고 1% 보다 작게 편이된 주파수에서 13.56 MHz 제너레이터를 동작시키는 것은 제너레이터가 적절하게 동작하는 것을 방해하지 않는다. 예를 들어, 반사된 파워의 양이 1.5 kW 포워드 파워(forward power)에 대하여 ~ 100W이다. 더욱이, 일단 운영 주파수가 선택된 후, 매칭 네트워크 유닛은 해당 주파수에 조정될 수 있어서 플라스마 임피던스는 제로(0) 반사 파워로 매칭될 것이다.

[0035] 상이한 파워 레벨들 (즉, 상이한 파형 진폭들) 및 상이한 주파수들에 운영하는 다수의 RF 시스템들의 경우에, 그 결과로 생긴 파형 진폭은 방정식 3에 의해 주어진다.

$$A_R^2 = \sum_{i=1}^n A_i^2 + \sum_{j>i} \sum_{i=1}^n A_i A_j \cos\left(\frac{\omega_j - \omega_i}{2} t + \frac{\phi_j - \phi_i}{2}\right) \quad (3)$$

[0036] 큰 “n” 값들에 대하여, 방정식 (3)의 오른쪽 측면의 제 2 항은 무시가능하고, 및 결과 진폭의 제곱은 대략 각각의 파형 진폭 A_i 의 제곱의 합이다. 독립 파형들 A_i 는 본질적으로 비간섭성(incoherent)이기 때문에 간섭 영향들이 생성되지 않는다. 약간 상이한 주파수들 (예를 들어, 10-100 KHz)에서 단지 소수의 RF 제너레이터들로 운영하는 실제 경우에 있어서 상이한 변조 패턴들의 랜덤 분포가 파형들의 비-간섭성에서 발생하는 비-균일성을 줄이기 때문에 주파수 변조의 효과는 무시할 수 있다.

[0037] 도 5 는 공통 플라스마 챔버에서 파워를 소비하고 동시에 동작하는 세개의 RF 소스들을 갖는 ICP 이온 소스(상기에서 설명된 본 발명의 대표적인 실시예에 유사한)에 대하여 획득된 측정 빔 프로파일을 도시한다. 이 예에서, 임의의 RF 소스는 13.56 MHz의 주파수에서 동작하도록 설정되었고 인접한 RF 소스들은 개별적으로 13.46 MHz 및 13.66 MHz에서 동작하도록 0.1 MHz 만큼씩 거기에 비하여 오프셋이 있다. 보여지는 것처럼, 변조 패턴이 관측되지 않을 수 있고 빔 균일성은 약 8%이다.

[0038] 요약에서, 본 발명의 RF 이온 소스(10)와 같은 RF 이온 소스들은 RF 신호 위상들의 조절 및 연속적인 모니터링을 요구함이 없이 매우 와이드 이온 빔을 생성하기 위해 다수의, 공간적으로-중첩 플라스마들 동작을 가능하게 한다. 추가하여, 유사한, 설사 약간 상이한 (RF 주파수 차이 $\leq 2\%$) RF 소스들의 동작, RF 주파수들은 각각의 RF 소스에 의해 발생된 플라스마 특성들이 동일하고 (예를 들어, RF 소스들 (14, 16 및 18)은 인접한 플라스마들간에 플라스마 밀도, 플라스마 전위 및 전자 온도에서 차이들이 없는 것을 나타내는 플라스마를 생성한다) 및 따라서 좋은 전체 균일성을 보여주는 것을 보장한다.

[0040] 본 출원에서 사용되는, 워드 “a” 또는 “an” 과 진행되는 단수로 나열된 엘리먼트 또는 단계는 배제가 명백하

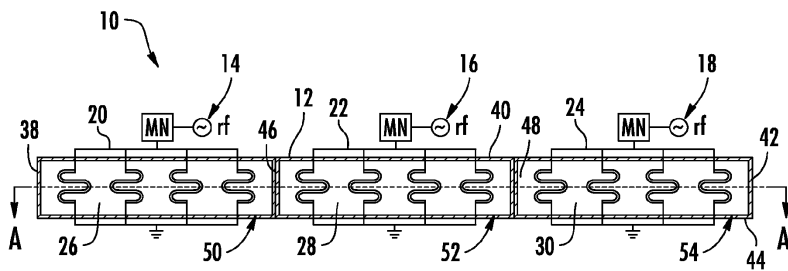
게 나열되지 않는 한 복수 엘리먼트들 또는 단계들을 배제하지 않은 것으로 이해되어야 한다. 더욱이, 본 발명의 “일 실시예”에 대한 언급은 또한 나열된 특징부들을 통합하는 추가의 실시예들의 존재를 배제하는 것으로 해석되도록 의도되지 않는다.

[0041]

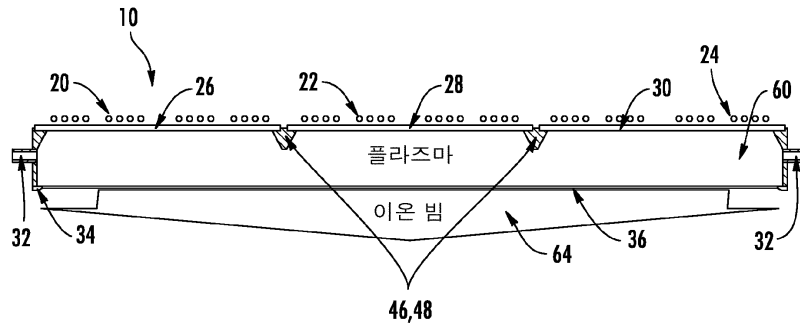
본 발명의 임의 실시예들이 본 출원에서 설명되었지만, 본 발명은 거기에 제한되는 것으로 의도되지 않고, 따라서 본 발명은 당해 기술분야가 허용하고 상세한 설명이 비슷하게 이해되는 광범위한 범위에 있는 것으로 의도된다. 따라서, 상기의 상세한 설명은 한정하는 것으로 해석되지 않아야 하고 단지 특정한 실시예들의 예증으로 해석되지 않아야 한다. 당해 기술분야의 통상의 기술자들은 본 출원에 첨부된 청구항들의 범위 및 취지 내에서 다른 수정예들을 구상할 것이다.

도면

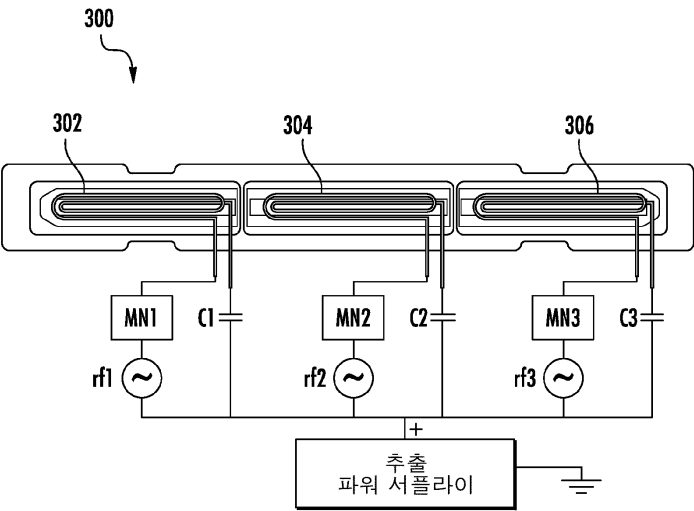
도면1



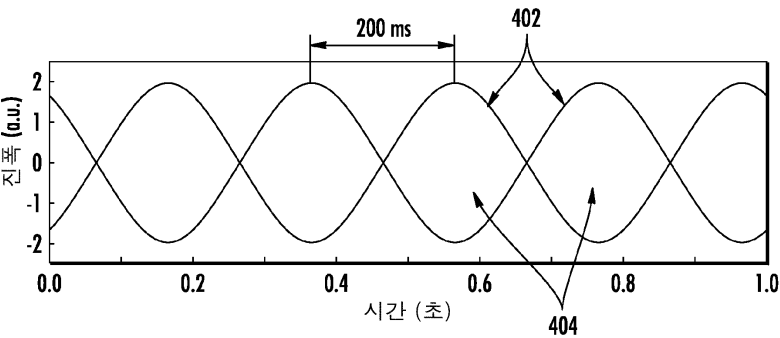
도면2



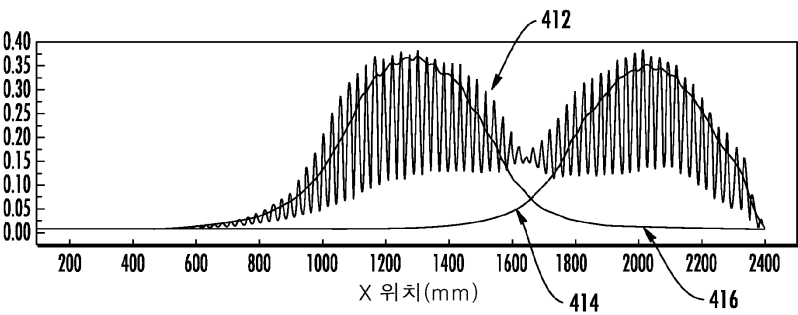
도면3



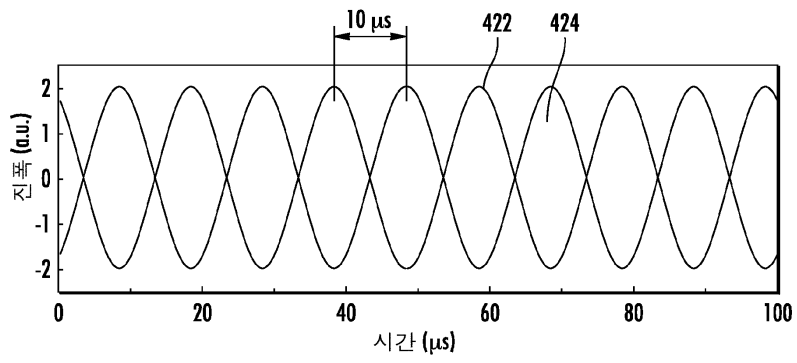
도면4a



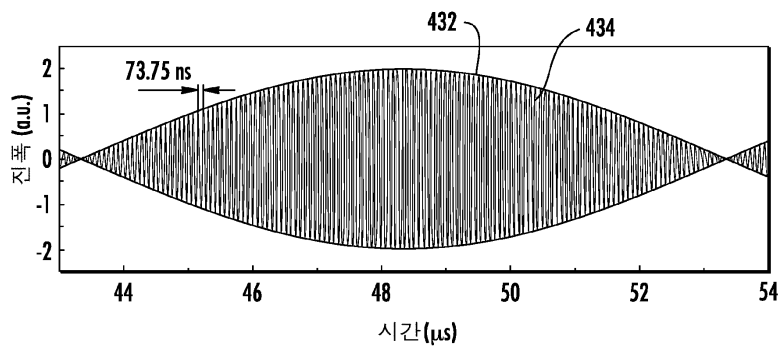
도면4b



도면4c



도면4d



도면5

