



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0067578
(43) 공개일자 2023년05월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/3266 (2013.01)
H01J 37/32082 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7045630
(22) 출원일자(국제) 2021년08월30일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2022년12월26일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/048276
(87) 국제공개번호 WO 2022/060562
국제공개일자 2022년03월24일
(30) 우선권주장
63/080,513 2020년09월18일 미국(US)

(71) 출원인
램 리써치 코퍼레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이
4650
(72) 발명자
파나고파울로스, 테오도로스
미국, 95032 캘리포니아, 로스 가토스, 힐브룩 드
라이브 136
마라크타노브, 알렉세이 엠.
미국, 94706 캘리포니아, 알바니, 피어스 스트리
트 555, #1532
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인인벤싱크

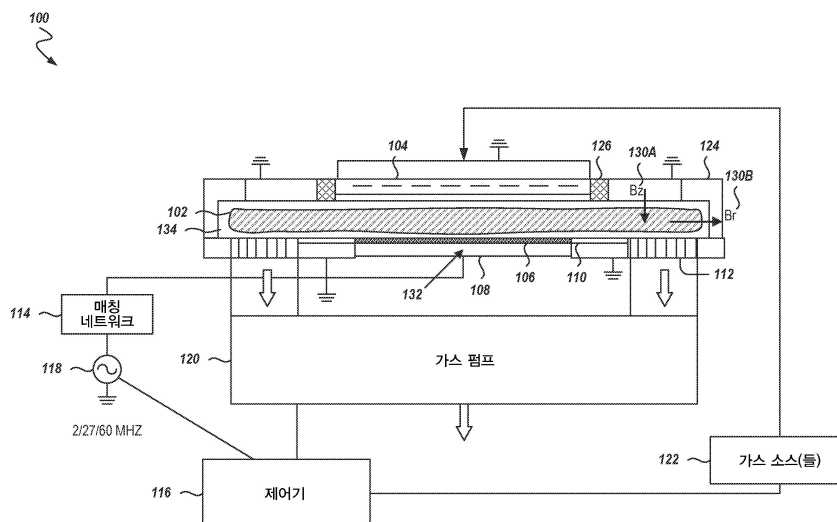
전체 청구항 수 : 총 23 항

(54) 발명의 명칭 자기장을 사용한 플라즈마 방전 균일도 제어

(57) 요약

자기장들을 사용하여 플라즈마 방전 균일도를 제어하기 위한 방법들, 시스템들, 장치들, 및 컴퓨터 프로그램들이 제공된다. 기판 프로세싱 장치는 기판을 프로세싱하기 위한 프로세싱 존을 갖는 진공 챔버를 포함한다. 장치는 진공 챔버와 연관된 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하기 위한 자기장 센서를 더 포함한다. 장치는 진공 챔버의 프로세싱 존을 통한 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장을 생성하기 위해 적어도 2 개의 자기장 소스들을 포함한다. 장치는 자기장 센서 및 적어도 2 개의 자기장 소스들에 커플링된 자기장 제어기를 포함한다. 자기장 제어기는 제 1 신호 및 제 2 신호에 기초하여 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장 중 하나 이상의 적어도 일 특성을 조정한다.

대표도



(72) 발명자

지, 빙

미국, 94588 캘리포니아, 플레젠튼, 가든 크릭 서클 2887

데 라 예라, 앤서니

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 윌포드 스트리트 39420

홀랜드, 존 피.

미국, 95126 캘리포니아, 산 호세, 캘러베라스 애비뉴 1565

팽, 동 우

미국, 94706 캘리포니아, 알바니, 카인스 애비뉴 412

명세서

청구범위

청구항 1

기관 프로세싱 장치에 있어서,

플라즈마를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 프로세싱 존을 포함하는 진공 챔버;

상기 진공 챔버와 연관된 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하도록 구성되는 자기장 센서로서, 상기 방사상 자기장은 상기 기관에 평행하게 되고 상기 축 방향 자기장에 직교하는, 상기 자기장 센서;

상기 진공 챔버의 상기 프로세싱 존을 통한 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장을 생성하도록 구성된 적어도 2 개의 자기장 소스들; 및

상기 자기장 센서 및 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들에 커플링된 자기장 제어기로서, 상기 제 1 신호 및 제 2 신호에 기초하여 상기 축 방향 보충 자기장 및 상기 방사상 보충 자기장 중 하나 이상의 적어도 일 특성을 조정하도록 구성되는, 상기 자기장 제어기를 포함하는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 자기장 센서는 상기 진공 챔버의 상기 프로세싱 존 내에 배치된 (place) 웨이퍼 센서인, 기관 프로세싱 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 웨이퍼 센서는 상기 프로세싱 존 내의 복수의 위치들에서 상기 축 방향 자기장 및 상기 방사상 자기장의 하나 이상의 파라미터들을 측정하도록 구성되는 자기장 센서들의 어레이를 포함하고; 그리고

상기 자기장 제어기는 상기 측정된 하나 이상의 파라미터들에 기초하여 상기 축 방향 보충 자기장 및 상기 방사상 보충 자기장의 상기 적어도 일 특성을 조정하는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 자기장 센서는 상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 크기 및 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 크기를 측정하도록 구성되는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 특성은 상기 축 방향 보충 자기장 및 상기 방사상 보충 자기장의 크기 및 방향 중 하나 이상을 포함하는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 적어도 2 개의 자기장 소스들은 서로 평행한 제 1 자기장 소스 및 제 2 자기장 소스를 포함하고, 그리고 상기 자기장 제어기는,

상기 축 방향 보충 자기장 및 상기 방사상 보충 자기장의 상기 크기 및 상기 방향 중 하나 이상을 조정하기 위해 상기 제 1 자기장 소스를 통한 전류 및 상기 제 2 자기장 소스를 통한 전류 중 하나 이상을 조정하도록 구성

되는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 자기장 제어기는,

상기 제 2 자기장 소스를 통한 상기 전류와 독립적으로 상기 제 1 자기장 소스를 통한 상기 전류를 조정하도록 구성되는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 자기장 제어기는,

상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 상기 크기 및 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 상기 크기의 비가 비 문턱 값에 도달할 때까지 상기 제 1 자기장 소스를 통한 상기 전류 및 상기 제 2 자기장 소스를 통한 상기 전류를 조정하도록 구성되는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 자기장 제어기는,

상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 상기 크기가 제 1 문턱 값에 도달하고 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 상기 크기가 제 2 문턱 값에 도달할 때까지 상기 제 1 자기장 소스를 통한 상기 전류 및 상기 제 2 자기장 소스를 통한 상기 전류를 조정하도록 구성되는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 축 방향 보충 자기장 및 상기 방사상 보충 자기장 중 하나 이상의 상기 적어도 일 특성은,

상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 각각에 있는 권선들의 수;

상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 제 1 자기장 소스로부터 상기 기관까지의 거리;

상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 제 2 자기장 소스로부터 상기 기관까지의 거리; 및

상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 사이의 거리 중 하나 이상을 포함하는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 2 개의 자기장 소스들은 복수의 코일들을 포함하고, 코일 각각은 복수의 권선들을 포함하는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 복수의 코일들은 상기 진공 챔버에 외부적으로 마운팅되는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 복수의 코일들 중 적어도 하나는 상기 진공 챔버에 내부적으로 마운팅되는, 기관 프로세싱 장치.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 복수의 코일들은 서로 평행하고 그리고 기판에 평행한 적어도 4 개의 코일들을 포함하고, 그리고 상기 자기장 제어기는,

상기 자기장 센서에 의해 측정된 상기 축 방향 보충 자기장 및 상기 방사상 보충 자기장 중 하나 이상의 크기에 기초하여, 상기 적어도 4 개의 코일들 각각을 통한 전류를 독립적으로 조정하도록 구성되는, 기판 프로세싱 장치.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 기판 프로세싱 장치는 상기 자기장 제어기에 커플링되고 상기 진공 챔버 내 상기 플라즈마의 밀도를 측정하도록 구성된 플라즈마 밀도 센서를 더 포함하고, 그리고 상기 자기장 제어기는,

상기 플라즈마의 상기 측정된 밀도에 기초하여, 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 각각을 통한 전류를 독립적으로 조정하도록 구성되는, 기판 프로세싱 장치.

청구항 16

진공 챔버를 사용하여 기판을 프로세싱하는 방법에 있어서,

진공 챔버의 프로세싱 존 내에서 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호를 검출하는 단계로서, 상기 프로세싱 존은 플라즈마를 사용하여 상기 기판을 프로세싱하기 위한, 상기 제 1 신호를 검출하는 단계;

상기 프로세싱 존 내에서 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하는 단계로서, 상기 방사상 자기장은 상기 기판에 평행하고 상기 축 방향 자기장에 직교하는, 상기 제 2 신호를 검출하는 단계;

상기 프로세싱 존 내의 복수의 위치들에서 상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 크기 및 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 크기를 결정하는 단계; 및

적어도 2 개의 자기장 소스들을 사용하여, 상기 제 1 신호 및 상기 제 2 신호의 상기 결정된 크기에 기초하여 상기 진공 챔버의 상기 프로세싱 존을 통해 축 방향 보충 자기장, 및 방사상 보충 자기장을 생성하는 단계를 포함하는, 기판 프로세싱 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 축 방향 보충 자기장 및 상기 방사상 보충 자기장의 크기 및 방향 중 하나 이상을 조정하기 위해, 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 적어도 하나를 통한 전류를 조정하는 단계를 더 포함하는, 기판 프로세싱 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 상기 크기 및 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 상기 크기의 비가 비 문턱 값에 도달할 때까지, 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 상기 적어도 하나를 통한 상기 전류를 독립적으로 조정하는 단계를 더 포함하는, 기판 프로세싱 방법.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 상기 크기가 제 1 문턱 값에 도달하고 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 상기 크기가 제 2 문턱 값에 도달할 때까지, 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 상기 적어도 하나를 통한 상기 전류를 독립적으로 조정하는 단계를 더 포함하는, 기판 프로세싱 방법.

청구항 20

머신 판독 가능 (machine-readable) 저장 매체에 있어서,

머신에 의해 실행될 때, 상기 머신으로 하여금,

진공 챔버의 프로세싱 존 내 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호를 검출하는 단계로서, 상기 프로세싱 존은 플라즈마를 사용하여 기판을 프로세싱하기 위한, 상기 제 1 신호를 검출하는 단계;

상기 프로세싱 존 내에서 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하는 단계로서, 상기 방사상 자기장은 상기 기판에 평행하고 상기 축 방향 자기장에 직교하는, 상기 제 2 신호를 검출하는 단계;

상기 프로세싱 존 내 복수의 위치들에서 상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 크기 및 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 크기를 결정하는 단계; 및

적어도 2 개의 자기장 소스들을 사용하여, 상기 제 1 신호 및 상기 제 2 신호의 상기 결정된 크기에 기초하여 상기 진공 챔버의 상기 프로세싱 존을 통해 축 방향 보충 자기장, 및 방사상 보충 자기장을 생성하는 단계를 포함하는 동작들을 수행하게 하는, 인스트럭션들을 포함하는, 머신 판독 가능 저장 매체.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 동작들은,

상기 축 방향 보충 자기장 및 상기 방사상 보충 자기장의 크기 및 방향 중 하나 이상을 조정하기 위해 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들의 제 1 자기장 소스를 통한 전류 및 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들의 제 2 자기장 소스를 통한 전류 중 하나 이상을 조정하는 단계를 더 포함하는, 머신 판독 가능 저장 매체.

청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 동작들은,

상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 상기 크기와 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 상기 크기의 비가 비 문턱 값에 도달할 때까지, 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들을 통한 상기 전류를 독립적으로 조정하는 단계를 더 포함하는, 머신 판독 가능 저장 매체.

청구항 23

제 21 항에 있어서,

상기 동작들은,

상기 축 방향 자기장을 나타내는 상기 제 1 신호의 상기 크기가 제 1 문턱 값에 도달하고 상기 방사상 자기장을 나타내는 상기 제 2 신호의 상기 크기가 제 2 문턱 값에 도달할 때까지 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들을 통한 상기 전류를 독립적으로 조정하는 단계를 더 포함하는, 머신 판독 가능 저장 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 명세서에 개시된 청구 대상은 일반적으로 CCP (capacitively coupled plasma) 또는 ICP (inductively coupled plasma) 기판 제작과 같은, 플라즈마 기반 기판 제작시 자기장을 사용하여 에칭 레이트 및 플라즈마 균일도를 제어하기 위한 방법들, 시스템들, 및 머신 판독 가능 저장 매체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 반도체 기판 프로세싱 시스템들은 에칭, 물리적 기상 증착 (physical vapor deposition; PVD), 화학적 기상 증착 (chemical vapor deposition; CVD), 플라즈마 강화된 화학적 기상 증착 (plasma-enhanced CVD; PECVD), 원자층 증착 (atomic layer deposition; ALD), 플라즈마 강화된 원자층 증착 (plasma-enhanced ALD; PEALD), 펄싱된 증착층 (pulsed deposition layer; PDL), 플라즈마 강화된 펄싱된 증착층 (plasma-enhanced pulsed

deposition layer; PEPDL), 및 레지스트 (resist) 제거를 포함하는 기법들에 의해 반도체 기관들을 프로세싱하는데 사용된다. 반도체 기관 프로세싱 장치의 일 타입은 상부 전극 및 하부 전극들을 포함하는 진공 챔버를 포함하는 CCP를 사용하는 플라즈마 프로세싱 장치이고, 반응 챔버 내 반도체 기관들을 프로세싱하기 위해 플라즈마로 프로세스 가스를 여기하도록 (excite) 전극들 사이에 무선 주파수 (radio frequency; RF) 전력이 인가된다. 또 다른 타입의 반도체 기관 프로세싱 장치는 플라즈마 프로세싱 장치 ICP이다.

[0003] 기관들을 제작하기 위한 CCP 기반 진공 챔버 또는 ICP 기반 진공 챔버와 같은, 반도체 기관 프로세싱 시스템들에서, 기관 중심에서의 에칭 균일도 및 이온 틸팅 (tilt) 은 약한 자기장들에 대한 감도를 나타내는, 플라즈마 밀도 균일도에 의해 영향을 받는다. 예를 들어, CCP 기반 진공 챔버 및 ICP 기반 진공 챔버에서의 플라즈마 밀도 균일도 (5 내지 10 Gauss의 자기장 강도와 연관될 수도 있는) 는 자화된 (magnetize) 챔버 컴포넌트들과 연관된 자기장들뿐만 아니라 (0.25 내지 0.65 Gauss의 자기장 강도를 가질 수도 있는) 지구 자기장 또는 (0.4 내지 0.5 Gauss의 자기장 강도를 가질 수도 있는) 다른 주변 자기장들을 포함하는 외부 자기장들에 의해 영향을 받을 수 있다.

[0004] 현재, 특히 기관의 중심에서 그리고 기관 표면에 걸쳐 플라즈마 균일도를 튜닝하는 것이 과제이다. 챔버 내 접지 전극의 치수, 가스 플로우 및 화학 물질 플로우 또는 전달된 무선 주파수 (RF) 의 주파수 함량을 변화시키는 것이 플라즈마 균일도를 제어하기 위해 사용되는 주요 요인들이다. 그러나, 프로세싱 챔버 컴포넌트들의 자화, 뿐만 아니라 외부 자기장들에 대한 노출은 플라즈마 밀도 균일도에 영향을 주고 그리고 제작 위치 내에서 챔버마다, 뿐만 아니라 상이한 제작 위치들에서 챔버들 사이에서 크게 가변한다. 하드웨어 설계의 개선들 및 프로세스 노브들의 활용은 지금까지 엄격한 플라즈마 균일도 요건들에 대한 업계의 요구들을 해결했다 (address). 그럼에도 불구하고, 균일도 사양들은 점점 더 요구되고 있고 전체 기관 표면에 걸쳐 매우 균일한 밀도들을 달성하기 위해 부가적인 기법들이 필요하다. 본 개시는, 플라즈마 밀도 균일도를 위한 종래의 기법들과 연관된 단점들을 해결하려고 한다.

[0005] 본 명세서에 제공된 배경기술 기술 (description) 은 본 개시의 맥락을 일반적으로 제시한다. 이 섹션에 기술된 정보는 이하에 개시된 청구 대상에 대한 일부 맥락을 당업자에게 제공하도록 제시된다는 것에 유의해야 하고, 인정된 종래 기술로 간주되지 않아야 한다. 보다 구체적으로, 이 배경기술 섹션에 기술된 정도의 본 명세서에 명명된 발명자들의 업적, 뿐만 아니라 출원 시 종래 기술로서 달리 인정되지 않을 수도 있는 본 기술의 양태들은 본 개시에 대한 종래 기술로서 명시적으로나 암시적으로 인정되지 않는다.

발명의 내용

[0006] 기관 제작 시 자기장을 사용하여 에칭 레이트 및 플라즈마 균일도를 제어하기 위한 방법들, 시스템들, 및 컴퓨터 프로그램들이 제시된다. 일 일반적인 양태는 기관 프로세싱 장치를 포함한다. 장치는 플라즈마를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 프로세싱 존을 포함하는 진공 챔버를 포함한다. 장치는 진공 챔버와 연관된 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하도록 구성된 자기장 센서를 더 포함한다. 방사상 자기장은 기관에 평행하고 축 방향 자기장에 직교하는 자기장이다. 장치는 진공 챔버의 프로세싱 존을 통한 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장을 생성하도록 구성된 적어도 2 개의 자기장 소스들을 더 포함한다. 장치는 자기장 센서 및 적어도 2 개의 자기장 소스들에 커플링된 자기장 제어기를 더 포함한다. 자기장 제어기는 제 1 신호 및 제 2 신호에 기초하여 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장 중 하나 이상의 적어도 일 특성을 조정하도록 구성된다.

[0007] 일 일반적인 양태는 진공 챔버를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 방법을 포함한다. 방법은 진공 챔버의 프로세싱 존 내에서 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호를 검출하는 단계를 포함하고, 프로세싱 존은 플라즈마를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 것이다. 방법은 프로세싱 존 내 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하는 단계를 더 포함한다. 방사상 자기장은 기관에 평행하고 축 방향 자기장에 직교하는 자기장이다. 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기는 프로세싱 존 내의 복수의 위치들에서 결정된다. 방법은 적어도 2 개의 자기장 소스들을 사용하여 제 1 신호 및 제 2 신호의 결정된 크기에 기초하여 진공 챔버의 프로세싱 존을 통해 축 방향 보충 자기장, 및 방사상 보충 자기장을 생성하는 단계를 더 포함한다.

[0008] 일 일반적인 양태는 머신에 의해 실행될 때, 머신으로 하여금, 진공 챔버의 프로세싱 존 내에서 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호를 검출하는 단계로서, 프로세싱 존은 플라즈마를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한, 제 1 신호 검출 단계를 포함하는 동작들을 수행하게 하는 인스트럭션들을 포함하는 비 일시적인 머신 판독 가능 저장 매체를 포함한다. 프로세싱 존 내 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호가 검출된다. 방사상 자기장은 기

판에 평행하고 축 방향 자기장에 직교하는 자기장이다. 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기는 프로세싱 존 내의 복수의 위치들에서 결정된다. 적어도 2 개의 자기장 소스들을 사용하여 제 1 신호 및 제 2 신호들의 결정된 크기에 기초하여 진공 챔버의 프로세싱 존을 통해 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장이 생성된다.

도면의 간단한 설명

[0009]

첨부된 도면들 중 다양한 도면들은 단지 본 개시의 예시적인 실시 예들을 예시하고 그 범위를 제한하는 것으로 간주될 수 없다.

도 1은 일부 예시적인 실시 예들에 따른, CCP를 사용하여 기판들을 제작하기 위한, 에칭 챔버와 같은 진공 챔버를 예시한다.

도 2는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 자기 차폐 구조체에 의해 둘러싸인 진공 챔버 및 에칭 레이트와 플라즈마 균일도의 제어를 개선하기 위한 축 방향 자기장 및 방사상 자기장의 인가를 예시한다.

도 3a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, CCP를 갖는 프로세싱 존 내 보충 축 방향 자기장 및 보충 방사상 자기장을 갖는 진공 챔버의 사시도를 예시한다.

도 3b는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 도 3a의 진공 챔버의 평면도를 예시한다.

도 3c는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 도 3a의 진공 챔버의 측면도를 예시한다.

도 4 및 도 5는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 진공 챔버 내 플라즈마 균일도에 대한 축 방향 자기장 효과를 예시한다.

도 6은 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 진공 챔버 내 플라즈마 균일도에 대한 방사상 자기장 효과를 예시한다.

도 7, 도 8, 및 도 9는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 진공 챔버 내 플라즈마 균일도에 대한 축 방향 자기장 및 방사상 자기장의 결합된 효과를 예시한다.

도 10a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장에 대한 자기장 소스로서 사용된 단일-코일을 갖는 진공 챔버의 사시도를 예시한다.

도 10b는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 자기장 소스에 대한 마운팅 옵션들을 예시하는 도 10a의 진공 챔버의 측면도이다.

도 11a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장에 대한 자기장 소스로서 사용된 단일-코일을 갖는 진공 챔버를 예시한다.

도 11b는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 도 11a의 진공 챔버 내에서 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 크기와 방사상 크기에 대한 축 방향 크기의 비를 예시하는 그래프이다.

도 12a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장에 대한 결합된 자기장 소스로서 사용되는 2 개의 코일들을 갖는 진공 챔버를 예시한다.

도 12b는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 코일들 중 하나를 통한 턴들 (turns) 의 수 및 전류가 고정될 때, 도 12a에서 2 개의 코일들로부터 발생하는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 크기를 예시하는 그래프이다.

도 12c는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 두 코일들을 통한 전류는 고정되지만 코일들 중 하나에서 턴들의 수가 변할 때, 도 12a의 2 개의 코일들로부터 발생하는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 크기를 예시하는 그래프이다.

도 13a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장에 대한 결합된 자기장 소스로서 사용되는 4 개의 코일들을 갖는 진공 챔버를 예시한다.

도 13b는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 방사상 크기에 대한 축 방향 크기의 비 뿐만 아니라 도 13a의 4 개의 코일들로부터 발생하는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 크기를 예시하는 그래프이다.

도 14는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 플라즈마 균일도를 개선하기 위해 하나 이상의 보충 자기장을 구성하

는 상이한 타입들의 자기 센서들과 자기장 제어를 구비한 진공 챔버를 예시한다.

도 15는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 진공 챔버를 사용하여 기판을 프로세싱하기 위한 방법의 플로우 차트이다.

도 16은 하나 이상의 예시적인 방법 실시 예들이 구현될 수도 있고 또는 하나 이상의 예시적인 실시 예들이 제어될 수도 있는 머신의 일 예를 예시하는 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 예시적인 방법들, 시스템들, 및 컴퓨터 프로그램들은 기관 제작 장비에서 자기장들을 사용하여 에칭 레이트 및 플라즈마 균일도를 제어하는 것을 목적으로 한다 (direct). 예들은 단지 가능한 변형들을 예시한다 (typify). 달리 명시적으로 언급되지 않는 한, 컴포넌트들 (components) 및 기능들은 선택 가능하고 (optional), 결합될 수도 있거나 세분화될 수도 있고, 그리고 동작들이 순서가 가변할 수도 있거나 결합될 수도 있거나 세분화될 수도 있다. 이하의 기술에서, 설명의 목적들을 위해, 예시적인 실시 예들의 완전한 이해를 제공하기 위해 수많은 구체적 상세들이 제시된다. 그러나, 본 청구 대상이 이들 구체적인 상세들 없이 실시될 수도 있다는 것은 당업자에게 자명할 것이다.
- [0011] 기관 표면에 걸친 기관 균일도는 에칭 프로세스 조건들에 의존하기 때문에 제어하기 어렵다. 조건들이 변하면, 균일도도 변할 수도 있다. (접지 전극 치수를 조정하는 것과 같이) 플라즈마 균일도를 제어하기 위한 정적 솔루션들은 넓은 범위의 프로세스 조건들에 걸쳐 효율적으로 수행되지 않을 수도 있다. 프로세스 파라미터들을 수반하는 솔루션들은 균일도를 해결하도록 (address) 수정될 때 원치 않은 부작용들을 야기할 수도 있다.
- [0012] 본 명세서에서 논의된 기법들은 진공 챔버 내에서 플라즈마 균일도를 제어하기 위해 축 방향 자기장 및 방사상 자기장을 사용한다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 용어 "축 방향 자기장"은 진공 챔버 내에서 기관의 표면에 직교하는 자기장을 나타낸다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 용어 "방사상 자기장"은 진공 챔버 내에서 기관의 표면에 평행한 자기장을 나타낸다. 개시된 기법들은 결합된 방사상 자기장 및 축 방향 자기장의 다양성 및 유효성에 기초한다. 보다 구체적으로, 방사상 자기장은 기관에 걸쳐 플라즈마 밀도를 향상시키는 한편, 축 방향 자기장은 기관 중심에서 플라즈마 밀도를 억제하여, 에치 하이 프로파일을 야기한다 (예를 들어, 기관 반경 r 이 80 mm보다 클 때). 이와 관련하여, 방사상 자기장 및 축 방향 자기장 모두의 조합은 기관 프로세싱 장치 (예컨대 CCP 기반 기관 프로세싱 장치 또는 ICP 기반 기관 프로세싱 장치)의 진공 챔버 내 기관의 전체 표면에 걸쳐 플라즈마 밀도를 제어하기 위해 사용될 수도 있다.
- [0013] 일부 양태들에서 그리고 개시된 기법들을 사용하여, 기존의 방사상 자기장 및 기존의 축 방향 자기장이 검출될 수도 있고, 챔버 내 발생하는 방사상 자기장 및 축 방향 자기장이 목표된 문턱 값들에 도달하도록 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장이 생성될 수도 있다. 보다 구체적으로, 하나 이상의 자기장 센서들은 기존의 방사상 자기장 및 기존의 축 방향 자기장에 기초하는, 진공 챔버의 프로세싱 존 내 잔류 자기장 (ΔB)을 검출하도록 사용될 수도 있다. 예를 들어, 자기 센서들은 진공 챔버 내에서 검출된 잔류 자기장을 형성하는 축 방향 자기장의 크기 (B_z) 및 방사상 자기장의 크기 (B_r)를 검출할 수도 있다. 적어도 2 개의 자기장 소스들은 발생하는 축 방향 자기장 및 방사상 자기장의 크기들이 문턱 값들에 도달하거나 크기들의 비가 목표된 문턱 값에 도달하게 조정되도록 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장을 생성하는데 사용될 수도 있다. 기관 표면에 걸친 플라즈마 균일도를 개선하기 위한 방사상 자기장 및 축 방향 자기장을 구성하기 위한 다양한 기법들 및 옵션들이 도 2 내지 도 16과 관련하여 예시된다.
- [0014] 도 1은 일 실시 예에 따른, CCP를 사용하여 기관들을 제작하기 위한 진공 챔버 (100) (예를 들어, 에칭 챔버)를 예시한다. 두 전극들 사이에 전기장을 여기하는 것은 진공 챔버 내에서 무선 주파수 (radio frequency; RF) 가스 방전을 획득하기 위한 방법들 중 하나이다. 오실레이팅 (oscillating) 전압이 전극들 사이에 인가될 때, 획득된 방전은 CCP (Capacitive Coupled Plasma) 방전으로 지칭된다.
- [0015] 플라즈마 (102)가 전자-중성자 (electron-neutral) 충돌들에 의해 유발된 다양한 분자들의 해리에 의해 생성된 광범위한 다양한 화학적으로 반응성 부산물들을 획득하기 위해 안정한 피드스톡 (feedstock) 가스들을 활용하여 생성될 수도 있다. 에칭의 화학적 양태는 중성 가스 분자들 및 에칭될 표면의 분자들을 갖는 중성 가스 분자들의 해리된 부산물들의 반응 및 펌핑 제거될 (pump away) 수 있는 휘발성 분자들을 생성하는 것을 수반한다. 플라즈마가 생성될 때, 기관 표면으로부터 재료를 제거하기에 충분한 에너지로 기관 표면에 부딪히도록 양이온들은 챔버 벽들로부터 플라즈마를 분리하는 공간-전하 시스 (sheath)를 가로질러 플라즈마로부터 가속화된다. 이는 이온 충돌 (bombardment) 또는 이온 스퍼터링 (sputtering)으로 공지된다. 그러나, 일부 산업용 플라스

마들은 순수하게 물리적인 수단에 의해 표면을 효율적으로 에칭하기에 충분한 에너지를 갖는 이온들을 생성하지 않는다.

[0016] 제어기 (116) 가 RF 생성기 (118), 가스 소스들 (122), 및 가스 펌프 (120) 와 같은 챔버 내 상이한 엘리먼트들을 제어함으로써 진공 챔버 (100) 의 동작을 관리한다. 일 실시 예에서, CF_4 및 C_4F_8 과 같은 플루오로카본 가스들은 이들의 이방성 및 선택적인 에칭 성능들을 위해 유전체 에칭 프로세스에 사용되지만, 본 명세서에 기술된 원리들은 다른 플라즈마 생성 가스들에 적용될 수 있다. 플루오로카본 가스들은 보다 작은 분자 라디칼 및 원자 라디칼을 포함하는 화학적으로 반응성 부산물들로 용이하게 해리된다. 이들 화학적으로 반응성 부산물들은 유전체 재료를 에칭한다.

[0017] 진공 챔버 (100) 는 상단 전극 (104) 및 하단 전극 (108) 을 갖는 프로세싱 챔버를 예시한다. 상단 전극 (104) 은 접지될 수도 있거나 RF 생성기 (미도시) 에 커플링될 (couple) 수도 있고, 하단 전극 (108) 은 매칭 네트워크 (114) 를 통해 RF 생성기 (118) 에 커플링된다. RF 생성기 (118) 는 하나 또는 복수의 (예를 들어, 2 또는 3) 상이한 RF 주파수들로 RF 전력을 제공한다. 특정한 동작을 위해 진공 챔버 (100) 의 목표된 구성에 따라, 3 개의 RF 주파수들 중 적어도 하나는 턴온될 (turn on) 수도 있거나 턴오프될 (turn off) 수도 있다. 도 1에 도시된 실시 예에서, RF 생성기 (118) 는 예를 들어 2 MHz, 27 MHz 및 60 MHz 주파수들을 제공하도록 구성되지만, 다른 주파수들이 또한 가능하다.

[0018] 진공 챔버 (100) 는 가스 소스(들) (122) 에 의해 제공된 프로세스 가스를 진공 챔버 (100) 내로 입력하기 위한 상단 전극 (104) 상의 가스 샤워헤드, 및 가스로 하여금 가스 펌프 (120) 에 의해 진공 챔버 (100) 로부터 펌핑되게 하는 천공된 한정 (confinement) 링 (112) 을 포함한다. 일부 예시적인 실시 예들에서, 가스 펌프 (120) 는 터보 분자 (turbomolecular) 펌프이지만, 다른 타입들의 가스 펌프들이 활용될 수도 있다.

[0019] 기관 (106) 이 진공 챔버 (100) 내에 존재할 때, 기관 (106) 의 표면 상의 균일한 에칭을 위해 플라즈마 (102) 의 하단 표면에서 균일한 RF 장 (field) 이 있도록 실리콘 포커스 링 (110) 이 기관 (106) 옆에 위치된다. 도 1의 실시 예는 상단 전극 (104) 이 대칭 RF 접지 전극 (124) 에 의해 둘러싸인 트라이오드 반응기 (triode reactor) 구성을 도시한다. 절연체 (126) 는 상단 전극 (104) 으로부터 접지 전극 (124) 을 격리하는 유전체이다. ICP 기반 구현 예들을 포함한, 진공 챔버 (100) 의 다른 구현 예들이 또한 개시된 실시 예들의 범위를 변경하지 않고 가능하다.

[0020] 예를 들어, 기관 (106) 은, (예를 들어, 100 mm, 150 mm, 200 mm, 300 mm, 450 mm, 또는 보다 큰 직경을 갖는), 예를 들어, 원소-반도체 재료들 (예를 들어, 실리콘 (Si) 또는 게르마늄 (Ge)) 또는 화합물-반도체 재료들 (예를 들어, 실리콘 게르마늄 (SiGe) 또는 갈륨 비소 (GaAs)) 을 포함하는 웨이퍼들을 포함할 수 있다. 부가적으로, 예를 들어, 다른 기관들은 (반도체 재료들이 도포될 수도 있는) 석영 또는 사파이어와 같은 유전체 재료들을 포함한다.

[0021] RF 생성기 (118) 에 의해 생성된 주파수 각각은 기관 제작 프로세스에서 특정한 목적을 위해 선택될 수도 있다. 도 1의 예에서, 2 MHz, 27 MHz 및 60 MHz로 제공된 RF 전력들을 사용하여, 2 MHz RF 전력은 이온 에너지 제어를 제공하고, 27 MHz 전력 및 60 MHz 전력은 플라즈마 밀도 및 화학 물질의 해리 패턴들의 제어를 제공한다. RF 전력 각각이 턴온되거나 턴오프될 수도 있는, 이 구성은 기관들 또는 웨이퍼들 상의 초 저 (ultra-low) 이온 에너지를 사용하는 특정한 프로세스들, 및 이온 에너지가 낮아야 하는 (예를 들어, 700 또는 200 eV 미만) 특정한 프로세스들 (예를 들어, 로우-k (low-k) 재료들에 대한 소프트 에칭) 을 인에이블한다 (enable).

[0022] 또 다른 실시 예에서, 60 MHz RF 전력은 초 저 에너지들 및 매우 높은 밀도를 얻기 위해 상단 전극 (104) 상에서 사용된다. 이 구성은 정전 척 (ESC) 표면 상에서 스퍼터링을 최소화하는 동안, 기관 (106) 이 진공 챔버 (100) 내에 있지 않을 때, 고밀도 플라즈마를 사용하여 챔버 세정을 가능하게 한다. ESC 표면은 기관 (106) 이 존재하지 않을 때 노출되고, 표면 상의 모든 이온 에너지가 방지되어야 하며, 이는 하단 2 MHz 전력 공급부 및 27 MHz 전력 공급부가 세정 동안 오프 (off) 될 수도 있는 이유이다.

[0023] 일부 양태들에서, 진공 챔버 (100) 는, 지구 자기장 또는 다른 주변 자기장들 (예를 들어, 도 2에 예시된 바와 같은 호이스트 (hoist) 와 같은 진공 챔버의 자화된 (magnetize) 컴포넌트들로부터의 자기장들) 과 같은, 외부 자기장들에 노출된다. 진공 챔버 (100) 내 발생하는 잔류 자기장은 특히 프로세싱 존 (134) 내의 기관 (106) 의 중심 영역 (132) 주변에 에칭 레이트 및 플라즈마 균일도에 부정적으로 영향을 줄 수도 있기 때문에 바람직하지 않다. 일 예시적인 실시 예에서, 크기 B_z 를 갖는 축 방향 자기장 (130A) 및 크기 B_r 를 갖는 무선 자기장 (130B) 은 크기 B_z/B_r 의 비가 목표된 문턱 값에 도달하도록 프로세싱 존 (134) 내에 도입될 수도 있고, 이는 프

로세싱 존 (134) 내 기관 (106) 의 표면에 걸친 플라즈마 균일도를 용이하게 한다. 축 방향 자기장 및 방사상 자기장을 생성하거나 기관 표면에 걸친 플라즈마 균일도를 튜닝하기 위한 다양한 기법들이 도 2 내지 도 16과 관련하여 논의된다.

[0024] 도 2는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 자기 차폐 구조체에 의해 둘러싸인 진공 챔버 및 에칭 레이트와 플라즈마 균일도의 제어를 개선하기 위한 축 방향 자기장 및 방사상 자기장의 인가를 예시한다. 도 2를 참조하면, 도 1의 진공 챔버 (100) 와 같은, 진공 챔버는 외부 자기장의 효과들을 감소시키기 위해 자기 차폐 구조체 (200) 에 의해 둘러싸일 수도 있다.

[0025] 일 예시적인 실시 예에서, 자기 차폐 구조체 (200) 는 상단 차폐부 (210) 및 하단 차폐부 (218) 를 포함할 수 있고, 차폐부 각각은 도 2에 도시된 바와 같이 복수의 차폐 서브-부분들을 포함할 수도 있다. 예를 들어, 상단 차폐부 (210) 는 차폐 서브-부분들 (212, 214, 216, 및 217) 을 포함할 수 있다. 하단 차폐부 (218) 는 차폐 서브-부분들 (220, 222, 및 224) 을 포함할 수 있다. 일부 양태들에서, 자기 차폐 구조체 (200) 는 RF 컴포넌트들 및 통신 링크들, 환기, 가스 전달, 히터들, 고전압 클램프들, 기관 전달 메커니즘들 등을 수용하기 위한 개구부들과 같은, 진공 챔버에 의해 사용된 다양한 설비들을 수용하기 위한 하나 이상의 개구부들 (228) 을 포함할 수 있다.

[0026] 일 예시적인 실시 예에서, 자기 차폐 구조체 (200) 는 적어도 40 mil의 두께를 갖는 고 투과성 재료로부터 제작될 수 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 자기 차폐 구조체 (200) 의 다양한 차폐 서브-부분들은 진공 챔버의 다양한 표면들에 볼트로 고정될 (bolt) 수 있다 (또는 다른 수단을 통해 단단히 (securely) 부착될 수 있다).

[0027] 일 예시적인 실시 예에서, 차폐 서브-부분 (224) 은 CCP를 사용하여 프로세싱 존으로부터 기관의 전달 및 제거를 위해 사용되는, 진공 챔버 개구부 (226) 를 둘러싸는 터널로서 형성될 수 있다.

[0028] 자기 차폐 구조체 (200) (예를 들어, 진공 챔버 설비들을 수용하기 위한 하나 이상의 개구부들 (228)) 의 결합들로 인해, 잔류 자기장 (202) 은 자기 차폐 구조체 (200) 아래에 그리고 자화된 챔버 컴포넌트들 (예를 들어, 자화된 호이스트 (230)) 로부터의 자기장들을 포함하는 외부 자기장의 결과로서 진공 챔버 (100) 내에 존재할 수 있다. 예시적인 실시 예에서, 잔류 자기장 (208) 의 효과들을 상쇄하고 (counteract) (예를 들어, 특정한 크기들의 비로 발생하는 방사상 자기장 및 축 방향 자기장 달성) 기관 표면에 걸친 플라즈마 균일도를 튜닝하도록 (크기 Bz를 갖는) 축 방향 보충 자기장 (204) 및 (크기 Br을 갖는) 방사상 보충 자기장 (206) 과 같은, 하나 이상의 보충 자기장들이 진공 챔버 (100) 내에서 (예를 들어, 도 12a 및 도 13a와 관련하여 개시된 기법들을 사용하여) 생성될 수도 있다.

[0029] 도 3a는 일 예시적인 실시 예에 따른, CCP를 갖는 프로세싱 존 내 잔류 자기장을 갖는 진공 챔버 (302) 의 사시도 (300) 를 예시한다. 도 3a를 참조하면, 진공 챔버 (302) 는 제 1 외부 자기장 (306) 및 제 2 외부 자기장 (308) 과 같은, 외부 자기장들에 노출될 수 있고, 프로세싱 존 (304) (예를 들어, 진공 챔버 (302) 내부에 CCP로 충전된 볼륨) 내에 잔류 자기장 (309) 을 집합적으로 형성한다. 잔류 자기장 (309) 은 (크기 Bz를 갖는) 축 방향 자기장 (316) 및 (크기 Br을 갖는) 방사상 자기장 (318) 에 의해 형성될 수도 있다.

[0030] 예시적인 실시 예에서, 프로세싱 존 (304) 내에서 기관 표면에 걸친 플라즈마 균일도에 대한 잔류 자기장 (309) 의 효과들은 대응하는 크기 Bzs 및 크기 Brs를 갖는 축 방향 보충 자기장 (320) 및 방사상 보충 자기장 (322) 을 포함하는 보충 자기장을 도입함으로써 완화될 수 있다. (예를 들어, 잔류 자기장 (309) 및 축 방향 보충 자기장 (320) 및 방사상 보충 자기장 (322) 을 포함하는 보충 자기장을 포함하는) 프로세싱 존 (304) 내 발생하는 자기장은 프로세싱 존 (304) 내 기관 표면에 걸쳐 보다 큰 플라즈마 균일도를 발생시키도록 구성될 수도 있다. 보다 구체적으로, 복수의 자기장 소스들 (예를 들어, 도 12a 및 도 13a와 관련하여 논의된 바와 같이) 은 축 방향 보충 자기장 (320) 및 방사상 보충 자기장 (322) 의 목표된 크기들의 비가 달성되도록 보충 자기장들을 생성하도록 사용될 수도 있다. 도 4 내지 도 9는 방사상 자기장 및 축 방향 자기장 모두의 조합이 프로세싱 존 내에서 기관의 전체 표면에 걸친 플라즈마 밀도를 제어할 수 있다는 것을 예시한다. 이와 관련하여, 복수의 자기장 소스들은 이들의 크기 비 (예를 들어, Bz/Br) 가 기관 표면에 걸쳐 목표된 플라즈마 균일도를 달성하기 위해 조정될 수도 있도록 축 방향 자기장 및 방사상 자기장을 생성하는데 사용될 수 있다.

[0031] 도 3b는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 도 3a의 진공 챔버 (302) 의 평면도를 예시한다. 도 3c는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 도 3a의 진공 챔버 (302) 의 측면도를 예시한다. 도 3c를 참조하면, 진공 챔버 (302) 는 프로세싱 존 (304) 내에서 기관을 프로세싱하는 것과 관련하여 사용되는 다양한 설비들 (314) (예를 들어, RF 컴포넌트들 및 통신 링크들, 가스 전달 메커니즘들, 히터들, 고전압 클램프들, 기관 전달 메커니즘, 등) 뿐

만 아니라 상단 플레이트 (312) 를 포함할 수 있다. 상단 플레이트 (312) 는 가스 플로우를 핸들링하기 위한 열-커플러들 (thermo-couplers) 및 보조 (auxiliary) 컴포넌트들, 온도 제어를 위한 전력, 가스 진공 설비들, 등과 연관된 기계적 컴포넌트들을 포함할 수 있다.

[0032] 예시적인 실시 예에서, 상단 플레이트 (312) 또는 설비들 (314) 은 진공 챔버 (302) 내 잔류 자기장에 대항하고 (counter) 기관 표면에 걸친 플라스마 균일도 동안 목표된 크기들의 비 B_z/B_r 를 달성하도록 하나 이상의 보충 자기장들 (예를 들어, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장) 을 생성할 수 있는 적어도 하나의 자기장 소스를 마운팅하기 위해 사용될 수도 있다.

[0033] 도 4 및 도 5는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 진공 챔버 내 플라스마 균일도에 대한 축 방향 자기장 효과를 예시한다. 도 4 및 도 5를 참조하면, 300 W 및 60 MHz의 RF 전력이 진공 챔버의 하단 전극 (예를 들어, 진공 챔버 (100) 의 하단 전극 (108)) 에 공급될 때 축 자기장 효과들의 그래프들 (400, 402, 404, 406, 408, 410, 및 500) 이 예시된다. 그래프 (400) 는 자기장이 진공 챔버 (100) 에 인가되지 않을 때 (예를 들어, 자기장은 크기가 0 가우스 또는 0 G임) 플라스마 분포를 예시한다. 그래프들 (402 내지 410 및 500) 은 0.25 G (그래프 (402)), 0.5 G (그래프 (404)), 1 G (그래프 (406)), 2 G (그래프 (408)), 3 G (그래프 (410)) 및 10 G (그래프 (500)) 의 각각의 크기를 가지는 축 방향 자기장이 진공 챔버 (100) 내에 인가될 때 플라스마 균일도를 예시한다. 도 4 및 도 5에서 알 수 있는 바와 같이, 진공 챔버 내 플라스마 분포는 인가된 축 방향 자기장의 크기가 증가함에 따라 변화한다.

[0034] 도 5의 그래프 (504) 는 크기 0 G, 0.25 G, 0.5 G, 1 G, 2 G, 3 G, 및 10 G의 축 방향 자기장이 인가될 때 진공 챔버 (100) 의 중심선 (502) 에 걸친 중간-값 플라스마 밀도를 예시한다. 그래프 (504) (뿐만 아니라 그래프들 (400 내지 410) 및 그래프 (500)) 에서 알 수 있는 바와 같이, 플라스마 분포는 기관 중심 근처의 더 높은 것 (0 G에서) 으로부터 기관에 걸쳐 보다 균일한 분포로 (예를 들어, 0.25 G에서), 기관 예지 근처의 더 높은 것 (예를 들어, 1 G 내지 10 G의 크기들) 으로 시프트한다 (shift). 축 방향 자기장을 인가하는 것은 상부 전극 및 하부 전극에 전자 손실 레이트를 증가시키는 한편 방사상 방향으로 전자 이동도를 감소시킨다. 기관 예지 근방에서 보다 높은 전기장들의 존재 (프린징 효과) 로 인해, 전자들은 그 위치 근방에서 플라스마 밀도의 피크를 생성하는 영역 내에 한정된다. 이와 관련하여, 축 방향 자기장을 인가함으로써, 기관 중심 (예를 들어, 챔버 중심선 (502)) 근방의 밀도가 억제되는 한편, 기관 예지 근방의 밀도는 향상된다 (예를 들어, 감소된 전자 이동도로 인해 인접한 반경으로의 제한된 전자 확산으로 인해).

[0035] 도 6은 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 진공 챔버 내 플라스마 균일도에 대한 방사상 자기장 효과를 예시한다. 도 6을 참조하면, 300 W 및 60 MHz의 RF 전력이 진공 챔버의 하단 전극 (예를 들어, 진공 챔버 (100) 의 하단 전극 (108)) 에 공급될 때 방사상 자기장 효과들의 그래프들 (600, 602, 및 604) 이 예시된다. 그래프 (600) 는 자기장이 진공 챔버 (100) 에 인가되지 않을 때 (예를 들어, 자기장은 크기가 0 가우스 또는 0 G임) 플라스마 분포를 예시한다. 그래프들 (602 및 604) 은 (그래프 (602) 에서) 0.25 G의 크기 및 (그래프 (604) 에서) 0.5 G의 각각의 크기들을 갖는 방사상 자기장이 진공 챔버 (100) 내에 인가될 때 플라스마 균일도를 예시한다. 도 6의 그래프 (606) 는 크기 0 G, 0.25 G, 및 0.5 G의 방사상 자기장이 인가될 때 진공 챔버 (100) 의 중심선에 걸친 중간-값 플라스마 밀도를 예시한다. 그래프 (604) 에서 알 수 있는 바와 같이, 방사상 자기장은 0.5 G의 크기에서 플라스마 밀도를 약간 상승시킨다. 이와 관련하여, 기관 표면에 평행한 방사상 자기장을 인가하는 것은 상부 전극들 및 하부 전극들에 대한 전자 손실을 감소시킬 수 있다. 손실 레이트의 감소는 증가된 벌크 플라스마 밀도를 발생시킨다. 결과적으로, 방사상 자기장의 강도를 조정하는 것은 목표된 범위의 값들로 플라스마 밀도를 맞춤하기 (tailoring) 위해 사용될 수도 있다.

[0036] 도 7, 도 8, 및 도 9는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 진공 챔버 내 플라스마 균일도에 대한 축 방향 자기장 및 방사상 자기장의 결합된 효과를 예시한다.

[0037] 도 7을 참조하면, 300 W 및 60 MHz의 RF 전력이 진공 챔버의 하단 전극 (예를 들어, 진공 챔버 (100) 의 하단 전극 (108)) 에 공급될 때 결합된 자기장 효과들 (예를 들어, 축 방향 자기장과 방사상 자기장 모두의 조합) 의 그래프들 (700, 702, 704, 및 706) 이 예시된다. 그래프 (700) 는 자기장이 진공 챔버 (100) 에 인가되지 않을 때 (예를 들어, 자기장은 크기가 0 가우스 또는 0 G임) 플라스마 분포를 예시한다. 그래프 (702) 는 크기 0.25 Gr을 갖는 방사상 자기장이 인가될 때 (Gr은 방사상 자기장에 대한 가우스 측정 값) 플라스마 균일도를 예시한다. 그래프 (704) 는 크기 0.25 Gz를 갖는 축 방향 자기장이 인가될 때 (Gz는 축 방향 자기장에 대한 가우스 측정 값) 플라스마 균일도를 예시한다. 그래프 (706) 는 크기 0.25 Gr을 갖는 방사상 자기장 및 크기 0.25 Gz를 갖는 축 방향 자기장이 진공 챔버 내에 인가될 때 플라스마 균일도를 예시한다. 그래프 (708) 는 크

기 0 G, 0.25 Gr, 0.25 Gz, 및 0.25 Gz와 함께 크기 0.25 Gr의 자기장이 인가될 때 진공 챔버 (100) 의 중심선에 걸친 중간-갭 플라즈마 밀도를 예시한다.

[0038] 도 8을 참조하면, 300 W 및 60 MHz 의 RF 전력이 진공 챔버의 하단 전극 (예를 들어, 진공 챔버 (100) 의 하단 전극 (108)) 에 공급될 때 결합된 자기장 효과들 (예를 들어, 축 방향 자기장과 방사상 자기장 모두의 조합) 의 그래프들 (800, 802, 804, 및 806) 이 예시된다. 그래프 (800) 는 자기장이 진공 챔버 (100) 에 인가되지 않을 때 (예를 들어, 자기장은 크기가 0 가우스 또는 0 G임) 플라즈마 분포를 예시한다. 그래프 (802) 는 크기 0.5 Gr을 갖는 방사상 자기장이 인가될 때 플라즈마 균일도를 예시한다. 그래프 (804) 는 크기 0.5 Gz를 갖는 축 방향 자기장이 인가될 때 플라즈마 균일도를 예시한다. 그래프 (806) 는 크기 0.5 Gr을 갖는 방사상 자기장 및 크기 0.5 Gz를 갖는 축 방향 자기장이 진공 챔버 내에 인가될 때 플라즈마 균일도를 예시한다. 그래프 (808) 는 크기 0 G, 0.5 Gr, 0.5 Gz, 및 0.5 Gz와 함께 0.5 Gr의 자기장이 인가될 때 진공 챔버 (100) 의 중심선에 걸친 중간-갭 플라즈마 밀도를 예시한다.

[0039] 도 9를 참조하면, 300 W 및 60 MHz의 RF 전력이 진공 챔버의 하단 전극 (예를 들어, 진공 챔버 (100) 의 하단 전극 (108)) 에 공급될 때 결합된 자기장 효과들 (예를 들어, 축 방향 자기장과 방사상 자기장 모두의 조합) 의 그래프들 (900, 902, 904 및 906) 이 예시된다. 그래프 (900) 는 자기장이 진공 챔버 (100) 에 인가되지 않을 때 (예를 들어, 자기장은 0 가우스 또는 0 G임) 플라즈마 분포를 예시한다. 그래프 (902) 는 크기 0.5 Gr을 갖는 방사상 자기장 및 크기 0.25 Gz를 갖는 축 방향 자기장이 인가될 때 플라즈마 균일도를 예시한다. 그래프 (904) 는 크기 0.25 Gr를 갖는 방사상 자기장 및 크기 0.5 Gz를 갖는 축 방향 자기장이 인가될 때 플라즈마 균일도를 예시한다. 그래프 (906) 는 크기 0.5 Gr을 갖는 방사상 자기장 및 크기 0.5 Gz를 갖는 축 방향 자기장이 진공 챔버 내에 인가될 때 플라즈마 균일도를 예시한다. 그래프 (908) 는 크기 0 G, 0.25 Gz와 함께 0.5 Gr, 0.5 Gz와 함께 0.25 Gr, 및 0.5 Gz와 함께 크기 0.5 Gr의 자기장이 인가될 때 진공 챔버 (100) 의 중심선에 걸친 중간-갭 플라즈마 밀도를 예시한다.

[0040] 도 4 내지 도 9의 그래프 데이터에 기초하여, 방사상 자기장 및 축 방향 자기장 모두를 인가하는 것은 축 방향 자기장 또는 방사상 자기장의 개별적인 인가와 연관된 상기 언급된 경향들을 밸런싱할 수 있고, 기관 중심 또는 기관 에지 근방에서 증가하는 플라즈마 밀도 변화들을 위한 튜닝 노브를 제공한다. 이와 관련하여, 축 방향 자기장과 방사상 자기장의 크기들의 비 B_z/B_r 를 조정함으로써, 플라즈마 균일도가 진공 챔버 내에서 기관 표면에 걸쳐 튜닝될 수도 있다. 예시적인 실시 예에서, 비 B_z/B_r 를 제어하는 것은 도 12a 내지 도 13b와 관련하여 논의된 바와 같이, 복수의 자기장 소스들의 전류 (또는 다른 특성들) 를 개별적으로 제어함으로써 달성될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 기존의 자기장들 (예를 들어, 잔류 자기장) 이 이미 진공 챔버 내에 존재할 때, 잔류 자기장과 연관된 축 방향 자기장 및 방사상 자기장의 크기가 결정되고, 그리고 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장은 방사상 및 축 방향 컴포넌트들의 목표된 크기들 (예를 들어, 크기들 B_z 및 B_r) 을 갖는 발생하는 (예를 들어, 결합된) 자기장이 달성되도록 생성될 수도 있다.

[0041] 도 10a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 축 방향 자기장 및 방사상 자기장에 대한 자기장 소스로서 사용되는 단일-코일을 갖는 진공 챔버 (1002) 의 사시도를 예시한다. 도 10a를 참조하면, 진공 챔버 (1002) 는 진공 챔버의 프로세싱 존 내의 위치 (1008) 에서 측정된 잔류 자기장 (1003) 을 경험할 수도 있다. 일부 양태들에서, 자기장 소스 (1004) (예를 들어, 단일-코일) 는 진공 챔버 (1002) 내에 보충 자기장 (1006) 을 생성하도록 구성될 수도 있다. 보충 자기장 (1006) 은 크기 B_z 를 갖는 축 방향 자기장 (1010) 및 크기 B_r 를 갖는 방사상 자기장 (1012) 을 포함할 수도 있다. 보충 자기장의 하나 이상의 특성들 (예를 들어, 코일 (1004) 에 대한 전류, 턴들 (turns) 의 수, 등) 은 진공 챔버 내에서 플라즈마 분포의 균일도를 조정하도록 구성될 수도 있다.

[0042] 일 예시적인 실시 예에서, 잔류 자기장 (1003) 은 위치 (1008) 에 또는 위치 (1008) 근방에 배치된 자기장 센서에 의해 검출되고 측정될 수도 있다. 잔류 자기장들을 검출하도록 사용될 수 있는 예시적인 자기장 센서들은 도 14와 관련하여 예시된다. 부가적으로, (예를 들어, 도 14에 예시된 바와 같이) 자기장 제어기는 보충 자기장 (1006) 의 하나 이상의 특성들을 조정하도록 사용될 수도 있다. 예를 들어, 자기장 제어기는 코일 (1004) 의 전류 (예를 들어, 직류 (direct current; DC)) 를 조정할 수도 있고, 이에 따라 보충 자기장 (1006) 의 크기 (및 크기 B_z 와 크기 B_r 에 대응하는) 를 변화시킨다. 일부 양태들에서, 진공 챔버 내에서 균일한 플라즈마 분포가 달성되도록 잔류 자기장 (1003) 의 크기와 결합된 보충 자기장 (1006) 의 크기가 목표된 크기 B_z 또는 B_r 를 발생시키도록 전류가 조정될 수도 있다. 다른 양태들에서, 자기장 제어기는 목표된 총 B_z 및/또는 B_r 이 챔버 내에서 달성되도록 상이한 특성들 (예를 들어, 턴들의 수, 챔버 중심선까지의 거리, 등) 을 조정할 수도 있다.

- [0043] 도 10b는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 자기장 소스 (1004) 에 대한 마운팅 옵션들을 예시하는 도 10a의 진공 챔버 (1002) 의 측면도이다. 도 10b를 참조하면, 일 예시적인 실시 예에서, 자기장 소스 (1004) (예를 들어, 코일) 는 내부적으로, 진공 챔버 (1002) 내에, 그리고 프로세싱 존 (1014) 에 근접하게 마운팅될 수도 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 코일 (1004) 은 진공 챔버 (1002) 의 상단 플레이트 (1016) 에 고정된 페테스탈 (1018) 상에 마운팅될 수도 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 코일 (1004) 은 또한 연결부들 (1020) 을 통해 진공 챔버 (1002) 의 내부 표면 (예를 들어, 도 10b에 예시된 바와 같은 상단 표면) 에 마운팅될 수도 있다.
- [0044] 일 예시적인 실시 예에서, 진공 챔버 (1002) 는 자기 차폐 구조체 (200) 와 같은 자기 차폐 구조체 내에 둘러싸일 수도 있고, 코일 (1004) 은 자기 차폐 구조체 내에 고정될 수도 있지만 진공 챔버 (1002) 외부에 (예를 들어, 자기 차폐 구조체의 내부 표면 상에) 고정될 수도 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 코일 (1004) 은 자기 차폐 구조체 및 진공 챔버 (1002) 의 외부에 배치될 수도 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 복수의 코일들은 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장 (예를 들어, 도 12a 및 도 13a에 예시된 바와 같이) 을 생성하도록 자기장 소스들로서 사용될 수도 있고, 코일 각각은 상이하게 포지셔닝될 수도 있다 (예를 들어, 진공 챔버 내부 또는 외부에 포지셔닝될 수도 있다).
- [0045] 도 11a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장에 대한 자기장 소스로서 사용되는 단일-코일 (1108) 을 갖는 진공 챔버 (1102) 의 도면 (1100A) 을 예시한다. 도 11a를 참조하면, 단일-코일 (1108) 은 크기 B_z 를 갖는 축 방향 보충 자기장 (1110) 및 크기 B_r 을 갖는 방사상 보충 자기장 (1112) 에 대한 소스로서 사용된다.
- [0046] 도 11b는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 도 11a의 진공 챔버 내 축 방향 보충 자기장의 크기 및 방사상 보충 자기장의 크기와 방사상 크기에 대한 축 방향 크기의 비를 예시하는 그래프 (1100B) 이다.
- [0047] 페테스탈 (1104) 상에 배치된 기관 (1106) 의 기관 프로세싱 동안, 단일-코일 (1108) 이 활성화되어 축 방향 보충 자기장 (1110) 및 방사상 보충 자기장 (1112) 을 발생시킨다. 축 방향 보충 자기장 (1110) 의 크기는 (기관 (1106) 의 중간 지점에 더 가까운) 위치 S에서 보다 (단일-코일 (1108) 에 더 가까운) 위치 A에서 더 높다. 그래프 (1100B) 에 예시된 바와 같이, B_z 는 (300 mm 직경 기관에 대해) 기관 중심 근방에서 약 3 G부터 기관 에지 근방에서 약 2.1 G까지 다양하다. 방사상 보충 자기장 (1112) 의 크기 B_r 은 기관 중심 근방에서 약 0.1 G부터 기관 에지 근방에서 약 1.5 G까지 다양하다. 기관 에지 근방에서 B_z/B_r 의 비는 약 1.5이다.
- [0048] 일 예시적인 실시 예에서, 단일-코일 (1108) 의 위치 (예를 들어, 진공 챔버 (1102) 내부 또는 외부), 진공 챔버의 상단 표면에 대한 단일-코일의 거리 H (또는 기관 (1106) 에 대한 단일 코일의 거리), 단일 코일 (1108) 을 통한 전류, 또는 단일 코일의 다른 특성들은 기관 표면에 걸친 플라즈마 균일도를 튜닝하기 위해 B_z/B_r 비의 상이한 진폭을 달성하도록 가변할 수도 있다 (예를 들어, 진공 챔버의 셋업 동안 또는 프로세싱 동안 동적으로). 그러나, 단일-코일 (1108) 의 임의의 특성들의 변화는 B_z 및 B_r 의 비례적인 변화들을 발생시키는 한편, 비 B_z/B_r 은 변화되지 않은 채로 남는다.
- [0049] 일 예시적인 실시 예에서, 진공 챔버에서 기관 표면에 걸친 보다 최적의 플라즈마 균일도 및 비 B_z/B_r 의 튜닝 가능성을 달성하도록, 복수의 자기장 소스들 (예를 들어, 적어도 2 개의 자기장 소스들) 이 진공 챔버 내에서 축 방향 자기장 및 방사상 자기장을 생성하도록 사용될 수도 있고, 자기장 소스들의 프로세싱 특성들은 개별적으로 (예를 들어, 셋업 시간에 또는 기관 프로세싱 동안 동적으로) 조정될 수도 있다. 복수의 자기장 소스들을 사용하는 예시적인 실시 예들이 도 12a 내지 도 13b와 관련하여 논의된다.
- [0050] 도 12a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장에 대해 결합된 자기장 소스로서 사용되는 2 개의 코일들 (예를 들어, 코일들 (1204 및 1206)) 을 갖는 진공 챔버 (1202) 의 도면 (1200A) 을 예시한다. 도 12a를 참조하면, 코일들 (1204 및 1206) 은 크기 B_z 를 갖는 축 방향 보충 자기장 (1214) 및 크기 B_r 을 갖는 방사상 보충 자기장 (1212) 에 대한 결합된 소스로서 사용된다.
- [0051] 도 12a에 예시된 바와 같이, 기관 (1210) 은 진공 챔버 (1202) 내의 페테스탈 (1208) 상에 배치된다. 코일 (1204) 은 진공 챔버 (1202) 의 상단 표면으로부터 H1의 거리에 배치되고 코일 (1206) 은 진공 챔버 (1202) 의 하단 표면으로부터 H2의 거리에 배치된다. 코일들 (1204 및 1206) 이 모두 진공 챔버 (1202) 외부에 있는 것으로 예시될지라도, 본 개시는 이와 관련하여 제한되지 않고 임의의 코일들 (1204 및 1206) 은 진공 챔버 (1202) 의 내부 또는 외부에 배치될 수도 있다.
- [0052] 페테스탈 (1208) 상에 배치된 기관 (1210) 의 기관 프로세싱 동안, 코일들 (1204 및 1206) 은 활성화되어 축 방향 보충 자기장 (1214) 및 방사상 보충 자기장 (1212) 을 발생시킨다. 도 12b는 일부 예시적인 실시 예들에 따

른, 코일들 중 하나를 통한 전류 및 턴들의 수가 고정될 때, 2 개의 코일들 (1204 및 1206) 로부터 발생하는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장 (1214 및 1212) 의 크기를 예시하는 그래프 (1200B) 이다. 보다 구체적으로, 그래프 (1200B) 는 코일 (1206) 이 40 개의 턴들 및 전류 10 A로 고정되는 한편, 코일 (1204) 을 통한 전류가 1 A에서 5 A로 가변할 때 크기들 B_z 및 B_r 을 예시한다.

[0053] 도 12c는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 두 코일들 모두를 통한 전류는 고정되지만 코일들 중 하나에서 턴들의 수는 변할 때, 도 12a 의 2 개의 코일들 (1204 및 1206) 로부터 발생하는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장 (1214 및 1212) 의 크기를 예시하는 그래프 (1200C) 이다. 보다 구체적으로, 그래프 (1200C) 는 코일 (1204) 이 40 개의 턴들 및 전류 5 A로 고정될 때 크기들 B_z 및 B_r 을 예시하고, 코일 (1206) 은 10 A의 전류를 갖고 40 개 내지 80 개 턴들 사이에서 가변한다.

[0054] 도 12b 및 도 12c에서 알 수 있는 바와 같이, 코일 (1206) 이 10 A 및 40 개 턴들로 고정되면, B_z 는 코일 (1204) 에 대해 전류 5 A에서 B_r 과 거의 같다. 부가적으로, 코일 (1206) 의 턴들이 80으로 증가된다면 (또는 하부 코일 (1206) 의 전류가 20 A로 증가된다면), B_r 크기는 더 감소될 수도 있다.

[0055] 일 예시적인 실시 예에서, 코일들 (1206 및 1204) 의 위치 (예를 들어, 진공 챔버 (1202) 내부 또는 외부), 진공 챔버의 대응하는 상단 표면 및 하단 표면들에 대한 거리들 H_1 및 H_2 (또는 기관 (1210) 에 대한 코일들 (1204 및 1206) 의 각각의 거리들), 코일들 (1204 및 1206) 중 각각을 통한 전류 (또는 코일들의 임의의 다른 프로세싱 특성) 는 기관 표면에 걸친 최적의 튜닝 플라즈마 균일도를 위해 상이한 B_z/B_r 비를 달성하도록 (예를 들어, 진공의 셋업 동안 또는 프로세싱 동안 동적으로 자기장 제어기 (1418) 에 의해) 코일 각각에 대해 개별적으로 가변될 수도 있다.

[0056] 도 13a는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장에 대한 결합된 자기장 소스로서 사용되는 4 개의 코일들 (예를 들어, 코일들 (1302, 1304, 1306, 및 1308)) 을 갖는 진공 챔버 (1310) 의 도면 (1300A) 을 예시한다. 도 13a를 참조하면, 코일들 (1302 내지 1308) 은 크기 B_z 를 갖는 축 방향 보충 자기장 (1318) 및 크기 B_r 을 갖는 방사상 보충 자기장 (1316) 에 대한 결합된 소스로서 사용된다.

[0057] 도 13a에 예시된 바와 같이, 기관 (1314) 은 진공 챔버 (1310) 내의 페데스탈 (1312) 상에 배치된다. 코일들 (1308, 1306, 1304, 및 1302) 은 진공 챔버 (1310) 의 상단 표면으로부터 대응하는 거리들 (H_1 , H_2 , H_3 , 및 H_4) 에 배치된다 (place). 코일들 (1302 내지 1308) 이 진공 챔버 (1310) 외부에 있는 것으로 예시될지라도, 본 개시는 이와 관련하여 제한되지 않고, 코일들 (1302 내지 1308) 중 임의의 코일은 (서로 평행하고 그리고 기관 (1314) 에 평행하게 유지되는 동안) 진공 챔버 (1310) 의 내부 또는 외부에 배치될 수도 있다.

[0058] 예시적인 실시 예에서 그리고 도 13a에 예시된 바와 같이, 코일들 (1302 내지 1308) 은 상이한 직경들을 갖는다. 그러나, 본 개시는 이와 관련하여 제한되지 않고, 코일들 (1302 내지 1308) 중 2 개 이상이 동일한 직경을 가질 수도 있다. 부가적으로, 도 13a는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장을 생성하기 위한 코일들 (1302 내지 1308) 만을 예시할지라도, 본 개시는 이와 관련하여 제한되지 않고 보다 많은 수의 코일들이 또한 사용될 수도 있고, 이는 진공 챔버 (1310) 의 복수의 측면들 상에 상이한 구성으로 배치될 (arrange) 수 있다.

[0059] 페데스탈 (1312) 상에 배치된 기관 (1314) 의 기관 프로세싱 동안, 코일들 (1302 내지 1308) 이 활성화되어 축 방향 보충 자기장 (1318) 및 방사상 보충 자기장 (1316) 을 발생시킨다. 도 13b는 일부 실시 예들에 따른, 도 13a의 4 개의 코일들에서 5 A의 전류로부터 발생하는 축 방향 보충 자기장의 크기 및 방사상 보충 자기장의 크기뿐만 아니라 방사상 크기에 대한 축 방향 크기의 비 (B_z/B_r) 를 예시하는 그래프 (1300B) 이다. 도 13b에서 알 수 있는 바와 같이, B_z 는 기관 중심 근방에서 약 4.2 G로부터 기관 에지 근방에서 약 3.2 G로 가변하는 한편, B_r 은 기관 중심 근방에서 약 0.4 G로부터 기관 에지 근방에서 약 2.4 G로 가변한다.

[0060] 일 예시적인 실시 예에서, 코일들 (1302 내지 1308) 의 위치 (예를 들어, 진공 챔버 (1310) 내부 또는 외부), 진공 챔버의 상단 표면까지의 거리 H_1 내지 H_4 (또는 기관 (1314) 에 대한 코일들 (1302 내지 1308) 의 각각의 거리들), 코일들 (1302 내지 1308) 각각을 통한 전류 (또는 코일들의 임의의 다른 프로세싱 특성) 는 기관 표면에 걸친 최적의 튜닝 플라즈마 균일도를 위해 상이한 B_z/B_r 비를 달성하도록 (예를 들어, 진공 챔버의 셋업 동안 또는 프로세싱 동안 동적으로 자기장 제어기 (1418) 에 의해) 코일 각각에 대해 개별적으로 가변될 수도 있다.

[0061] 도 14는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 플라즈마 균일도를 개선하기 위해 하나 이상의 보충 자기장을 구성하기 위한 상이한 타입들의 자기 센서들 및 자기장 제어기를 갖는 진공 챔버 (1402) 를 예시한다. 도 14를 참조

하면, 진공 챔버 (1402) 는 크기 Bz를 갖는 축 방향 자기장 (1404) 및 크기 Br을 갖는 방사상 자기장 (1406) 으로 구성된, 진공 챔버 내 잔류 자기장 (1403) 을 발생시키는 외부 자기장에 노출될 수도 있다.

[0062] 일 예시적인 실시 예에서, 진공 챔버 (1402) 는 도 1의 제어기 (116) 와 동일할 수 있는 자기장 제어기 (1418) 를 포함한다. 자기장 제어기 (1418) 는 적합한 회로, 로직, 인터페이스들, 및/또는 코드를 포함하고 자기장 센서 데이터를 수신하고 적어도 하나의 자기장 소스에 의해 생성된 보충 자기장의 하나 이상의 특성들을 조정하도록 구성된다. 일 예시적인 실시 예에서, 스마트 웨이퍼 (1412) 는 개구부 (1410) 로부터 진공 챔버 (1402) 의 프로세싱 존 내에 로딩될 수도 있다. 스마트 웨이퍼 (1412) 는 스마트 웨이퍼 (1412) 가 진공 챔버 (1402) 내 부의 프로세싱 존 내에 배치된 후 잔류 자기장들 (예를 들어, 잔류 자기장 (1403)) 을 검출하고 측정하도록 구성되는 복수의 센서들 (1414) (예를 들어, 자기장 센서들) 을 포함할 수도 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 자기장 제어기 (1418) 는 또한 잔류 자기장들 (예컨대 잔류 자기장 (1403)) 뿐만 아니라 특정한 방향들의 자기장들을 검출하고 측정하기 위해 (예를 들어, 축 방향 자기장 및 방사상 자기장 측정) 하나 이상의 독립형 (standalone) 센서들 (1416) (예를 들어, 자기장 센서들) 을 사용할 수도 있다.

[0063] 일 예시적인 실시 예에서, 자기장 제어기 (1418) 는 잔류 자기장 (1403) 의 크기 및 방향을 검출하기 위해 센서들 (1414 및/또는 1416) 을 사용할 수도 있다. 자기장 제어기 (1403) 는 크기들의 특정한 Bz/Br 비를 갖는 결합된 자기장을 달성하도록, (크기 Bzs를 갖는) 축 방향 보충 자기장 (1408) 및/또는 (크기 Brs를 갖는) 방사상 보충 자기장 (1409) 중 하나 이상을 포함하는, 하나 이상의 보충 자기장들의 적어도 일 특성을 조정할 수도 있다. 예를 들어, 자기장 제어기 (1418) 는 보충 자기장을 생성하는 적어도 하나의 자기장 소스를 통한 전류를 조정할 수도 있다 (예를 들어, 도 12a 및 도 13a에 예시된 자기장 소스들과 같은 복수의 자기장 소스들에 대해 개별적으로 전류를 조정할 수도 있다). 부가적으로, 자기장 제어기 (1418) 는 진공 챔버 (1402) 내의 방사상 자기장의 목표된 크기 Bz, 진공 챔버 (1402) 내의 축 방향 자기장의 목표된 크기 Br, 또는 목표된 크기들의 비 Bz/Br를 달성하도록, 복수의 가용 자기장 소스들 (예컨대, 도 12a, 도 13a에 예시된 바와 같이 구성된 복수의 코일들, 또는 또 다른 구성) 중 하나 이상의 자기장 소스들을 활성화하거나 비활성화할 수도 있다.

[0064] 일 예시적인 실시 예에서, 진공 챔버 (1402) 는 자기장 제어기 (1418) 에 커플링된 플라즈마 밀도 센서 (도 14에 예시되지 않음) 를 더 포함할 수도 있다. 일부 양태들에서, 플라즈마 밀도 센서는 또한 자기장 센서들 (1414 및/또는 1416) 중 하나 이상에 커플링될 수도 있고 진공 챔버 내 플라즈마의 밀도를 측정하도록 구성될 수도 있다.

[0065] 일 예시적인 실시 예에서, 센서들 (1414 및/또는 1416) 은 목표된 Bz, Br, 또는 Bz/Br을 갖는 총 (발생하는) 자기장이 달성되도록 자기장 제어기 (1418) 가 목표된 크기 및 방향을 갖는 보충 자기장 생성을 발생시키는 조정들을 수행할 수도 있도록 초기 자기장 측정을 위해 사용될 수도 있다.

[0066] 주기적인 측정들 및 조정들은 자기장 센서들 (1114 및/또는 1116) 을 사용하여 수행될 수도 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 독립 자기장 센서들 (1116) 은 보충 자기장들의 특성들의 자동 (동적) 측정들 및 조정들을 위해 사용될 수도 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 상이한 센서들이 상이한 자기장 소스들과 연관될 수도 있도록, 일 자기장 센서 (또는 자기장 센서들의 세트) 가 단일 자기장 소스와 관련하여 사용될 수도 있다. 일 예시적인 실시 예에서, 자기장 제어기 (1418) 는 센서 데이터를 수신하기 위해 센서들 (1414 및 1416) 과 무선으로 통신할 수도 있다.

[0067] 일 예시적인 실시 예에서, 센서들 (1414 및/또는 1416) 중 임의의 센서들은 플라즈마 밀도를 측정하도록 구성된 광학 또는 열적 센서들을 포함할 수 있다. 이 경우에, 자기장 제어기 (1418) 는 또한 센서들 (1414 및/또는 1416) 에 의해 측정된 플라즈마 밀도에 기초한 특정한 크기들의 Bz/Br 비를 갖는 결합된 자기장을 달성하도록, (크기 Bzs를 갖는) 축 방향 보충 자기장 (1408) 및 (크기 Brs를 갖는) 방사상 보충 자기장 (1409) 을 생성하도록 구성된다.

[0068] 도 15는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 진공 챔버를 사용하여 기판을 프로세싱하기 위한 방법 (1500) 의 플로우 차트이다. 방법 (1500) 은 도 14의 자기장 제어기 (1418) 또는 도 16의 프로세서 (1602) 와 같은 자기장 제어기에 의해 수행될 수도 있는, 동작들 (1502, 1504, 1506, 및 1508) 을 포함한다. 도 15를 참조하면, 동작 (1502) 에서, 진공 챔버의 프로세싱 존 내의 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호가 검출되고, 프로세싱 존은 플라즈마를 사용하여 기판을 프로세싱하기 위한 것이다. 예를 들어, 센서들 (1414 또는 1416) 중 하나는 진공 챔버 (1402) 의 프로세싱 존 내에서 축 방향 자기장 (1404) 을 나타내는 제 1 신호를 검출한다. 동작 (1504) 에서, 프로세싱 존 내 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호가 검출되고, 방사상 자기장은 기판에 평행하고 축 방향 자기장에 직교하는 자기장이다. 예를 들어, 자기 센서는 방사상 자기장 (1406) 을 나타내는 제 2 신호를

더 검출할 수 있다. 동작 (1506) 에서, 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기가 프로세싱 존 내의 복수의 위치들에서 결정된다. 예를 들어, 축 방향 자기장 (1404) 을 나타내는 제 1 신호의 크기 Bz 및 방사상 자기장 (1406) 을 나타내는 제 2 신호의 크기 Br이 (예를 들어, 자기장 제어기 (1418) 에 의해) 결정된다. 동작 (1508) 에서, 적어도 2 개의 자기장 소스들을 사용하여 제 1 신호 및 제 2 신호의 결정된 크기에 기초하여 진공 챔버의 프로세싱 존을 통해 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장이 생성된다. 예를 들어, 축 방향 보충 자기장 (1408) 및 방사상 보충 자기장 (1409) 은 결정된 크기들 Bz 및 Br에 기초하여 적어도 2 개의 자기장 소스들 (예를 들어, 도 12a 및 도 13a와 관련하여 예시된 자기장 소스들) 을 사용하여 생성된다. 예를 들어, 발생하는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장 (예를 들어, 기존/잔여 자기장 (1404 및 1406) 및 보충 자기장들 (1409 및 1408) 의 조합에 기초한 자기장) 은 발생하는 축 방향 보충 자기장과 방사상 보충 자기장의 목표된 크기들의 비가 달성되기 위해 개별적으로 설정된 자기장 소스들의 전류, 코일 사이즈 (예를 들어, 턴들의 수) 또는 다른 특성들을 갖는 적어도 2 개의 자기장 소스들에 의해 생성되도록, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장이 생성될 수 있다.

[0069] 도 16은 본 명세서에 기술된 하나 이상의 예시적인 프로세스 실시 예들이 구현되거나, 제어될 수도 있는 머신 (1600) 의 일 예를 예시하는 블록도이다. 대안적인 실시 예들에서, 머신 (1600) 은 독립 (standalone) 디바이스로서 동작할 수도 있거나, 다른 머신들에 연결될 (예를 들어, 네트워킹될) 수도 있다. 네트워킹된 배치 (deployment) 에서, 머신 (1600) 은 서버-클라이언트 네트워크 환경들에서 서버 머신, 클라이언트 머신 또는 두 가지 머신 모두로서 동작할 수도 있다. 일 예에서, 머신 (1600) 은 P2P (peer-to-peer) (또는 다른 분산된) 네트워크 환경의 피어 (peer) 머신으로 작용할 수도 있다. 또한, 단일 머신 (1600) 만이 예시되지만, 용어 "머신"은 본 명세서에 논의된, 클라우드 컴퓨팅, 서비스형 소프트웨어 (software as a service; SaaS) 또는 다른 컴퓨터 클러스터 구성들 (computer cluster configurations) 과 같은 방법론들 중 임의의 하나 이상을 수행하기 위해 인스트럭션들의 세트 (또는 복수의 세트들) 를 개별적으로 또는 공동으로 실행하는 머신들의 임의의 집합을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0070] 본 명세서에 기술된 예들은, 로직, 다수의 컴포넌트들 또는 메커니즘들을 포함할 수도 있고 또는 이에 의해 동작할 수도 있다. 회로망 (circuitry) 은 하드웨어 (예를 들어, 단순 회로들, 게이트들, 로직) 를 포함하는 유형 개체들 (tangible entities) 로 구현된 회로들의 집합이다. 회로망 부재 (circuitry membership) 는 시간 및 기본 하드웨어 변동성에 대해 유연할 수도 있다. 회로망들은 동작할 때 단독으로 또는 조합하여, 지정된 동작들을 수행할 수도 있는 부재들을 포함한다. 일 예에서, 회로망의 하드웨어는 특정한 동작을 수행하기 위해 변경할 수 없게 설계 (예를 들어, 하드웨어에 내장 (hardwired)) 될 수도 있다. 일 예에서, 회로망의 하드웨어는 특정 동작의 인스트럭션들을 인코딩하기 위해 물리적으로 (예를 들어, 자기적으로, 전기적으로, 불변 질량 입자들의 이동 가능한 배치에 의해) 변경된 컴퓨터 판독가능 매체를 포함하여, 가변적으로 연결된 물리적 컴포넌트들 (예를 들어, 실행 유닛들, 트랜지스터들, 단순 회로들) 을 포함할 수도 있다. 물리적 컴포넌트들을 연결할 때, 하드웨어 구성요소의 기본적인 전기적 특성들이 변화된다 (예를 들어, 절연체로부터 전도체로 또는 그 반대로). 인스트럭션들은 동작 중일 때 임베딩된 (embed) 하드웨어 (예를 들어, 실행 유닛들 또는 로딩 메커니즘) 로 하여금 특정 동작의 일부들을 수행하기 위해 가변 연결부들을 통해 하드웨어 내에 회로망의 부재들을 생성하게 한다. 따라서, 컴퓨터 판독 가능 매체는 디바이스가 동작 중일 때 회로망의 다른 컴포넌트들에 통신 가능하게 (communicatively) 커플링된다. 일부 양태들에서, 임의의 물리적 컴포넌트들은 2 개 이상의 회로망의 2 개 이상의 부재에서 사용될 수도 있다. 예를 들어, 동작 하에, 실행 유닛들은 일 시점에서 제 1 회로망의 제 1 회로에서 사용될 수도 있고, 상이한 시점에 제 1 회로망의 제 2 회로, 또는 제 2 회로망의 제 3 회로에 의해 재사용될 수도 있다.

[0071] 머신 (예를 들어, 컴퓨터 시스템) (1600) 은 하드웨어 프로세서 (1602) (예를 들어, CPU (Central Processing Unit), 하드웨어 프로세서 코어 (core), 또는 이들의 임의의 조합), GPU (Graphics Processing Unit) (1603), 메인 메모리 (1604) 및 정적 메모리 (1606) 를 포함할 수도 있고, 이들 중 일부 또는 전부는 인터링크 (interlink) (예를 들어, 버스 (bus)) (1608) 를 통해 서로 통신할 수도 있다. 머신 (1600) 은 디스플레이 디바이스 (1610), 영숫자 입력 디바이스 (alphanumeric input device) (1612) (예를 들어, 키보드) 및 사용자 인터페이스 (User Interface; UI) 내비게이션 디바이스 (1614) (예를 들어, 마우스) 를 더 포함할 수도 있다. 일 예에서, 디스플레이 디바이스 (1610), 영숫자 입력 디바이스 (1612) 및 UI 내비게이션 디바이스 (1614) 는 터치 스크린 디스플레이일 수도 있다. 머신 (1600) 은 대용량 저장 디바이스 (예를 들어, 드라이브 유닛) (1616), 신호 생성 디바이스 (1618) (예를 들어, 스피커), 네트워크 인터페이스 디바이스 (1620) 및 GPS (global positioning system) 센서, 나침반, 가속도계, 또는 또 다른 센서와 같은, 하나 이상의 센서들 (1621) 을 부가적으로 포함할 수도 있다. 머신 (1600) 은 하나 이상의 주변 디바이스들 (예를 들어, 프린터, 카드 리더기) 과

통신하거나 제어하도록 직렬 (예를 들어, USB (Universal Serial Bus)), 병렬 또는 다른 유선 또는 무선 (예를 들어, 적외선 (IR), NFC (Near Field Communication)) 연결과 같은, 출력 제어기 (1628) 를 포함할 수도 있다.

[0072] 일 예시적인 실시 예에서, 하드웨어 프로세서 (1602) 는 적어도 도 14 및 도 15와 관련하여 상기 명세서에 논의된 자기장 제어기 (1418) 의 기능들을 수행할 수도 있다.

[0073] 대용량 저장 디바이스 (1616) 는 본 명세서에 기술된 기법들 또는 기능들 중 임의의 하나 이상에 의해 구현되거나 활용되는, 데이터 구조들 또는 인스트럭션들 (1624) (예를 들어, 소프트웨어) 의 하나 이상의 세트들이 저장되는 머신 판독 가능 매체 (1622) 를 포함할 수도 있다. 인스트럭션들 (1624) 은 또한 머신 (1600) 에 의한 인스트럭션들의 실행 동안 메인 메모리 (1604) 내에, 정적 메모리 (1606) 내에, 하드웨어 프로세서 (1602) 내에, 또는 GPU (1603) 내에 완전히 또는 적어도 부분적으로 존재할 수도 있다. 일 예에서, 하드웨어 프로세서 (1602), GPU (1603), 메인 메모리 (1604), 정적 메모리 (1606), 또는 대용량 저장 디바이스 (1616) 중 하나 또는 임의의 조합은 머신 판독 가능 매체를 구성할 수도 있다.

[0074] 머신 판독 가능 매체 (1622) 가 단일 매체로 예시되었지만, 용어 "머신 판독 가능 매체"는 하나 이상의 인스트럭션들 (1624) 을 저장하도록 구성된 단일 매체 또는 복수의 매체 (예를 들어, 중앙 집중되거나 분산된 데이터 베이스 및/또는 연관된 캐시들과 서버들) 를 포함할 수도 있다.

[0075] 용어 "머신 판독가능 매체"는 머신 (1600) 에 의한 실행을 위해 인스트럭션들 (1624) 을 저장하고, 인코딩하고 또는 전달할 수도 있고, 머신 (1600) 으로 하여금 본 개시의 기법들 중 임의의 하나 이상을 수행하게 하거나, 이러한 인스트럭션들 (1624) 에 의해 사용되거나 또는 인스트럭션들 (1624) 과 연관된 데이터 구조들을 저장하고, 인코딩하고 또는 전달할 수 있는, 임의의 매체를 포함할 수도 있다. 비제한적인 머신 판독 가능 매체 예들은 고체 상태 메모리들 및 광학 매체 및 자기 매체를 포함할 수도 있다. 일 예에서, 대용량 머신 판독가능 매체는 불변 (예를 들어, 정지 (rest)) 질량을 갖는 복수의 입자들을 갖는 머신 판독가능 매체 (1622) 를 포함한다. 따라서, 대용량 머신 판독가능 매체는 일시적인 전파 신호들이 아니다. 대용량 머신 판독 가능 매체의 특정한 예들은 반도체 메모리 디바이스들 (예를 들어, EPROM (Electrically Programmable Read-Only Memory), EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)) 및 플래시 메모리 디바이스들; 내부 하드 디스크들 및 이동식 디스크들과 같은 자기 (magnetic) 디스크들; 자기-광학 (magneto-optical) 디스크들; 및 CD-ROM 및 DVD-ROM 디스크들과 같은, 비휘발성 메모리를 포함할 수도 있다.

[0076] 인스트럭션들 (1624) 은 또한 네트워크 인터페이스 디바이스 (1620) 를 통해 송신 매체를 사용하여 통신 네트워크 (1626) 를 거쳐 송신되거나 수신될 수도 있다.

[0077] 선행하는 기법들의 구현은 임의의 수의 하드웨어 및 소프트웨어의 사양들, 구성들 또는 예시적인 배치들을 통해 달성될 수도 있다. 본 명세서에 기술된 기능적 유닛들 또는 성능들은 이들의 구현 독립성을 보다 구체적으로 강조하기 위해 컴포넌트들 또는 모듈들로 지칭되거나 또는 라벨링될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 이러한 컴포넌트들은 임의의 수의 소프트웨어 형태 또는 하드웨어 형태로 실시될 수도 있다. 예를 들어, 컴포넌트 또는 모듈은 커스텀 VLSI (very-large-scale integration) 회로들 또는 게이트 어레이들, 로직 칩들, 트랜지스터들 또는 다른 개별 컴포넌트들과 같은 기성 (off-the-shelf) 반도체들을 포함하는 하드웨어 회로로서 구현될 수도 있다. 컴포넌트 또는 모듈은 또한 필드-프로그래밍 가능 게이트 어레이들, 프로그램 가능 어레이 로직, 프로그램 가능 로직 디바이스들, 등과 같은 프로그램 가능 하드웨어 디바이스들로 구현될 수도 있다. 컴포넌트들 또는 모듈들은 또한 다양한 타입들의 프로세서들에 의한 실행을 위한 소프트웨어로 구현될 수도 있다. 실행 가능한 코드의 식별된 컴포넌트 또는 모듈은 예를 들어, 컴퓨터 인스트럭션들의 하나 이상의 물리적 블록 (block) 또는 논리적 블록을 포함할 수도 있고, 예를 들어, 객체, 절차 또는 함수로서 조직될 수도 있다. 그럼에도 불구하고, 식별된 컴포넌트 또는 모듈의 실행 파일들 (executables) 은 물리적으로 함께 위치될 필요는 없지만, 논리적으로 함께 결합될 때, 컴포넌트 또는 모듈을 포함하고 컴포넌트 또는 모듈에 대해 명시된 목적을 달성하는 상이한 위치들에 저장된 전혀 다른 (disparate) 인스트럭션들을 포함할 수도 있다.

[0078] 실제로, 실행 가능한 코드의 컴포넌트 또는 모듈은 단일 인스트럭션 또는 많은 인스트럭션들일 수도 있고, 그리고 심지어 몇몇 상이한 코드 세그먼트들에 걸쳐, 상이한 프로그램들 사이에서, 그리고 몇몇 메모리 디바이스들 또는 프로세싱 시스템들에 걸쳐 분배될 수도 있다. 특히, 기술된 프로세스의 일부 양태들 (예컨대 코드 제작성 및 코드 분석) 은 코드가 (예를 들어, 센서 또는 로봇에 임베딩된 컴퓨터에) 전개되는 (예를 들어, 데이터 센터의 컴퓨터에서) 상이한 프로세싱 시스템 상에서 발생할 수도 있다. 유사하게, 동작 데이터는 컴포넌트들 또는 모듈들 내에서 본 명세서에서 식별될 수도 있고 예시될 수도 있고 그리고 임의의 적합한 형태로 구현될 수도 있고 임의의 적합한 타입의 데이터 구조 내에 조직될 수도 있다. 동작 데이터는 단일 데이터 세트로서 수집될 수

도 있고 또는 상이한 저장 디바이스들을 포함하여 상이한 위치들에 걸쳐 분배될 수도 있고, 적어도 부분적으로, 단지 시스템 또는 네트워크 상의 전자 신호들로서 존재할 수도 있다. 컴포넌트들 또는 모듈들은 목표된 기능들을 수행하도록 동작 가능한 에이전트들을 포함하여 패시브 또는 액티브일 수도 있다.

[0079] 추가 참고 사항들 및 실시 예들

[0080] 실시 예 1은 기관 프로세싱 장치로서, 플라즈마를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 프로세싱 존을 포함하는 진공 챔버; 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호 및 진공 챔버와 연관된 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하도록 구성되는, 방사상 자기장이 기관에 평행하고 축 방향 자기장에 직교하는, 자기장 센서; 진공 챔버의 프로세싱 존을 통한 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장을 생성하도록 구성된 적어도 2 개의 자기장 소스들; 및 자기장 센서 및 적어도 2 개의 자기장 소스들에 커플링된 자기장 제어기로서, 자기장 제어기는 제 1 신호 및 제 2 신호에 기초하여 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장 중 하나 이상의 적어도 일 특성을 조정하도록 구성되는 자기장 제어기를 포함한다.

[0081] 실시 예 2에서, 실시 예 1의 주제는, 자기장 센서가 진공 챔버의 프로세싱 존 내에 배치된 웨이퍼 센서인 것을 포함한다.

[0082] 실시 예 3에서, 실시 예 2의 주제는, 웨이퍼 센서가 프로세싱 존 내의 복수의 위치들에서 축 방향 자기장 및 방사상 자기장의 하나 이상의 파라미터들을 측정하도록 구성되는 자기장 센서들의 어레이를 포함하는 것; 그리고 자기장 제어기는 측정된 하나 이상의 파라미터들에 기초하여 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 적어도 하나의 특성을 조정하는 것을 포함한다.

[0083] 실시 예 4에서, 실시 예 1 내지 실시 예 3의 주제는, 자기장 센서가 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기를 측정하도록 구성되는 것을 포함한다.

[0084] 실시 예 5에서, 실시 예 4의 주제는, 적어도 하나의 특성이 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 크기 및 방향 중 하나 이상을 포함하는 것을 포함한다.

[0085] 실시 예 6에서, 실시 예 5의 주제는, 적어도 2 개의 자기장 소스들은 서로 평행한 제 1 자기장 소스 및 제 2 자기장 소스를 포함하고, 자기장 제어기는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 크기 및 방향 중 하나 이상을 조정하기 위해 제 1 자기장 소스를 통한 전류 및 제 2 자기장 소스를 통한 전류 중 하나 이상을 조정하도록 구성되는 것을 포함한다.

[0086] 실시 예 7에서, 실시 예 6의 주제는, 자기장 제어기가 제 2 자기장 소스를 통한 전류와 독립적으로 제 1 자기장 소스를 통한 전류를 조정하도록 구성되는 것을 포함한다.

[0087] 실시 예 8에서, 실시 예 6 내지 실시 예 7의 주제는, 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기의 비가 비 문턱 값에 도달할 때까지, 자기장 제어기가 제 1 자기장 소스를 통한 전류 및 제 2 자기장 소스를 통한 전류를 조정하도록 구성되는 것을 포함한다.

[0088] 실시 예 9에서, 실시 예 6 내지 실시 예 8의 주제는, 자기장 제어기가 축 방향을 나타내는 제 1 신호의 크기가 제 1 문턱 값에 도달하고 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기가 제 2 문턱 값에 도달할 때까지, 제 1 자기장 소스를 통한 전류 및 제 2 자기장 소스를 통한 전류를 조정하도록 구성된다.

[0089] 실시 예 10에서, 실시 예 1 내지 실시 예 9의 주제는, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장 중 하나 이상의 적어도 일 특성은: 적어도 2 개의 자기장 소스들 각각에 있는 권선들의 수; 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 제 1 자기장 소스로부터 기관까지의 거리; 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 제 2 자기장 소스로부터 상기 기관까지의 거리; 및 상기 적어도 2 개의 자기장 소스들 사이의 거리 중 하나 이상을 포함하는 것을 포함한다.

[0090] 실시 예 11에서, 실시 예 1 내지 실시 예 10의 주제는, 적어도 2 개의 자기장 소스들이 복수의 코일들을 포함하고, 코일 각각은 복수의 권선들을 포함한다.

[0091] 실시 예 12에서, 실시 예 11의 주제는 복수의 코일들이 진공 챔버에 외부적으로 마운팅되는 것을 포함한다.

[0092] 실시 예 13에서, 실시 예 11 내지 실시 예 12의 주제는, 복수의 코일들 중 적어도 하나가 진공 챔버에 내부적으로 마운팅되는 것을 포함한다.

[0093] 실시 예 14에서, 실시 예 11 내지 실시 예 13의 주제는, 복수의 코일들이 서로 평행하고 그리고 기관에 평행한 적어도 4 개의 코일들을 포함하고, 그리고 자기장 제어기는 자기장 센서에 의해 측정된 축 방향 보충 자기장 및

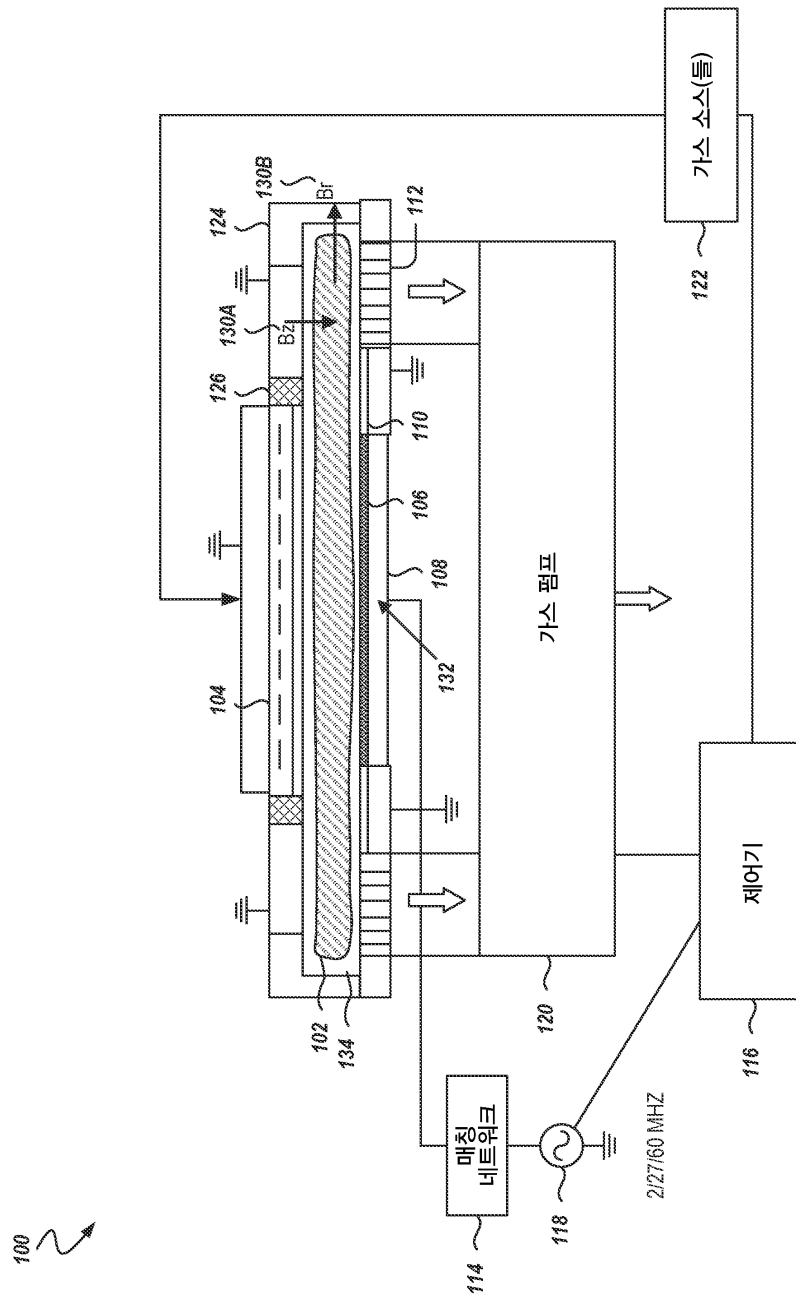
방사상 보충 자기장 중 하나 이상의 크기에 기초하여, 적어도 4 개의 코일들 각각을 통한 전류를 독립적으로 조정하도록 구성되는 것을 포함한다.

- [0094] 실시 예 15에서, 실시 예 1 내지 실시 예 14의 주제는, 기관 프로세싱 장치가 자기장 제어기에 커플링되고 진공 챔버 내 플라즈마의 밀도를 측정하도록 구성된 플라즈마 밀도 센서를 더 포함하고, 자기장 제어기는 플라즈마의 측정된 밀도에 기초하여, 적어도 2 개의 자기장 소스들 각각을 통한 전류를 독립적으로 조정하도록 구성되는 것을 포함한다.
- [0095] 실시 예 16은 진공 챔버를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한 방법이고, 방법은: 진공 챔버의 프로세싱 존 내 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호를 검출하는 단계로서, 프로세싱 존은 플라즈마를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한, 제 1 신호 검출 단계; 프로세싱 존 내에서 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하는 단계로서, 방사상 자기장은 기관에 평행하고 축 방향 자기장에 직교하는, 제 2 신호를 검출하는 단계; 프로세싱 존 내의 복수의 위치들에서 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기를 결정하는 단계; 제 1 신호 및 제 2 신호의 결정된 크기에 기초하여 진공 챔버의 프로세싱 존을 통한 적어도 2 개의 자기장 소스들을 사용하여 축 방향 보충 자기장, 및 방사상 보충 자기장을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0096] 실시 예 17에서, 실시 예 16의 주제는, 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 크기 및 방향 중 하나 이상을 조정하기 위해, 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 적어도 하나를 통한 전류를 조정하는 것을 포함한다.
- [0097] 실시 예 18에서, 실시 예 17의 주제는, 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기의 비가 비 문턱 값에 도달할 때까지, 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 적어도 하나를 통한 전류를 독립적으로 조정하는 것을 포함한다.
- [0098] 실시 예 19에서, 실시 예 17 내지 실시 예 18의 주제는, 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기가 제 1 문턱 값에 도달하고 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기가 제 2 문턱 값에 도달할 때까지, 적어도 2 개의 자기장 소스들 중 적어도 하나를 통한 전류를 독립적으로 조정하는 것을 포함한다.
- [0099] 실시 예 20은 머신에 의해 실행될 때, 머신으로 하여금, 진공 챔버의 프로세싱 존 내에서 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호를 검출하는 단계로서, 프로세싱 존은 플라즈마를 사용하여 기관을 프로세싱하기 위한, 제 1 신호 검출 단계; 프로세싱 존 내에서 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호를 검출하는 단계로서, 방사상 자기장은 기관에 평행하고 축 방향 자기장에 직교하는, 제 2 신호를 검출하는 단계; 프로세싱 존 내의 복수의 위치들에서 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기 및 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기를 결정하는 단계; 제 1 신호 및 제 2 신호들의 결정된 크기에 기초하여 적어도 2 개의 자기장 소스들을 사용하여 진공 챔버의 프로세싱 존을 통한 축 방향 자기장 및 방사상 자기장을 생성하는 단계를 포함하는 동작들을 수행하게 하는, 인스트럭션들을 포함하는 비-일시적인 머신 판독 가능한 저장 매체이다.
- [0100] 실시 예 21에서, 실시 예 20의 주제는 축 방향 보충 자기장 및 방사상 보충 자기장의 크기 및 방향 중 하나 이상을 조정하기 위한 제 1 자기장 소스를 통한 전류 및 제 2 자기장 소스를 통한 전류 중 하나 이상을 조정하는 단계를 더 포함한다.
- [0101] 실시 예 22에서, 실시 예 21의 주제는 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기와 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기의 비가 비 문턱 값에 도달할 때까지, 적어도 2 개의 자기장 소스들을 통한 전류를 독립적으로 조정하는 것을 더 포함한다.
- [0102] 실시 예 23에서, 실시 예 21 내지 실시 예 22의 주제는 축 방향 자기장을 나타내는 제 1 신호의 크기가 제 1 문턱 값에 도달하고 방사상 자기장을 나타내는 제 2 신호의 크기가 제 2 문턱 값에 도달할 때까지, 적어도 2 개의 자기장 소스들을 통한 전류를 독립적으로 조정하는 것을 더 포함한다.
- [0103] 실시 예 24는 프로세싱 회로망에 의해 실행될 때, 프로세싱 회로망으로 하여금 실시 예 1 내지 실시 예 23 중 임의의 실시 예를 구현하는 동작들을 수행하게 하는 인스트럭션들을 포함하는 적어도 하나의 머신 판독 가능 매체이다.
- [0104] 실시 예 25는 실시 예 1 내지 실시 예 23 중 임의의 실시 예를 구현하기 위한 수단을 포함하는 장치이다.
- [0105] 실시 예 26은 실시 예 1 내지 실시 예 23 중 임의의 실시 예를 구현하기 위한 시스템이다.
- [0106] 실시 예 27은 실시 예 1 내지 실시 예 23 중 임의의 실시 예를 구현하기 위한 방법이다.

- [0107] 본 명세서 전반에서, 복수의 예들이 단일 예로서 기술된 컴포넌트들, 동작들, 또는 구조체들을 구현할 수도 있다. 방법들 중 하나 이상의 개별 동작들이 별개의 동작들로 예시되고 기술되었지만, 개별 동작들 중 하나 이상은 동시에 수행될 수도 있고, 동작들이 예시된 순서로 수행될 것을 요구하지 않는다. 예시적인 구성들에 대해 별개의 컴포넌트들로서 제시된 구조체들 및 기능성은 결합된 구조체 또는 컴포넌트로서 구현될 수도 있다. 유사하게, 단일 컴포넌트로서 제시된 구조체들 및 기능성은 별개의 컴포넌트들로서 구현될 수도 있다. 이들 및 다른 변형들, 수정들, 추가들, 및 개선들은 본 명세서의 청구 대상의 범위 내에 속한다.
- [0108] 본 명세서에서 예시된 실시 예들은 당업자들로 하여금 개시된 교시들 (teachings) 을 실시할 수 있게 하도록 충분히 상세하게 기술된다. 다른 실시 예들은 구조적 및 논리적 대용물들 및 변화들이 본 개시의 범위로부터 벗어나지 않고 이루어질 수도 있도록, 이로부터 사용되고 유도될 수도 있다. 이 상세한 기술은 따라서 제한하는 의미로 생각되지 않고, 다양한 실시 예들의 범위는 첨부된 청구항들로 인정되는 등가물들의 전체 범위와 함께, 첨부된 청구항들에 의해서만 규정된다.
- [0109] 실시 예들이 상기 특징들의 서브 세트를 특징으로 할 수도 있기 때문에 청구항들은 본 명세서에 개시된 모든 특징을 제시하지 않을 수도 있다. 또한, 실시 예들은 특정한 예에서 개시된 것들 보다 적은 특징들을 포함할 수도 있다. 따라서, 이하의 청구항들은 별개의 실시 예로서 독립되는 청구항과 함께, 본 명세서에서 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용에 통합된다.
- [0110] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 용어 "또는 (or)"은 포괄적이거나 배타적인 의미로 해석될 수도 있다. 게다가, 복수의 예들이 단일 예로서 본 명세서에 기술된 리소스들, 동작들 또는 구조체들을 위해 제공될 수도 있다. 부가적으로, 다양한 리소스들, 동작들, 모듈들, 엔진들 및 데이터 저장부들 사이의 경계들은 다소 임의적이고, 특정한 동작들이 특정한 예시적인 구성들의 맥락에서 예시된다. 기능성의 다른 할당들이 구상되고 본 개시의 다양한 실시 예들의 범위 내에 속할 수도 있다. 일반적으로, 예시적인 구성들에서 별개의 리소스들로서 제시된 구조체들 및 기능성은 결합된 구조체 또는 리소스로서 구현될 수도 있다. 유사하게, 단일 리소스로서 제시된 구조체들 및 기능성은 별개의 리소스들로서 구현될 수도 있다. 이들 및 다른 변형들, 수정들, 추가들 및 개선들은 첨부된 청구항들에 의해 나타낸 바와 같이 본 개시의 실시 예들의 범위 내에 속한다. 따라서, 명세서 및 도면들은 제한적인 의미보다 예시로서 간주된다.

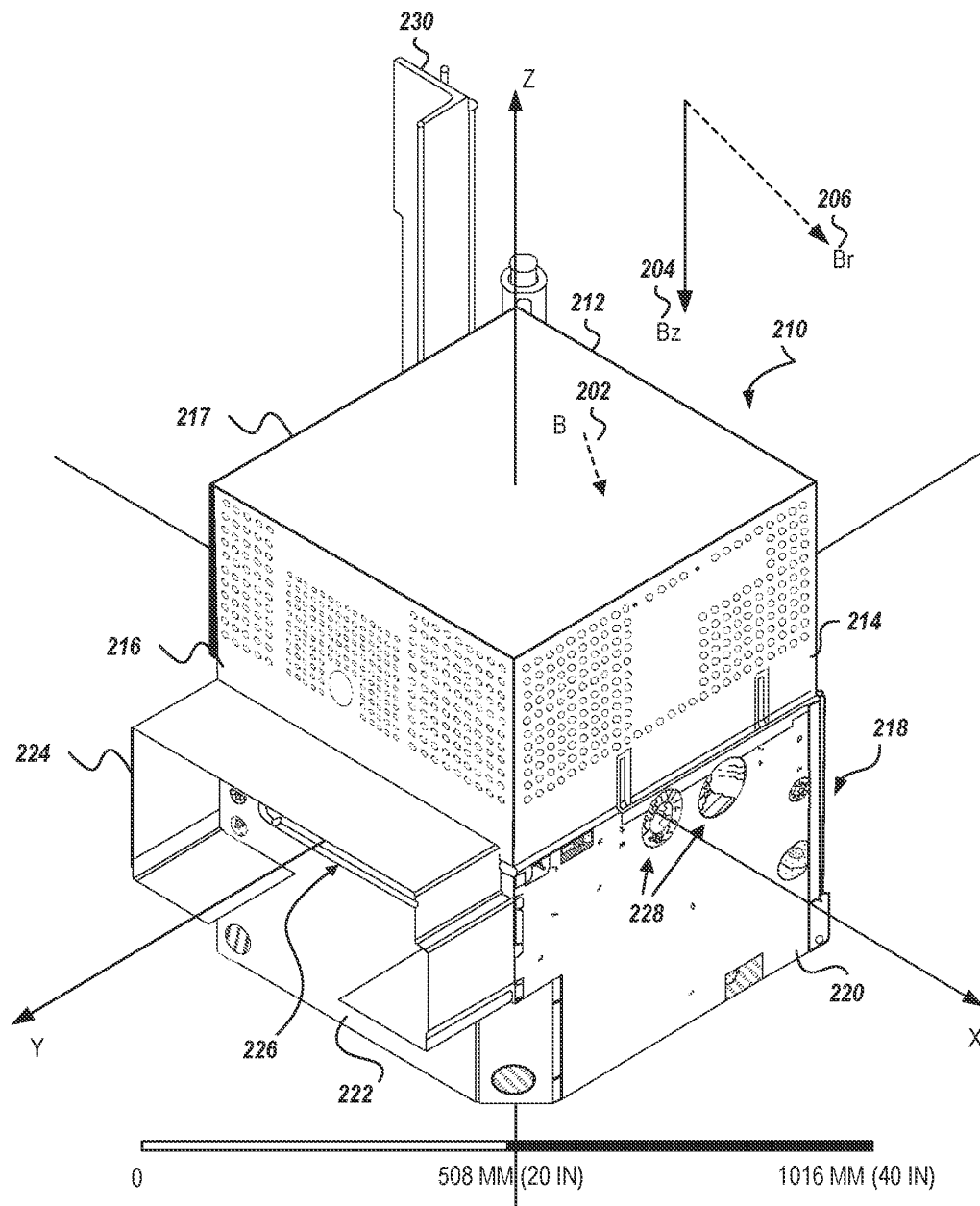
도면

도면1

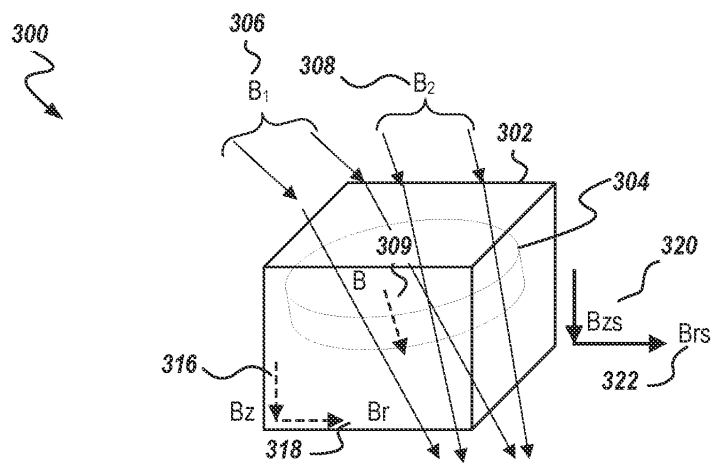


도면2

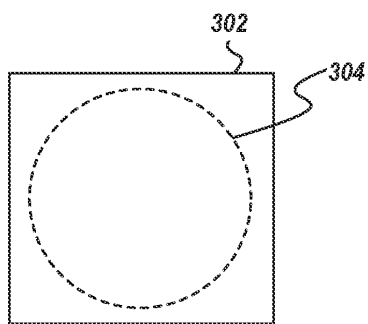
200



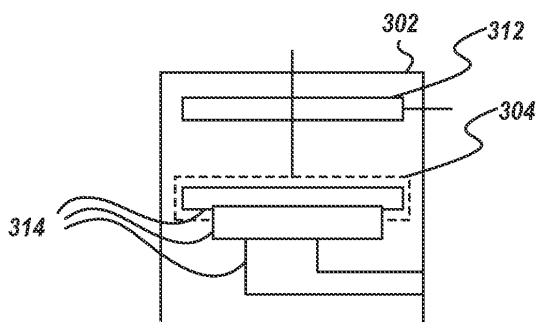
도면3a



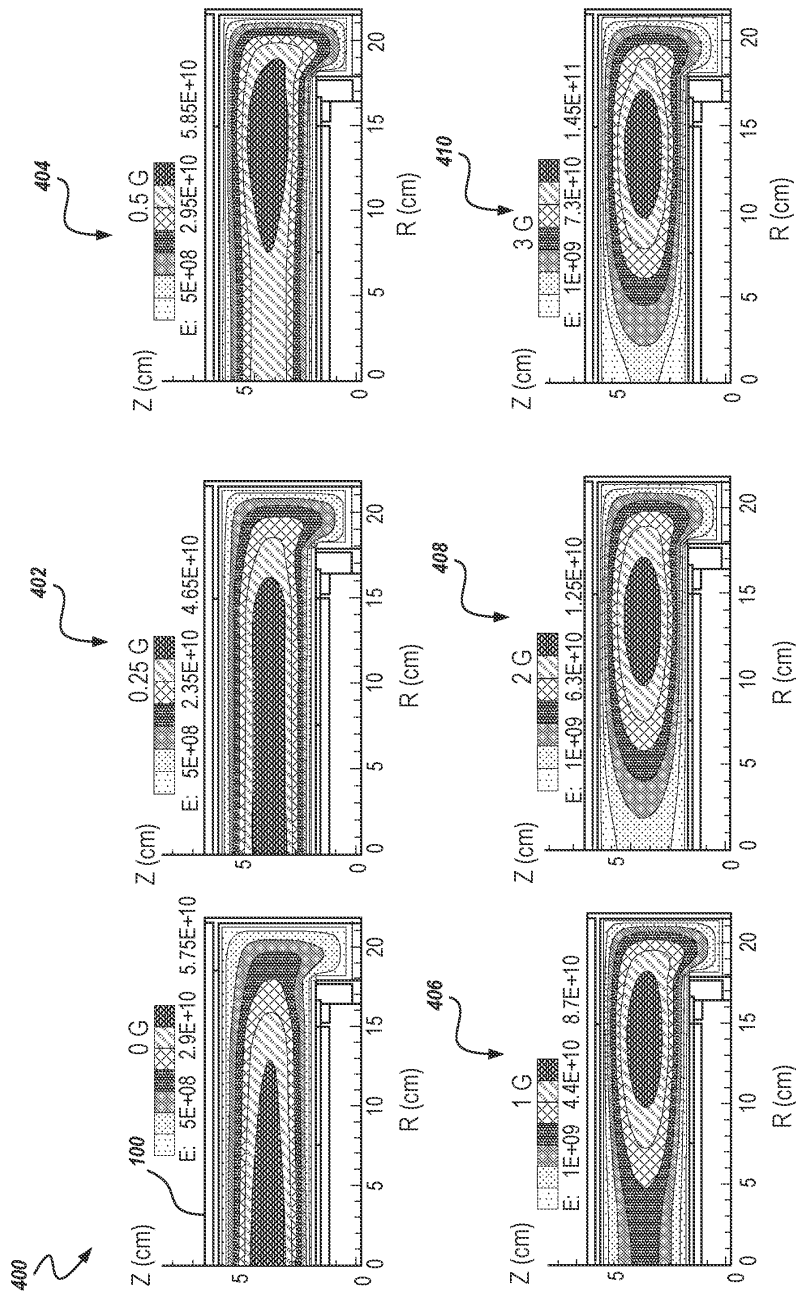
도면3b



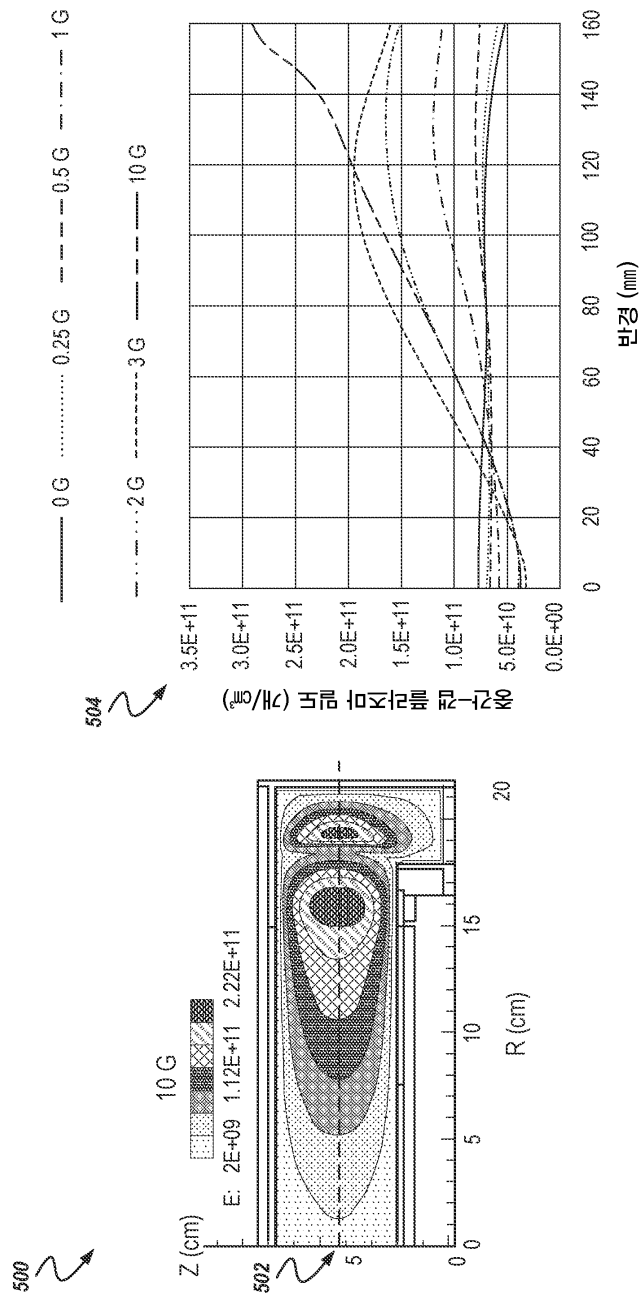
도면3c



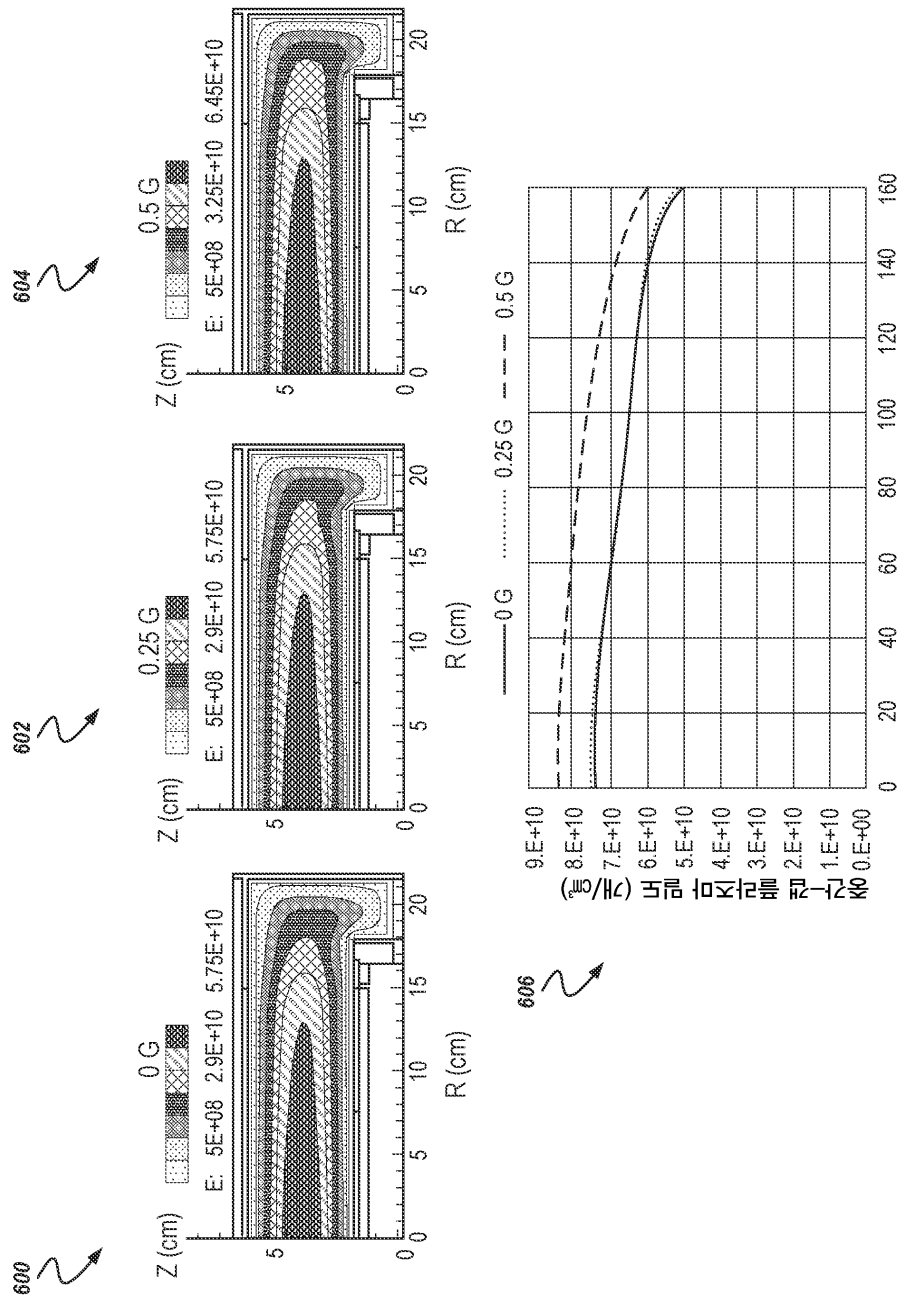
도면4



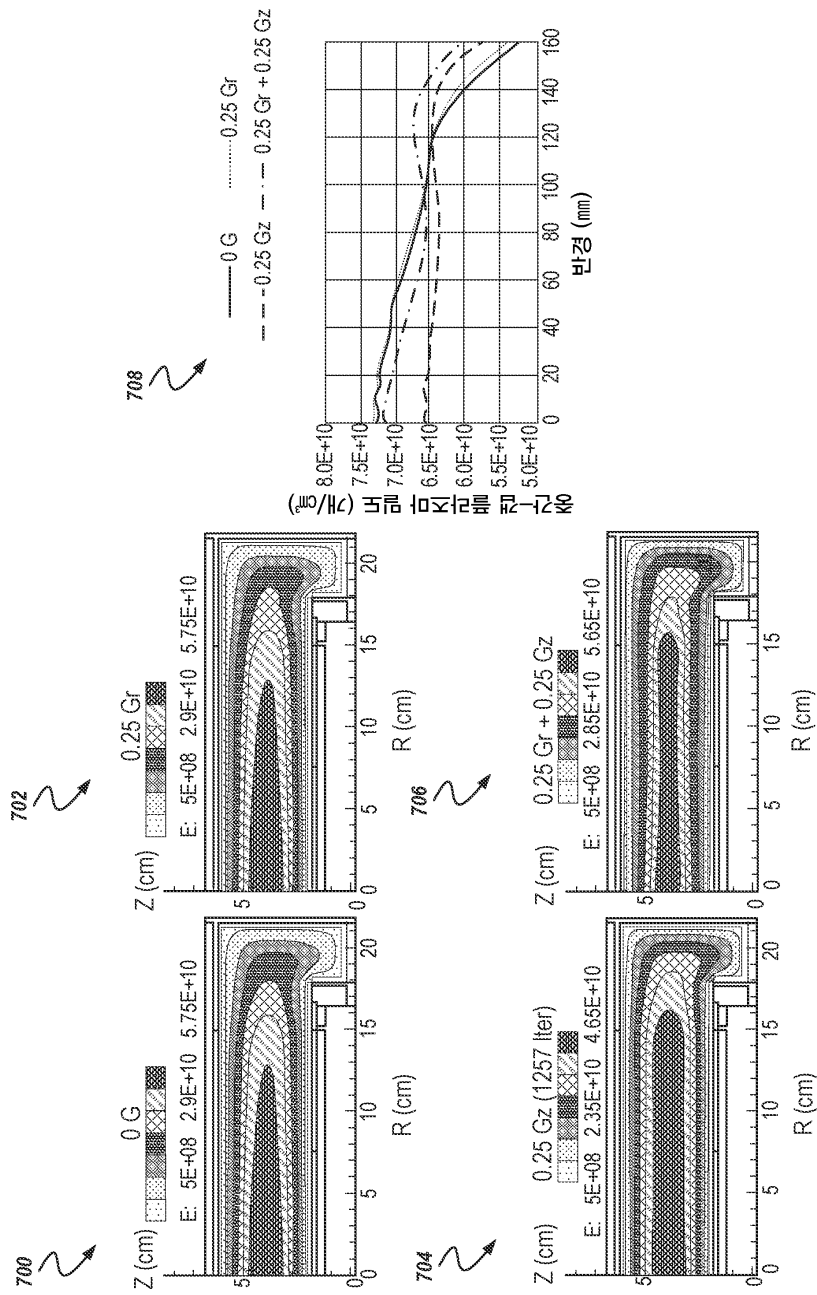
도면5



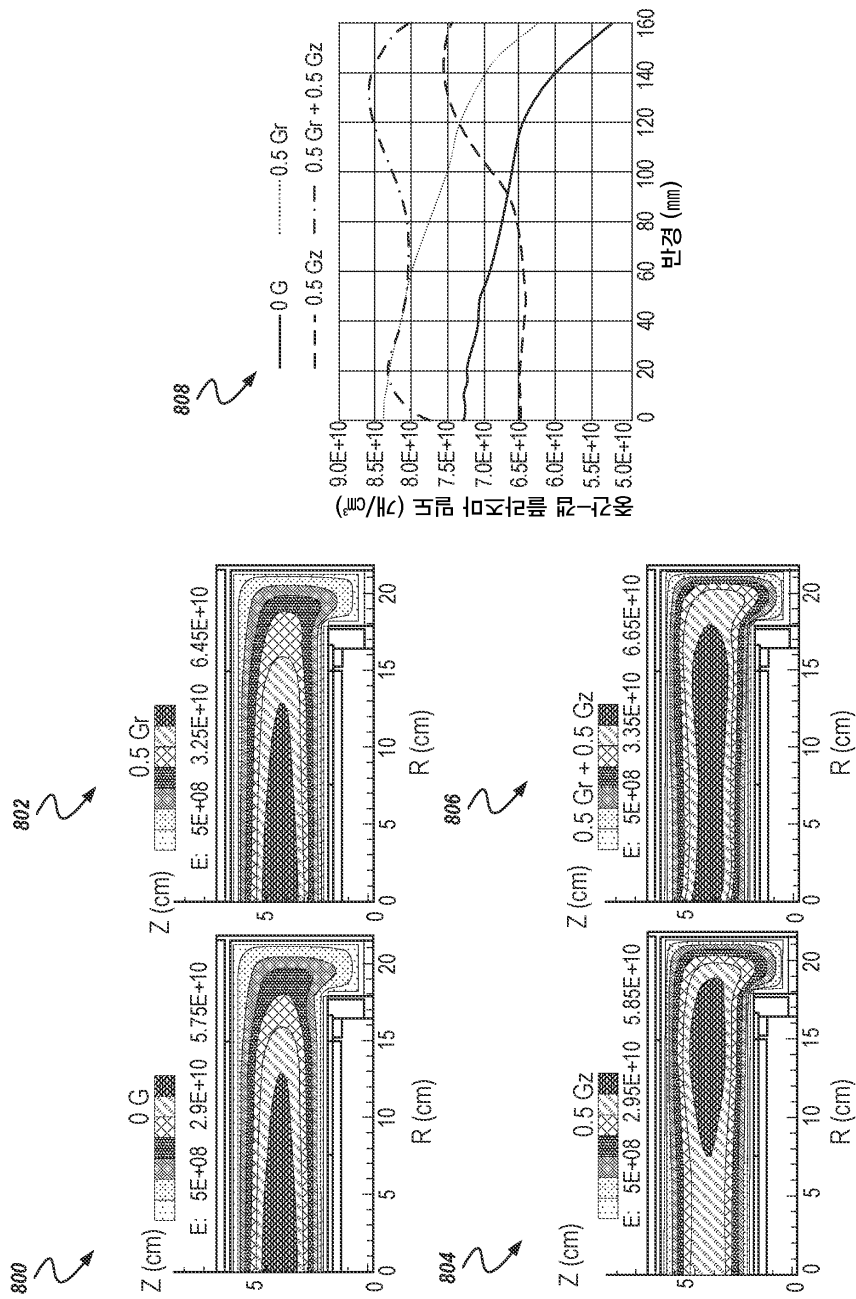
도면6



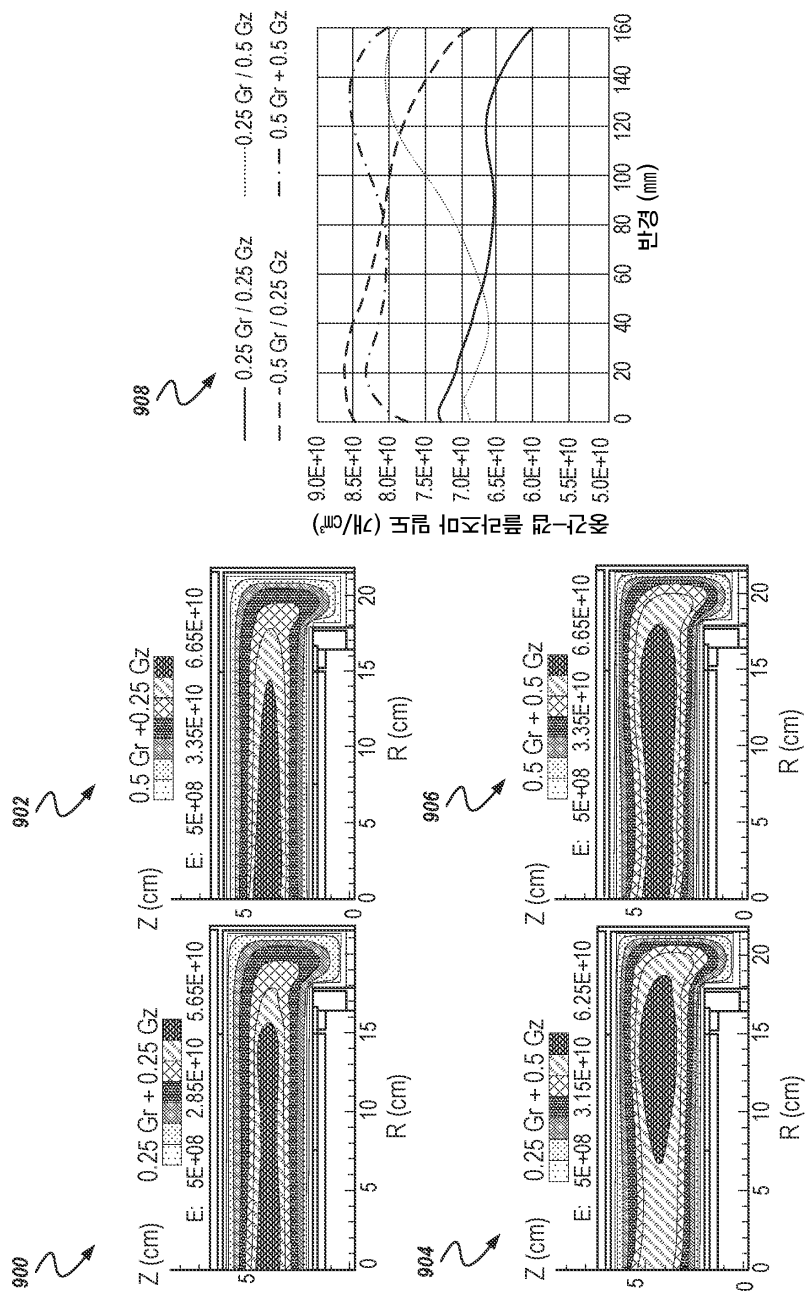
도면7



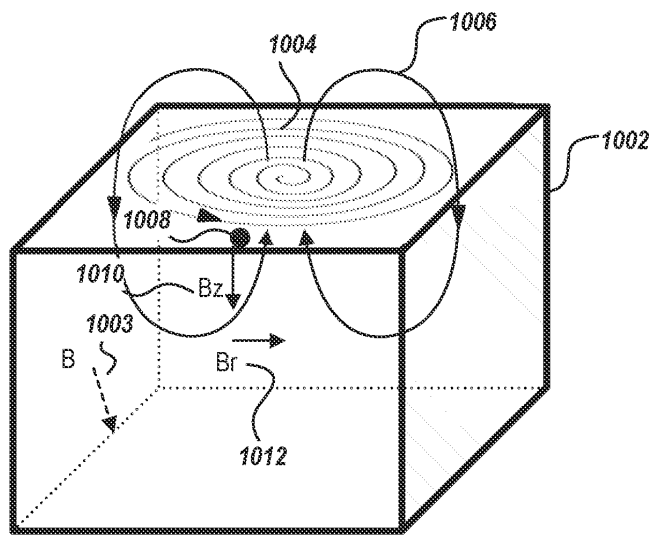
도면8



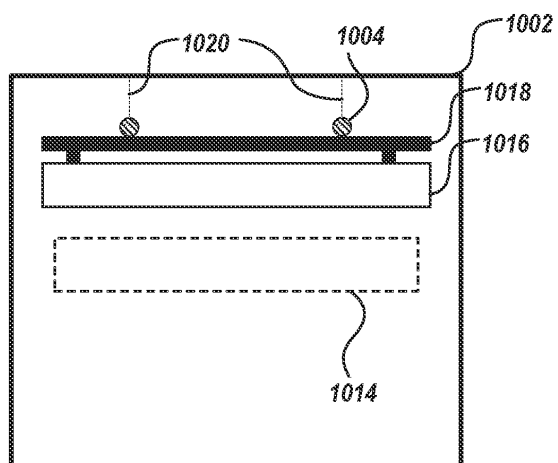
도면9



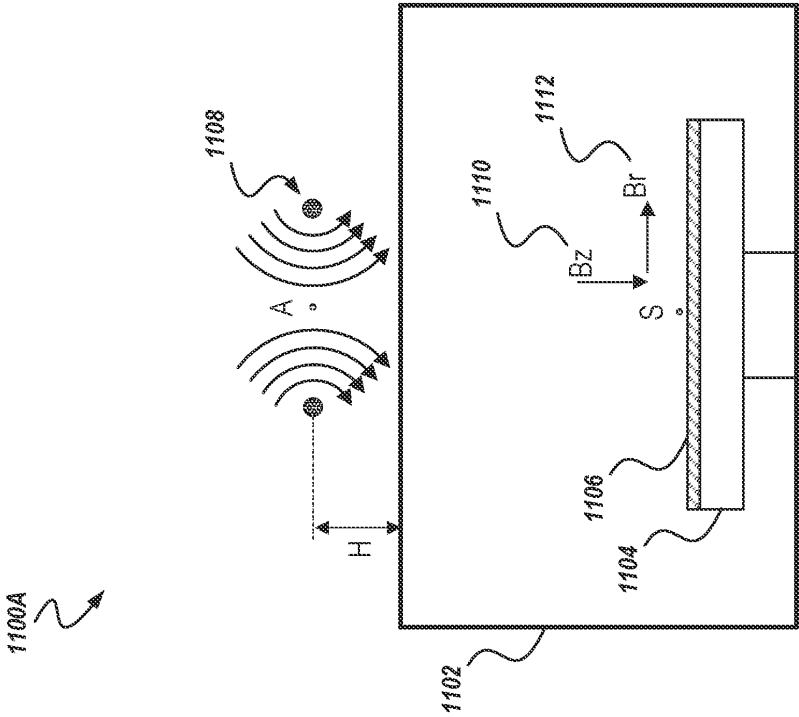
도면10a



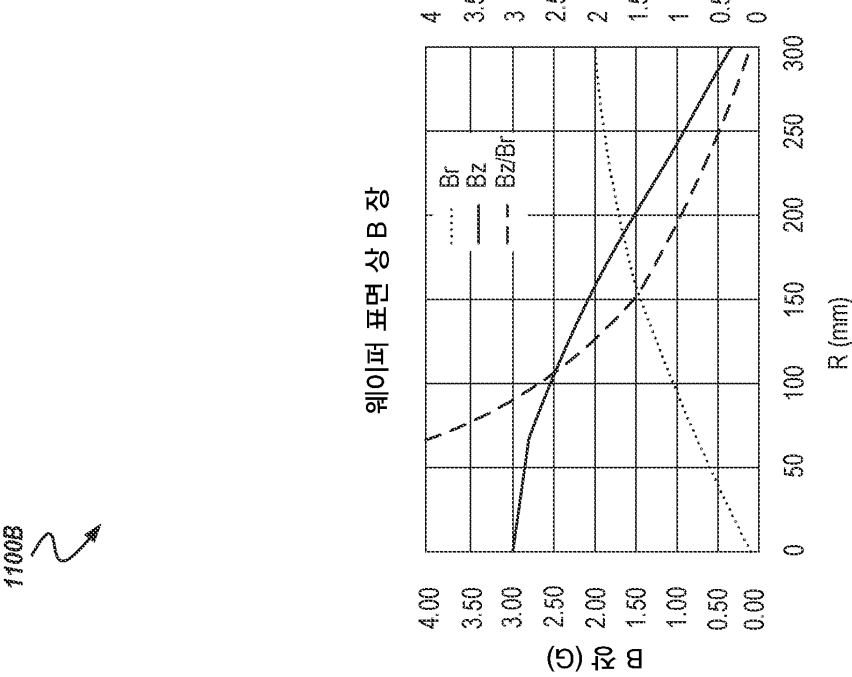
도면10b



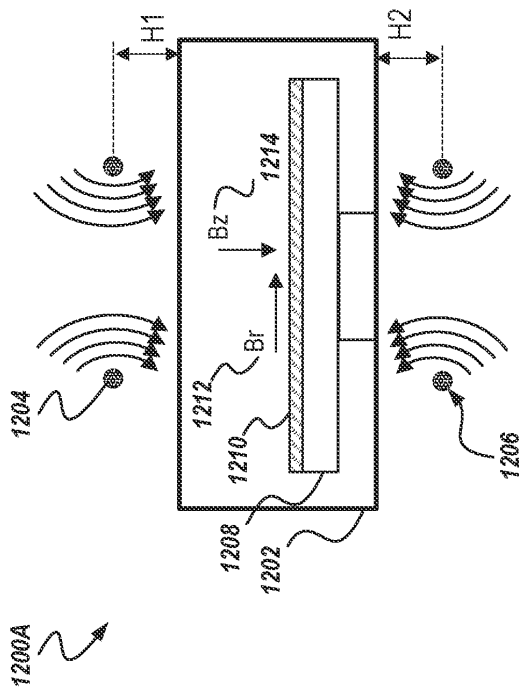
도면11a



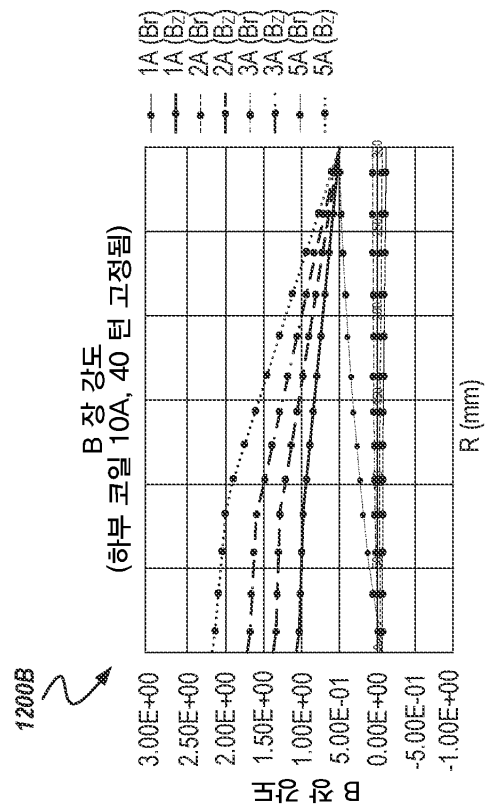
도면11b



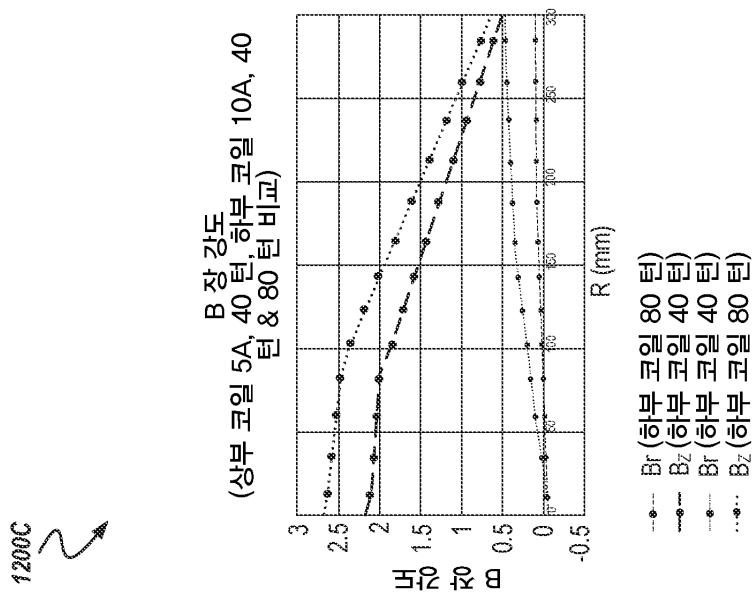
도면12a



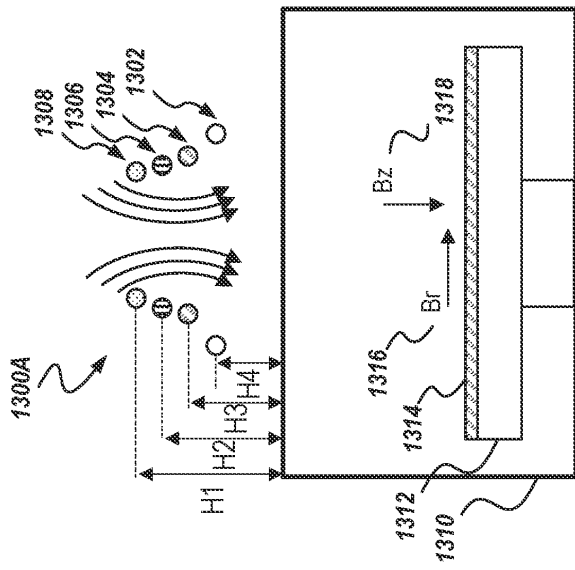
도면12b



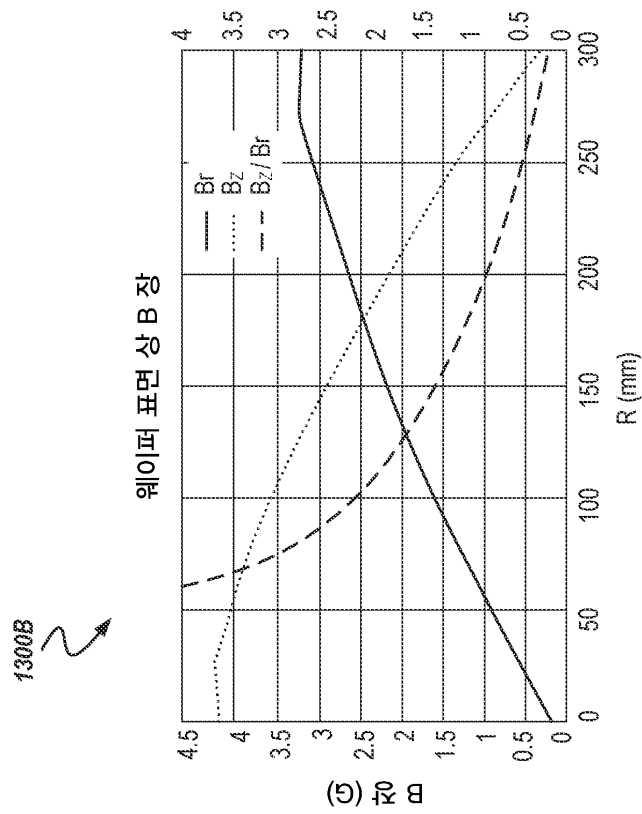
도면12c



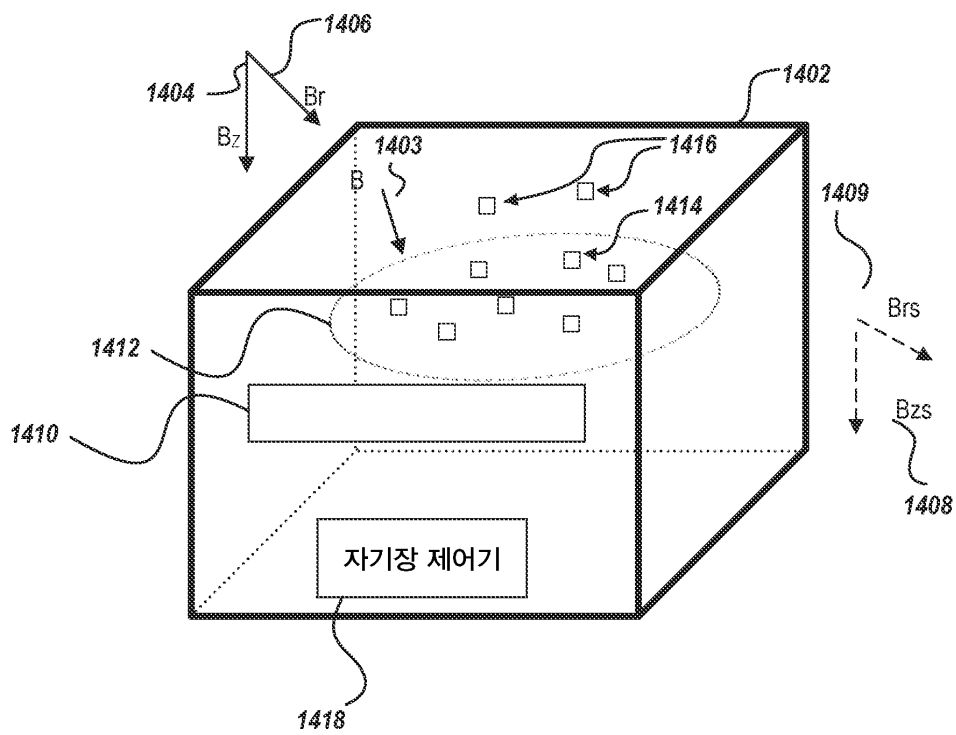
도면13a



도면 13b

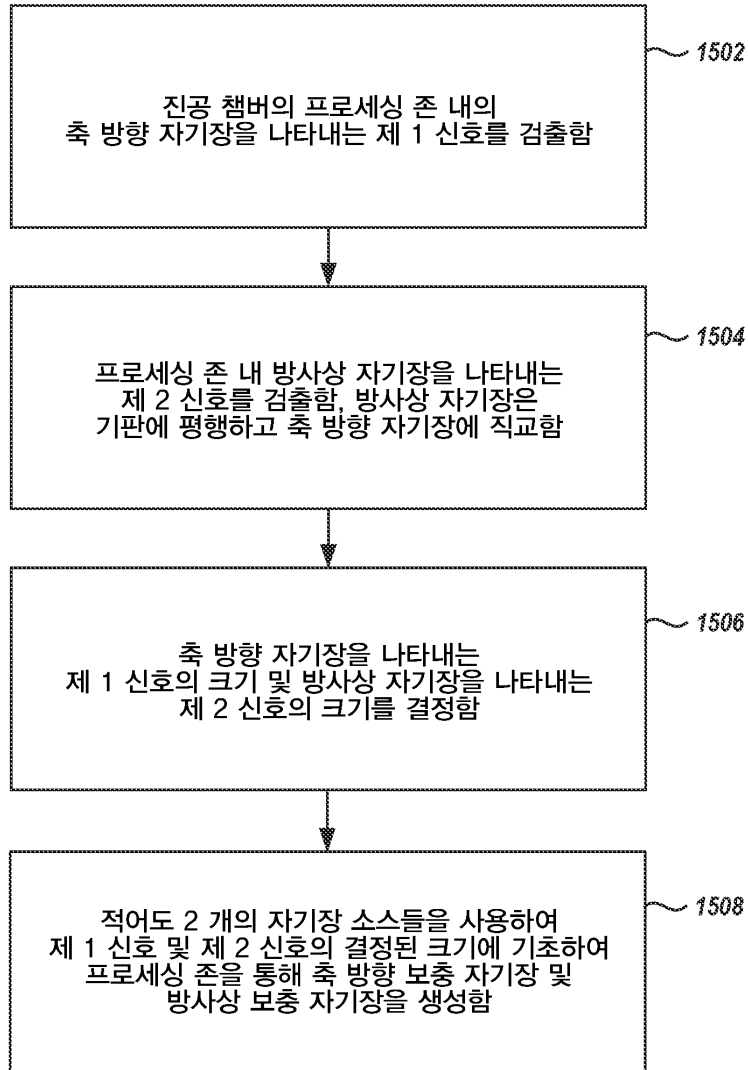


도면14



도면15

1500



도면16

