



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년08월07일
(11) 등록번호 10-2008639
(24) 등록일자 2019년08월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01) H05H 1/46 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/32816 (2013.01)
H01J 37/3211 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-7023083(분할)
(22) 출원일자(국제) 2011년06월30일
심사청구일자 2018년08월10일
(85) 번역문제출일자 2018년08월10일
(65) 공개번호 10-2018-0095103
(43) 공개일자 2018년08월24일
(62) 원출원 특허 10-2013-7003084
원출원일자(국제) 2011년06월30일
심사청구일자 2016년06월27일
(86) 국제출원번호 PCT/US2011/001176
(87) 국제공개번호 WO 2012/018367
국제공개일자 2012년02월09일
(30) 우선권주장
12/852,352 2010년08월06일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020090130907 A*
KR1020040020585 A*
JP11149998 A*
US20100140223 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
램 리써치 코퍼레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이
4650
(72) 발명자
샤지 알리
미국 02493 매사추세츠주 웨스턴 보스턴 포스트
로드 165
고쵸 리차드
미국 94568 캘리포니아주 더블린 무노즈 코트
4150
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
특허법인인벤싱크

전체 청구항 수 : 총 13 항

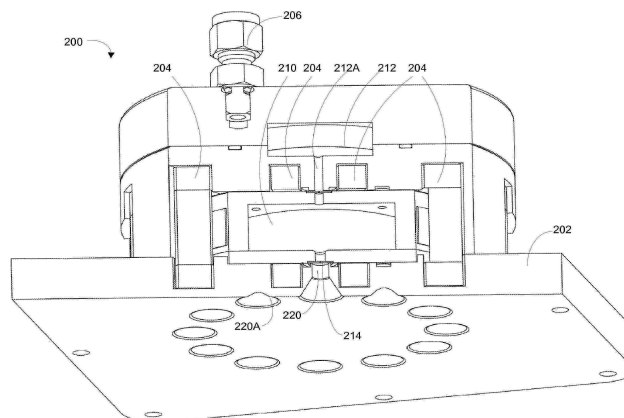
심사관 : 이민형

(54) 발명의 명칭 분배형 멀티존 플라즈마 소스 시스템, 방법 및 장치

(57) 요약

플라즈마 소스는 링 플라즈마 챔버, 링 플라즈마 챔버의 외부 주위의 1차 권선 및 다수의 페라이트들을 포함하고, 링 플라즈마 챔버는 페라이트들의 각각을 통과한다. 플라즈마 생성 시스템 및 방법이 또한 설명된다.

대표도 - 도2d



(52) CPC특허분류

H01J 37/32357 (2013.01)

H01J 37/32422 (2013.01)

H01J 37/32449 (2013.01)

H01J 37/32669 (2013.01)

H05H 1/46 (2013.01)

H01J 2237/334 (2013.01)

H05H 2001/4652 (2013.01)

H05H 2001/4682 (2013.01)

(72) 발명자

벤저룩 사우헤일

미국 03051 뉴햄프셔주 허드슨 세닉 레인 1

카우 앤드류

미국 01810 매사추세츠주 앤도버 스미스샤이어 에
스테이트 23

나가르카티 시드하르트 피

미국 01720 매사추세츠주 액턴 데이비스 로드 23
아파트먼트 비2

엔틀리 윌리엄 알

미국 01880 매사추세츠주 웨이크필드 살렘 스트리
트 215

명세서

청구범위

청구항 1

플라즈마 소스에 있어서,

프로세싱 챔버의 상부에 배치된 복수의 플라즈마 챔버들로서, 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각은 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각을 상기 프로세싱 챔버에 커플링하는 대응하는 복수의 플라즈마 챔버 출구들을 포함하고, 상기 복수의 플라즈마 챔버 출구들 각각은 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각으로부터 상기 프로세싱 챔버 내로 통과하는 플라즈마의 유량 (flow rate) 을 세팅하기 위한 플라즈마 제한부를 포함하는, 상기 복수의 플라즈마 챔버들;

복수의 1차 권선들로서, 상기 복수의 1차 권선들 각각은 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각의 외부를 둘러싸는 (wrapped around), 상기 복수의 1차 권선들; 및

개구를 갖는 복수의 페라이트들; 및

상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각에 커플링된 제어 시스템을 포함하고,

상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각은 상기 복수의 페라이트들의 하나 이상의 상기 개구를 통과하는, 플라즈마 소스.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 플라즈마 챔버들은 동심이고 방사상으로 인접한, 플라즈마 소스.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

프로세스 가스 소스를 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각에 커플링하는 적어도 하나의 프로세스 가스 입구를 더 포함하는, 플라즈마 소스.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

프로세스 가스 소스 및 프로세스 가스 플리넘에 커플링된 적어도 하나의 프로세스 가스 입구; 및

상기 프로세스 가스 플리넘과 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각 사이에 커플링되는 복수의 입구 포트들을 포함하는 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각을 더 포함하는, 플라즈마 소스.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 복수의 입구 포트들은 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각의 주위에 분배된, 플라즈마 소스.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 페라이트들은 대응하는 상기 복수의 플라즈마 챔버들 중 대응하는 플라즈마 챔버의 둘레 주위에 균

등하게 분배된, 플라즈마 소스.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 복수의 페라이트들은 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각의 둘레 주위에 복수의 그룹을 이루어 배치된, 플라즈마 소스.

청구항 9

플라즈마를 생성하는 방법에 있어서,

프로세스 챔버의 상부에 배치된 복수의 플라즈마 챔버들 내로 프로세스 가스를 전달하는 단계로서, 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각은 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각을 상기 프로세스 챔버에 커플링하는, 대응하는 복수의 플라즈마 챔버 출구 포트들을 포함하고, 상기 복수의 플라즈마 챔버 출구 포트들 각각은 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각으로부터 상기 프로세스 챔버 내로 통과하는 상기 플라즈마의 유량을 세팅하기 위한 플라즈마 제한부를 포함하는, 상기 프로세스 가스를 전달하는 단계;

복수의 1차 권선들에 1차 전류를 인가하는 단계로서, 상기 복수의 1차 권선들 각각이 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각의 외부에 감기고 (wound around), 자계가 상기 복수의 1차 권선들에서 생성되고, 상기 자계가 개구를 가지도록 구성된 복수의 페라이트들에 집중되고, 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각이 대응하는 상기 복수의 페라이트들의 개구를 통과하고, 2차 전류가 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각 내의 상기 프로세스 가스에 유도되는, 상기 1차 전류를 인가하는 단계; 및

상기 2차 전류로 상기 복수의 플라즈마 챔버들 내의 상기 프로세스 가스에 상기 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하고,

상기 복수의 플라즈마 챔버들로 전달되는 상기 프로세스 가스의 농도 및 상기 복수의 1차 권선들에 대한 상기 1차 전류는 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각에 커플링된 제어 시스템에 의해 제어되는, 플라즈마를 생성하는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각 내의 상기 복수의 플라즈마 챔버 출구 포트들을 통해 상기 프로세스 챔버로 라디칼 종 및 뉴트럴 종 중 적어도 하나를 전달하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마를 생성하는 방법.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

복수의 출구들을 통해 상기 프로세스 챔버로부터 재결합 산물 및 플라즈마 부산물 중 적어도 하나를 제거하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마를 생성하는 방법.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 플라즈마 챔버들 내로 상기 프로세스 가스를 전달하는 단계는 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각에 적어도 하나의 프로세스 가스 입구로 상기 프로세스 가스를 투입하는 단계를 포함하는, 플라즈마를 생성하는 방법.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 플라즈마 챔버들 내로 상기 프로세스 가스를 전달하는 단계는 유량, 압력, 바이어스 및 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각의 출구 포트 직경 중 적어도 하나를 조절하는 단계를 포함하는, 플라즈마를 생성하는 방법.

청구항 14

제 9 항에 있어서,

적어도 하나의 프로세스 모니터링 센서로부터 프로세스 피드백 신호를 수신하는 단계; 및 유량, 압력, 바이어스 및 상기 복수의 플라즈마 챔버들 각각의 출구 포트 직경 중 적어도 하나의 세트 포인트 (set point) 를 조정하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마를 생성하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 플라즈마 반응 챔버에 관한 것이고, 보다 상세하게는 웨이퍼 프로세싱 챔버로부터 분리된 플라즈마 반응 챔버를 위한 방법, 시스템 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 도 1a는 통상적인 평행판, 용량성 플라즈마 프로세싱 챔버 (100) 의 측면도이다. 도 1b는 통상적인 평행판, 용량성 플라즈마 프로세싱 챔버 (100) 에서 프로세싱되는 기관 (102) 의 평면도이다. 통상적인 플라즈마 프로세스 프로세싱 챔버 (100) 는 상부 전극 (104), 프로세싱될 기관 (102) 을 지지하기 위한 기관 지지체 (106) 를 포함한다. 기관 지지체 (106) 는 또한 하부 전극일 수 있다. 상부 전극 (104) 은 통상적으로 다수의 입구 포트들 (109) 을 갖는 샤워헤드 타입 전극이다. 다수의 입구 포트들 (109) 은 프로세싱 챔버 (100) 의 폭에 걸쳐 프로세스 가스들 (110) 을 안으로 허용한다.

[0003] 통상적인 평행판, 용량성 플라즈마 반응기 (100) 는 등근 평면형 기관들을 프로세싱하는데 사용된다. 공통적인 프로세스들은 유전체 식각 및 다른 식각 프로세스들이다. 그러한 플라즈마 반응기들은 통상적으로 내재적인 뉴트럴 종의 중심-대-에지간 (center-to-edge) 불균일성을 겪는다.

[0004] 비록 이들 시스템들은 잘 작동하지만, 일부는 뉴트럴 종들의 중심-대-에지간 불균일성을 낳고 이 불균일성은, 에지에서 존재하는, 유동 속도, 유효 가스 체류 시간 및 하나 이상의 가스 화학물과 비교하여 기관의 중심에서의 존재하는 유동 속도, 유효 가스 체류 시간, 및 하나 이상의 가스 화학물들 중 하나 이상의 차이로부터 발생한다. 하나 이상의 가스 화학물들은 가스상 해리, 교환 및 재결합 반응들에 의해 야기될 수 있다.

[0005] 예로서, 프로세스 가스들이 프로세싱 챔버의 폭에 걸쳐 도입됨에 따라, 플라즈마 (112) 는 상부 전극 (104) 과 하부 전극 (106) 사이에 형성되고 플라즈마가 형성된다. 플라즈마 부산물 (118) 은 플라즈마 (112) 에서의 라디칼 및 뉴트럴들과 기관 (102) 의 표면과의 반응에 의해 형성된다. 플라즈마 부산물들 (118) 은 기관의 측면들로 그리고 펌프들 (108) 속으로 인출된다. 플라즈마 부산물은 하나 이상의 해리 반응 (예를 들면, $CF_4 + e^- \rightarrow CF_3 + F + e^-$) 및/또는 하나 이상의 이온화 (예를 들면, $CF_4 + e^- \rightarrow CF_3^+ + F$) 및/또는 하나 이상의 여기 (예를 들면, $Ar \rightarrow Ar^+ + e^-$) 및/또는 하나 이상의 어태치먼트 (attachment) (예를 들면, $CF_4 + e^- \rightarrow CF_3 + F^-$) 및/또는 하나 이상의 이성분 반응 (binary reaction) (예를 들면, $CF_3 + H \rightarrow CF_2 + HF$) 을 포함할 수 있다.

[0006] 플라즈마 부산물 (118) 은 에천트, F, CF_x , SiF_2 , SiF_4 , Co, CO_2 를 포함하는 식각 부산물들을 포함할 수 있다. 식각 부산물들은 또한 플라즈마 (112) 에서 해리할 수 있다.

[0007] 재결합은 또한 플라즈마 프로세싱 동안 일어난다. 재결합은 재결합 산물 (120) 을 생성한다. 재결합은 통상적으로, 플라즈마 (112) 로부터 라디칼 및 뉴트럴들이 상부 전극 (104) 의 하부 표면과 같은 표면들에 충돌 (impact) 할 때 일어난다. 다음으로, 재결합 산물 (120) 은, 플라즈마 부산물 (118) 과 유사하게, 기관 (102) 의 측면으로부터 펌프들 (108) 속으로 인출된다. 플라즈마 재결합 산물들 (120) 은 하나 이상의 벽 또는 표면 반응들 (예를 들면, $F + CF \rightarrow CF_2$, 및/또는 $H + H \rightarrow H_2$, 및/또는 $O + O \rightarrow O_2$, 및/또는 $N + N \rightarrow N_2$) 을 포함할 수 있다. 플라즈마 재결합 산물 (120) 은 또한, CF_x 가 챔버 (100) 의 벽 또는 다른 내부 표면 상에 폴리머를 형성하는 성막을 포함할 수 있다.

- [0008] 도 1a에 도시된 바처럼, 오직 명료성 목적을 위해서, 플라즈마 부산물은 기관 (102) 의 일 측면으로부터 인출되고 재결합 산물 (120) 은 기관 (102) 의 반대 측면으로부터 인출된다는 것에 유의해야 한다. 실제 실시에서, 당업자는 재결합 산물 (120) 및 플라즈마 부산물 (118) 양자 모두가 섞이고 기관 (102) 의 양쪽 측면들로부터 펄프들 (108) 또는 다른 수단으로 인출된다는 것을 깨달을 것이다.
- [0009] 플라즈마 프로세싱이 일어남에 따라, 재결합 산물 (120) 및 플라즈마 부산물 (118) 의 농도는 기관 (102) 의 중심에서 에지까지 달라진다. 결과적으로, 플라즈마 (112) 에서 프로세스 가스들, 라디칼 및 뉴트럴 종의 농도는 또한 대응하여 달라진다. 따라서, 효과적인 플라즈마 프로세싱, 이 경우에는 식각이 기관 (102) 의 중심에서 에지까지 달라진다. 하지만, 플라즈마를 감소 또는 제어하기 위해 구현될 수 있는 많은 챔버 구성 (chamber configuration) 및 구조들이 존재한다.
- [0010] 그러한 제어들로, 플라즈마 라디칼 및 뉴트럴 종은 기관 (102) 의 중심부 (102A) 상의 플라즈마 프로세싱 영역들 (114A 및 116A) 에 있는 기관 (102) 의 중심에서 가장 집중된다. 또한, 그 라디칼 및 뉴트럴 종의 농도는 기관 (102) 의 중간부 (102B) 상의 중간 플라즈마 프로세싱 영역들 (114B 및 116B) 에서 약간 덜 집중된다. 또한, 그 라디칼 및 뉴트럴 종의 농도는 기관 (102) 의 에지부 (102C) 상의 에지 플라즈마 프로세싱 영역들 (114C 및 116C) 에서 더 얹어지고 덜 집중된다.
- [0011] 따라서, 플라즈마 프로세싱은, 기관 (102) 의 중간부 (102B) 상의 중간 플라즈마 프로세싱 영역들 (114B 및 116B) 에서 약간 더 느리게 일어나고 기관의 에지부 (102C) 상의 에지 플라즈마 프로세싱 영역들 (114C 및 116C) 의 플라즈마 프로세싱에서 훨씬 더 느리게 일어나는 플라즈마 프로세싱과 비교하여 기관 (102) 의 중심부 (102A) 상의 중심 플라즈마 프로세싱 영역들 (114A 및 116A) 에서 가장 빠르게 일어난다. 이것은 기관 (102) 의 중심-대-에지간 불균일성을 초래한다.
- [0012] 이 중심-대-에지간 불균일성은 매우 큰 중형비를 갖는 소체적 산물 플라즈마 프로세싱 챔버들에서 악화된다. 예를 들면, 매우 큰 중형비는, 기관의 폭 (W) 이 플라즈마 프로세싱 영역의 높이 (H) 의 약 4배 이상인 경우로 정의된다. 플라즈마 프로세싱 영역의 매우 큰 중형비는 플라즈마 부산물 (118) 및 재결합 산물 (120) 을 플라즈마 프로세싱 영역들 (114A 내지 116C) 에 더 집중시킨다.
- [0013] 비록 뉴트럴 종의 이 중심-대-에지간 불균일성은 중심-대-에지간 프로세스 균일성의 유일한 원인은 아니지만, 많은 유전체 식각 애플리케이션들에서 그것은 현저한 요인이다. 특히, 뉴트럴 의존 프로세스들 이를테면 게이트 또는 비트라인 마스크 오픈, 저-k 막 상의 포토레지스트 스트립, 고도 선택성 콘택트 셀 및 비아 식각은 특히 이들 효과에 민감할 수도 있다. 유사한 문제들이, 웨이퍼 유전체 식각에 사용되는 것들 이외에, 다른 평행판 플라즈마 반응기들에서 적용될 수도 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 앞서 말한 것을 고려할 때, 플라즈마 식각 프로세스들에서 중심-대-에지간 균일성을 향상시키기 위한 필요가 존재한다.

과제의 해결 수단

- [0015] 넓게 말해서, 본 발명은 분배형 멀티존 플라즈마 소스를 제공하는 것에 의해 이들 필요를 충족시킨다. 본 발명은, 방법, 장치, 시스템, 컴퓨터 판독가능 매체 또는 디바이스를 포함하는 수많은 방식으로 구현될 수 있다는 점이 인식되어야 한다. 본 발명의 몇몇 발명의 실시형태들이 아래에서 설명된다.
- [0016] 일 실시형태는 링 플라즈마 챔버, 링 플라즈마 챔버의 외부 주위의 1차 권선 및 다수의 페라이트들을 포함하는 플라즈마 소스를 제공하고, 링 플라즈마 챔버는 각각의 페라이트를 통과한다.
- [0017] 플라즈마 챔버는 또한 플라즈마 챔버를 프로세스 챔버에 연결하는 다수의 플라즈마 챔버 출구들을 포함할 수 있다. 플라즈마 챔버는 프로세스 챔버 상부 (process chamber top) 에 포함될 수 있고 프로세스 챔버 상부에 복수의 출구들을 더 포함한다. 출구들중 적어도 하나는 프로세스 챔버 상부에서 실질적으로 중심 위치에 위치될 수 있다.
- [0018] 플라즈마 챔버는 또한 프로세스 가스 소스를 플라즈마 챔버로 연결하는 적어도 하나의 프로세스 가스 입구를 포함할 수 있다. 플라즈마 챔버는 또한 프로세스 가스 플리넘 (plenum) 을 포함할 수 있다. 프로세스 가

스 폴리넴은, 프로세스 가스 소스에 연결되는 적어도 하나의 프로세스 가스 입구 및 프로세스 가스 폴리넴과 플라즈마 챔버 사이에 연결되는 다수의 입구 포트들을 포함할 수 있다. 입구 포트들은 링 플라즈마 챔버의 둘레 주위에 분배될 수 있다.

[0019] 페라이트들은 링 플라즈마 챔버의 둘레 주위에 실질적으로 균등하게 분배될 수 있다. 페라이트들은 링 플라즈마 챔버의 둘레 주위에 다수의 그룹으로 그룹화될 수 있다.

[0020] 링 플라즈마 챔버는 실질적으로 둥근형, 실질적으로 삼각형, 실질적으로 직사각형 또는 실질적으로 다각형 형상으로 이루어지는 형상들의 그룹 중 하나일 수 있다.

[0021] 다른 실시형태는 플라즈마 생성 방법을 제공한다. 본 방법은 링 플라즈마 챔버에 프로세스 가스를 전달하는 단계, 링 플라즈마 챔버의 외부 주위의 1차 권선에 1차 전류를 인가하는 단계, 및 1차 권선에서 자계를 생성하는 단계를 포함한다. 다수의 페라이트들은 자계를 집중시킨다. 링 플라즈마 챔버는 각각의 페라이트들을 통과한다. 2차 전류가 링 플라즈마 챔버에서 프로세스 가스에 유도되고 플라즈마가 2차 전류로 링 플라즈마 챔버에 있는 프로세스 가스에서 생성된다.

[0022] 본 방법은 또한 뉴트럴 중 및 라디칼 중 중 적어도 하나를 프로세스 챔버에 복수의 출구 포트들을 통하여 전달하는 단계를 포함할 수 있고, 복수의 출구 포트들은 플라즈마 챔버를 프로세스 챔버에 연결한다. 본 방법은 또한, 플라즈마 부산물 및 재결합 산물 중 적어도 하나를 프로세스 챔버로부터 프로세스 챔버 상부에 있는 출구들을 통해 제거하는 단계를 포함할 수 있고, 그 출구들 중 적어도 하나는 프로세스 챔버 상부에서 실질적으로 중심 위치에 위치된다.

[0023] 프로세스 가스를 링 플라즈마 챔버로 전달하는 단계는 프로세스 가스를 링 플라즈마 챔버에 적어도 하나의 프로세스 가스 입구로 투입하는 단계를 포함할 수 있다. 프로세스 가스를 링 플라즈마 챔버로 전달하는 단계는, 프로세스 가스 폴리넴과 플라즈마 챔버 사이의 다수의 입구 포트들로 프로세스 가스를 분배시키는 것을 포함하는 프로세스 가스를 프로세스 가스 폴리넴에 투입하는 단계를 포함할 수 있다. 입구 포트들은 링 플라즈마 챔버의 둘레 주위에 분배될 수 있다. 본 방법은 또한 적어도 하나의 프로세스 모니터링 센서로부터 프로세스 피드백 신호를 수신하는 단계 및 적어도 하나의 세트 포인트 (set point) 를 조정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 다른 실시형태는 플라즈마 프로세싱 시스템을 제공한다. 본 시스템은 링 플라즈마 챔버, 링 플라즈마 챔버의 외부 주위의 1차 권선, 다수의 페라이트들로서, 링 플라즈마 챔버가 각각의 페라이트들을 통과하는, 상기 다수의 페라이트들, 플라즈마 챔버를 프로세스 챔버에 연결하는 복수의 플라즈마 챔버 출구들 및 적어도 하나의 프로세스 모니터링 센서를 포함한다. 본 시스템은 또한 링 플라즈마 챔버에 프로세스 가스를 전달하기 위한 로직, 링 플라즈마 챔버의 외부 주위의 1차 권선에 1차 전류를 인가하기 위한 로직, 1차 권선에서 자계를 생성하기 위한 로직, 페라이트들로 자계를 집중시키기 위한 로직으로서, 링 플라즈마 챔버는 복수의 페라이트들의 각각을 통과하는, 상기 자계를 집중시키기 위한 로직, 링 플라즈마 챔버에 있는 프로세스 가스에 2차 전류를 유도하기 위한 로직, 2차 전류로 링 플라즈마 챔버에 있는 프로세스 가스에서 플라즈마를 생성하기 위한 로직, 적어도 하나의 프로세스 모니터링 센서로부터 프로세스 피드백 신호를 수신하기 위한 로직 및 적어도 하나의 세트 포인트를 조정하기 위한 로직을 포함한다.

[0025] 다른 실시형태는 기판을 프로세싱하기 위한 플라즈마 시스템을 제공한다. 본 플라즈마 시스템은 프로세스 챔버 및 다수의 페라이트들을 포함한다. 프로세스 챔버는 베이스, 다수의 측벽들, 베이스에 인접한 기판 지지체 및 프로세스 챔버를 감싸기 (enclose) 위해 측벽들과 인터페이스되는 챔버 상부를 포함한다. 페라이트들은 챔버 상부 위에 배치되어, 페라이트들이 기판 지지체의 영역들 위에 분배되고, 그 영역들은 적어도 기판 지지체의 외부 부분과 기판 지지체의 중심 부분 사이에 연장된다.

[0026] 플라즈마 시스템은 또한, 페라이트들을 따라 전류를 제공하기 위한 전력 공급부를 포함할 수 있고, 페라이트들은 기판 지지체의 영역들 상에 전류를 집중시킨다. 챔버 상부는 다수의 프로세스 가스 입구들 및 다수의 프로세스 가스 출구들을 포함할 수 있다. 프로세스 가스 입구들 및 프로세스 가스 출구들은 챔버 상부 주위에 분배된다.

[0027] 본 발명의 다른 양태들 및 이점들은, 본 발명의 원리들을 예로서 예시하는, 첨부도면들과 함께 취해지는, 다음의 상세한 설명으로부터 분명해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0028]

본 발명은 첨부 도면들과 함께 다음의 상세한 설명에 의해 손쉽게 이해될 것이다.

도 1a는 통상적인 평행판, 용량성 플라즈마 프로세싱 챔버의 측면도이다.

도 1b는 통상적인 평행판, 용량성 플라즈마 프로세싱 챔버에서 프로세싱되는 기관의 평면도이다.

도 2a는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스의 투시도이다.

도 2b는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스의 평면도이다.

도 2c는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스의 2C-2C 단면도이다.

도 2d는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스의 투시 단면도이다.

도 2e는 본 발명의 실시형태들에 따른 프로세스 챔버 상에 장착된 플라즈마 소스의 투시도이다.

도 2f 및 도 2g는 본 발명의 실시형태들에 따른 프로세스 챔버 상에 장착된 플라즈마 소스 (200) 의 추가 투시도이다.

도 2h는 본 발명의 실시형태들에 따른 프로세스 챔버 (230) 상에 장착된 플라즈마 소스의 다른 투시도이다.

도 2i는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 챔버 출구들의 다수의 단면도이다.

도 2j는 본 발명의 실시형태들에 따른 다수의 플라즈마 챔버 출구들의 프로세스 챔버도이다.

도 3a는 본 발명의 실시형태들에 따른 다른 플라즈마 소스의 투시도이다.

도 3b는 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스의 상부 투시도이다.

도 3c는 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스의 하부 투시도이다.

도 3d는 본 발명의 실시형태들에 따른 다른 멀티존 플라즈마 소스의 상부 투시도이다.

도 3e는 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스의 하부 투시도이다.

도 4a 및 도 4b는 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스의 간략화된 구성도이다.

도 5는 본 발명의 실시형태들에 따른 선택적인 플라즈마 제한부의 다양한 크기들에 대한 유동 및 압력 그래프이다.

도 6a는 본 발명의 실시형태들에 따른 예시적인 변압기의 구성도이다.

도 6b는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스에서 단일 링의 페라이트 및 플라즈마 챔버의 구성도이다.

도 7은 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스에서 단일 링의 페라이트들 및 플라즈마 챔버의 전기 구성도이다.

도 8은 본 발명의 실시형태들에 따른 전력 공급부의 전기 구성도이다.

도 9a 내지 도 9c는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스로부터 유동의 유동도이다.

도 10은 본 발명의 일 실시형태에 따른, 본원에 기재된 플라즈마 소스들의 동작에서 실시되는 방법 동작들을 예시하는 플로우차트도이다.

도 11은 본 발명의 실시형태에 따른, 본원에 기재된 하나 이상의 플라즈마 소스들을 포함하는 통합 시스템의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029]

분배형 멀티존 플라즈마 소스 시스템, 방법 및 장치를 위한 몇개의 예시적인 실시형태들을 이제 설명한다. 본 발명은 여기에 제시된 특정 상세들의 일부 또는 전부가 없이 실시될 수도 있음은 당업자에게 자명할 것이다.

[0030]

도 2a는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스 (200) 의 투시도이다. 플라즈마 소스 (200) 는 프로세스 가스 입구 (206), 다수의 페라이트 (204), 플라즈마 소스 상부 (208), 및 챔버 상부 (202) 를 포함한다. 플라즈마 소스 (200) 의 엘리먼트들 (202 내지 208) 의 특정 배열은 도시된 것으로부터 수정될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들면, 챔버 상부 (202) 및 플라즈마 소스 상부 (208) 는 프로세스 챔버 (230) 의

단일 커버로 결합될 수 있다.

- [0031] 도 2b는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스 (200) 의 평면도이다. 도 2c는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스 (200) 의 2C-2C 단면도이다. 도 2d는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 소스 (200) 의 투시 단면도이다. 도 2e는 본 발명의 실시형태들에 따른 프로세스 챔버 (230) 상에 장착된 플라즈마 소스 (200) 의 투시도이다. 프로세스 가스 플리넘 (212) 은 프로세스 가스 입구 (206) 로부터 공급되는 프로세스 가스를 위한 분배 플리넘 (distributing plenum) 으로 도시된다.
- [0032] 프로세스 가스 (110) 는 프로세스 가스 플리넘 (212) 에의 입구 포트 (206) 로 유입된다. 프로세스 가스 플리넘 (212) 은 입구 포트들 (212A) 로 프로세스 가스 (110) 를 분배한다. 입구 포트들 (212A) 은 프로세스 가스 (110) 를 플라즈마 챔버 (210) 로 보낸다. 프로세스 가스 입구 포트들 (212A) 은 프로세스 챔버 출구 (220) 과 정렬되거나 또는 프로세스 챔버 출구 (220) 로부터 오프셋될 수 있다. 프로세스 가스 입구 포트들 (212A) 및/또는 플라즈마 챔버 출구들 (220) 은 페라이트들 (204) 사이에 위치되거나 페라이트들과 정렬되거나 또는 그들의 조합일 수 있다.
- [0033] 페라이트들 (204) 은 선택된 간격들로 플라즈마 챔버 (210) 를 둘러싼다. 페라이트들 (204) 은 각 페라이트의 중심에 인접한 전계가 플라즈마 챔버 (210) 에서 대응하는 지점의 플라즈마를 지속시키기 (support) 에 충분히 강하게 되도록 한다.
- [0034] 아래에 도시된 바처럼, 페라이트들 (204) 은 실질적으로 정사각형인 것으로 도시되어 있지만, 페라이트들은 다른 형상일 수 있다. 페라이트들 (204) 은 다수의 부분들 (224A, 224B, 224C, 224D) 로 만들어지는 것으로 도시되어 있지만, 페라이트들은 하나 이상의 부분들로 만들어질 수 있다. 다수의 페라이트 부분들 (224A, 224B, 224C, 224D) 은 각 페라이트 (204) 의 중심에 인접하게 전계를 집중시키기 위하여 요구되는 바대로 실질적으로 서로 가까울 수 있다. 페라이트들 (204) 은 챔버 상부 (202) 주위에 분배되는 것으로 도시되어 있다. 프로세스 챔버 (230) 는 측벽들 (230') 및 베이스 (230") 를 갖는다. 기판 지지체 (106) 는 베이스 (230") 상에 있거나, 베이스 (230") 근처에 있거나 또는 베이스 (230") 에 인접해 있다.
- [0035] 플라즈마 챔버 출구들 (220) 은 플라즈마 챔버 (210) 를 챔버 상부 (202) 아래의 프로세스 챔버 (230) 에 연결하는 것으로 도시되어 있다. 플라즈마 챔버 출구들 (220) 은 플라즈마 및/또는 라디칼 및/또는 뉴트럴 종들을 플라즈마 챔버 (210) 로부터 그리고 프로세스 챔버 (230) 내에 전달한다.
- [0036] 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 가 또한 도시되어 있다. 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 는 플라즈마 챔버 (210) 와 프로세스 챔버 (230) 사이에 원하는 압력차 (pressure differential) 를 제공하기 위하여 사용될 수 있다. 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 는, 플라즈마가 플라즈마 챔버 (210) 로부터 프로세스 챔버 (230) 로 보내지는 것이 실질적으로 방지되도록, 충분히 작거나 및/또는 바이어스될 수 있다. 또한, 플라즈마 제한부는 플라즈마 챔버 (210) 로부터 이온들을 추출하고 그 이온들을 프로세스 챔버내로 그 다음 웨이퍼 상으로 인출하기 하기 위해 바이어스될 수 있다. 예로서, 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 는 플라즈마 시스 (sheath) 두께의 2배 이하인 직경을 가질 수 있고 이렇게 하여 플라즈마 시스는 플라즈마가 선택적인 플라즈마 제한부를 통과하는 것을 방지할 수 있다. 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 는 약 0.1 mm 와 약 2.0 mm 사이에서 선택된 직경 (예를 들면, 0.1 mm, 0.2 mm, 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm) 을 가질 수 있다. 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 의 중형비는 플라즈마 제한부의 유효성을 조정하기 위하여 사용될 수 있다는 점에 유의해야 한다. 예로서, 더 높은 중형비 (즉, 길이/폭) 플라즈마 제한부 (214) 는 실질적으로 플라즈마를 제한할 수 있는 한편, 뉴트럴 또는 라디칼 종 수송에 최소 영향을 미친다. 또한 더 큰 직경 출구 오리피스가 사용될 수 있다는 점도 이해되어야 한다. 예로서, 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 가 생략될 수 있고 유효 제한부는 플라즈마 챔버 출구들 (220) 의 폭이다. 플라즈마 챔버 출구들 (220) 의 폭은 플라즈마 챔버 (210) 와 프로세스 챔버 (230) 양자 모두에서 실질적으로 등압을 허용하기에 충분히 실질적으로 넓을 수 있다.
- [0037] 도 2i는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라즈마 챔버 출구들 (220) 의 다수의 단면도들을 나타낸다. 도 2j는 본 발명의 실시형태들에 따른 다수의 플라즈마 챔버 출구들 (220) 의 프로세스 챔버도이다. 플라즈마 챔버 출구들 (220) 은, 원하는 폭의 실질적으로 직사각형, 단면 형상을 갖는, 스트레이트 스루 (straight through), 실질적으로 실린더형일 수 있다. 플라즈마 챔버 출구들 (220) 은 선택적인 원뿔형 형상 (220A) 을 포함할 수 있다. 선택적인 원뿔형 형상 (220A) 은 플라즈마 챔버 출구들 (220) 로부터 유동 평활화 (flow smoothing) 및/또는 유동 분배 (flow distribution) 를 제공할 수 있다. 플라즈마 챔버 출구들 (220) 은 또한 다른 선택적인 형상들을 포함할 수 있다. 예로서, 플라즈마 챔버 출구들 (220) 은 더 큰 폭의 같은 형상 (220B) 또는 더 작은 폭의 같은 형상 (220F) 을 포함할 수 있다. 플라즈마 챔버 출구들 (220)

은 선택적인 곡형 또는 보울형 (bowl shaped) 출구 (220C, 220E) 를 포함할 수 있다. 선택적인 곡형 또는 보울형 출구 (220C, 220E) 는 출구 (220C) 와 같은 가장 넓은 지점에서 또는 출구 (220E) 와 같은 가장 넓은 지점보다 작은 더 좁은 지점에서 개구를 가질 수 있다. 선택적인 원뿔형 형상은 원뿔대 (truncated conical) 형상 (220D) 일 수 있다.

[0038] 선택적인 플라즈마 제한부는 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 와 같은 출구 포트 (220) 의 길이를 따라 실질적으로 중심에 위치될 수 있다. 다르게는, 선택적인 플라즈마 제한부는 실질적으로, 선택적인 플라즈마 제한부 (214') 와 같은 출구 포트 (220) 의 플라즈마 챔버 (210) 단부에 위치될 수 있다. 다르게는, 선택적인 플라즈마 제한부는 실질적으로, 선택적인 플라즈마 제한부 (214") 와 같은 출구 포트 (220) 의 프로세스 챔버 (230) 단부에 위치될 수 있다. 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 는 출구 포트 (220) 의 플라즈마 챔버 (210) 단부와 프로세스 챔버 (230) 단부 사이의 출구 포트 (220) 의 길이를 따라 임의의 곳에 위치될 수 있다는 점이 이해되어야 한다.

[0039] 도 2j에 도시된 바처럼, 플라즈마 챔버 출구 (220) 는 임의의 적합한 형상일 수 있다. 예로서, 실질적으로 둥근형 (220), 실질적으로 타원형 (220H), 실질적으로 직사각형 (220I, 220J) 또는 다른 기하학적 형상들 (예를 들면, 삼각형 (220K), 임의의 수의 변을 갖는 다각형 (220L)) 이다. 플라즈마 챔버 출구 (220) 는 실질적으로 날카로운 에지 (220I, 220K, 220L) 또는 실질적으로 곡형 에지 및/또는 변들 (220J, 220M, 220N) 을 포함할 수 있다. 형상들의 조합이 또한, 플라즈마 챔버 출구 (220) 에 포함될 수 있다. 예로서 선택적인 원뿔형 형상 (220A) 은 실질적으로 둥근 형상 (220A) 보다 오히려 더 타원형 형상 (220A') 을 가질 수 있다.

[0040] 챔버 상부 (202) 는 하나 이상의 출구 (234) 들을 포함할 수 있다. 출구들 (234) 은 저압 소스 (lower pressure source) (예를 들면, 진공 펌프) 에 연결된다. 출구들 (234) 은 저압 소스가 플라즈마 챔버 (230) 의 중심 근처로부터 플라즈마 부산물 (118) 및 재결합 산물 (120) 을 빼내는 것을 허용한다. 결과적으로, 플라즈마 부산물 (118) 및 재결합 산물 (120) 은 플라즈마 (410) 및 프로세스 챔버에서 플라즈마에 의해 생성되는 뉴트럴 종 (412) 과 간섭을 일으키지 않는다.

[0041] 프로세스 챔버 (230) 는 로드 포트들 (232) 및 프로세싱될 기관 (102) 을 지지하기 위한 기관 지지체 (106) 를 포함한다. 또한, 당해 기술분야에서 잘 알려져 있는 바처럼 다른 피쳐들이 프로세스 챔버에 포함될 수도 있다.

[0042] 도 2f 및 도 2g는 본 발명의 실시형태들에 따른 프로세스 챔버 (230) 상에 장착된 플라즈마 소스 (200) 의 추가 투시도이다. 플라즈마 소스 상부 (208) 은 추가 상세들을 설명하기 위해 리프트된 상태 (도 2f) 와 제거된 상태 (도 2g) 로 도시되어 있다. 플라즈마 챔버 (210) 는 플라즈마 소스 상부 (208) 또는 프로세스 챔버 (230) 와는 상이한 재료로 구성될 수 있다. 예로서, 플라즈마 챔버 (210) 는 세라믹일 수 있고 플라즈마 소스 상부 (208) 또는 프로세스 챔버 (230) 는 세라믹, 금속 (예를 들면, 알루미늄, 강, 스테인레스 강 등) 일 수 있다. 슬롯들 (226A 및 226B) 은 페라이트들 (204) 의 설치 및 지지를 위해 제공된다.

[0043] 도 2g에 도시된 바처럼, 페라이트들 (204) 은 플라즈마 챔버 (210) 의 외부를 둘러싸는 것으로 도시되어 있다. 플라즈마 챔버 (210) 는, 유전체 이를테면 세라믹 또는 다른 유전체 재료 (예를 들면, 석영, 실리카 (SiO₂), 알루미늄 (Al₂O₃), 사파이어 (Al₂O₃), 알루미늄 니트라이드 (AlN), 이트륨 옥사이드 (Y₂O₃) 및/또는 유사한 재료들 및 이들의 조합) 으로 형성될 수 있다.

[0044] 도 2h는 본 발명의 실시형태들에 따른 프로세스 챔버 (230) 상에 장착된 플라즈마 소스 (200) 의 다른 투시도이다. 도 2h에 도시된 바처럼, 1차 도체 (240) 가 플라즈마 챔버 (210) 를 둘러싸는 것으로 도시되어 있다. 1차 도체 (240) 는 아래의 도 7에서 더 자세하게 설명되는 바처럼 유도성 엘리먼트의 1차 권선이다. 1차 도체 (240) 는 플라즈마 챔버 (210) 주위의 하나 이상의 턴 (turn) 들을 갖는다. 여기에 도시된 바처럼, 1차 도체 (240) 는 플라즈마 챔버 (210) 주위에 2개의 턴을 갖지만, 2개 보다 많은 턴들이 또한 사용될 수 있다.

[0045] 도 3a는 본 발명의 실시형태에 따른 다른 플라즈마 소스 (300) 의 투시도이다. 플라즈마 소스 (300) 는 선택된 간격들에서 플라즈마 챔버를 둘러싸는 다수의 페라이트 엘리먼트들 (204) 을 갖는 플라즈마 챔버 (210) 를 포함한다. 이 경우에 페라이트 엘리먼트들 (204) 은 실질적인 등간격으로 플라즈마 챔버를 둘러싸지만 그것들은 상이한 간격일 수 있다.

[0046] 플라즈마 챔버 (210) 는 대략 원형 또는 이 경우에 다섯 개의 변을 갖는 것과 같은 기하학적 형상일 수 있다. 유사하게, 플라즈마 챔버 (210) 는 원형 또는 3개 이상의 변을 갖는 기하학적 형상일 수 있다. 또한 플

라즈마 챔버 (210) 는 대략 직사각형 또는 대략 원형 또는 둥근 단면 형상을 가질 수 있다는 점에 유의해야 한다. 플라즈마 챔버 (210) 의 내부 표면들은 평활화되고 어떠한 날카로운 (예를 들면, 약 직각 또는 더 예각의) 에지들 또는 코너들도 갖지 않을 수 있다. 예로서, 내부 코너들은 상대적으로 큰 반경 (예를 들면, 플라즈마 챔버의 단면 반경의 약 1/2과 약 2배 사이) 을 갖는 둥근 윤곽 (rounded contour) 을 가질 수 있다. 또한, 단일 프로세스 가스 입구 (206) 가 플라즈마 챔버 (210) 에 연결되는 것으로 도시되지만, 2개 이상의 프로세스 가스 입구들이 플라즈마 챔버에 프로세스 가스를 공급하기 위하여 사용될 수 있다는 점에 유의해야 한다.

[0047] 도 3b는 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스 (320) 의 상부 투시도이다. 멀티존 플라즈마 소스 (320) 는, 예를 들면 내포 링 (nested ring) 들을 이루는 다수의 개별 동심 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310D) 을 포함한다. 동심 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310D) 의 각각은 대응하는 세트의 페라이트들 (204A 내지 204D) 을 가진다.

[0048] 도 3c는 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스 (320) 의 하부 투시도이다. 챔버 상부 (202) 는 다수의 프로세스 출구 포트들 (304A 내지 304E) 및 다수의 플라즈마 출구 포트들 (220A 내지 220D) 을 가진다. 다수의 플라즈마 출구 포트들 (220A 내지 220D) 은 대응하는 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310D) 에 연결된다.

[0049] 도 3d는 본 발명의 실시형태들에 따른 다른 멀티존 플라즈마 소스의 상부 투시도 (330) 이다. 도 3e는 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스 (330) 의 하부 투시도이다. 멀티존 플라즈마 소스 (330) 는 다수의 동심 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310E) 을 포함한다. 동심 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310E) 의 각각은 대응하는 세트의 페라이트들 (204A 내지 204E) 을 가진다.

[0050] 도시된 바처럼, 인접하는 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310E) 의 페라이트들 (204A 내지 204E) 이 영역 (332A 내지 332D) 들에 나타낸 바처럼 약간 오버랩될 수 있다. 예로서, 페라이트 (204B) 의 내부 에지들은 영역 (332A) 에서 페라이트들 (204A) 의 외부 에지들에 오버랩된다. 유사하게, 페라이트 (204B) 의 외부 에지들은 영역 (332B) 에서 페라이트들 (204C) 의 내부 에지들에 오버랩된다. 오버랩되는 페라이트들 (204A 내지 204E) 은 동심 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310E) 이 멀티존 플라즈마 소스 (330) 에서 더 조밀하게 충전되는 것을 허용한다. 따라서 오직 4개 동심 링들 (310A 내지 310D) 을 갖는 도 3b 및 도 3c에 도시된 오버랩되지 않는 페라이트 실시형태와 같은 직경에 더 많은 동심 링들 (310A 내지 310E) (예를 들면, 5개 동심 링들) 이 포함되는 것을 허용한다. 후술되는 바처럼, 각 링 (310A 내지 310E) 은 바이어스, 가스 유동, 농도, RF 전력 등에서 개별적으로 제어될 수 있다. 따라서, 더 많은 수의 동심 링들 (310A 내지 310E) 이 프로세스 챔버 (230) 에서 기관 (102) 의 직경에 걸쳐 프로세스의 더 미세한 튜닝 제어 (fine tuning control) 를 제공한다.

[0051] 페라이트들 (204A 내지 204E) 은 선택적으로 멀티존 플라즈마 소스 (330) 의 다수의 반지름 방향 세그먼트 (radial segment) 들 (즉, 파이 슬라이스 형상들) (334A 내지 334L) 로 배열될 수 있다. 후술되는 바처럼, 각 반지름 방향 세그먼트 (334A 내지 334L) 는 바이어스, 가스 유동, 농도 등에서 개별적으로 제어될 수 있다. 따라서, 반지름 방향 세그먼트들 (334A 내지 334L) 은 프로세스 챔버 (230) 에서 기관 (102) 에 걸쳐 반지름 방향으로 프로세스의 또 다른 미세 튜닝 제어를 제공한다.

[0052] 도 4a 및 도 4b는 본 발명의 실시형태들에 따른 멀티존 플라즈마 소스 (300, 320) 의 간략화된 구성도이다. 챔버 상부 (202) 는 멀티존 플라즈마 소스들 (300, 320) 을 포함한다. 프로세스 챔버 (230) 는 측벽들 (230') 및 베이스 (230'') 를 갖는다. 기관 지지체 (106) 는 베이스 (230'') 상에 있거나, 베이스 (230'') 근처에 있거나 또는 베이스 (230'') 에 인접해 있다. 프로세스 출구 포트들 (304A 내지 304E) 은 기관 (102) 의 폭 W 에 걸쳐 실질적으로 균등하게 플라즈마 부산물 (118) 및 재결합 산물 (120) 을 빼낸다. 결과적으로, 플라즈마 부산물 (118) 및 재결합 산물 (120) 은 플라즈마 (410) 및 플라즈마에 의해 생성되는 뉴트럴 종 (412) 과 간섭을 일으키지 않는다. 그러므로 뉴트럴 종 (412) 은 기관 (102) 의 폭에 걸쳐 실질적으로 균등하게 분배된다. 뉴트럴 종 (412) 은 기관 (102) 의 표면과 반응한다. 뉴트럴 종 (412) 이 기관 (102) 의 폭에 걸쳐 실질적으로 균등하게 분배됨에 따라, 프로세싱 챔버 (230) 에서 적용된 플라즈마 프로세스들 (예를 들면, 식각, 스트립 또는 다른 플라즈마 프로세스들) 의 중심-대-에지간 불균일성이 또한 실질적으로 제거된다.

[0053] 제어기 (420) 는 각 링 (310A 내지 310E) 에 대해 대응하는 제어들 (422A 내지 422E) (예를 들면, 소프트웨어, 로직, 세트 포인트, 레시피 등) 을 포함한다. 프로세스 모니터링 센서들 (424, 426) 은 또한 프로세스 피드백을 제공하기 위하여 제어기 (420) 에 연결될 수 있다. 제어들 (422A 내지 422E) 은 각 링 (310A 내지

310E) 이를테면 바이어스 신호, 전력, 주파수, 프로세스 가스 (110) 압력, 유량 (flow rate) 및 농도를 개별적으로 제어할 수 있다. 따라서, 프로세스 챔버 (230) 에서 기관 (102) 의 직경에 걸쳐 해리된 가스의 반지름 방향 프로파일 제어를 제공한다.

[0054] 다수의 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310E) 의 각각은 독립적으로 프로세싱 챔버 (230) 의 대응하는 영역에서 프로세스들을 조작하도록 제어될 수 있다.

[0055] 유사하게, 다수의 반지름 방향 세그먼트들 (334A 내지 334L) 의 각각은, 다수의 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310E) 의 각 반지름 방향 세그먼트가 독립적으로 프로세싱 챔버 (230) 의 대응하는 영역에서 프로세스들을 조작하도록 제어되는 것을 허용한다. 예로서, 플라즈마 챔버 (310B) 에서 프로세스 가스 (110) 의 유량 및 압력에 대한 프로세스 변수 세트 포인트는 대응하는 제어 (422B) 에 입력된다. 프로세스 모니터링 센서들 (424, 426) 의 적어도 하나는 대응하는 제어 (422B) 에 프로세스 측정 입력을 제공한다. 프로세스 모니터링 센서들 (424, 426) 및 로직 및 소프트웨어로부터 프로세스 측정 입력에 기초하여, 대응하는 제어 (422B) 는 페라이트 (310B) 에의 RF 전력 및 플라즈마 챔버 (310B) 에서 프로세스 가스 (110) 의 유량 및 압력을 위한 변경된 세트포인트들을 출력한다.

[0056] 유사하게, 프로세스들은 멀티존 플라즈마 소스 (200, 300, 310, 320, 330) 의 동심 링 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310E), 및/또는 페라이트들 (204A 내지 204E), 및/또는 반지름 방향 세그먼트들 (334A 내지 334L) 중 하나 이상 또는 조합에 의해 정의되는 각각의 영역들의 각각에서 모니터링 및/또는 제어될 수 있다. 또한, 존들의 각각은, 멀티존 플라즈마 소스들 (200, 300, 310, 320, 330) 이 유효하게 단일 존 플라즈마 소스가 되도록 같은 방식 및 세트포인트들에서 동작될 수 있다는 점이 이해되어야 한다. 또한, 멀티존 플라즈마 소스들 (200, 300, 310, 320, 330) 의 존들 중 일부는, 멀티존 플라즈마 소스들이 더 적은 존들을 갖도록 같은 방식 및 세트포인트들에서 동작될 수 있다.

[0057] 도 5는 본 발명의 실시형태들에 따른 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 의 다양한 크기들에 대한 유동 및 압력 그래프이다. 그래프 (510) 는 0.2 mm의 직경을 갖는 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 에 대한 SCCM (standard cubic centimeters per minute) 단위의 유량이다. 그래프 (520) 는 0.5 mm의 직경을 갖는 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 에 대한 유량이다. 그래프 (530) 은 1.0 mm의 직경을 갖는 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 에 대한 유량이다. 알 수 있는 바처럼, 선택적인 플라즈마 제한부 (214) 의 다양한 크기들은 플라즈마 챔버 (210) 와 프로세스 챔버 (230) 사이의 압력 강하 (pressure drop) 를 결정할 수 있다. 압력 강하가 플라즈마 제한부 (214) 에 걸쳐 초크 유동 (choked flow) 이 일어날 정도이면, 플라즈마 챔버 (210) 로의 질량 유량은 플라즈마 챔버 (210) 에서 압력이 일정할 때 플라즈마 챔버의 감소에 따라 증가하지 않을 것이다.

[0058] 플라즈마 챔버 (210) 에서의 압력을 증가시키는 것은 플라즈마 챔버에서 플라즈마를 지속시키기에 충분한 프로세스 가스 (110) 의 밀도를 제공한다. 고정된 RF 전압에 대해, 프로세스 가스 (110) 로 유도될 필요가 있는 전류는 프로세스 가스 압력에 반비례한다. 그러므로, 플라즈마 챔버 (210) 에서 프로세스 가스 (110) 압력을 증가시키는 것은 플라즈마를 생성하는데 필요한 전류를 감소시킨다. 또한, 플라즈마는 플라즈마를 지속시키기 위하여 프로세스 가스 압력을 필요로 하므로, 플라즈마는 플라즈마 챔버 (210) 에 들어있게 되고 플라즈마 챔버로부터 프로세스 챔버 (230) 로 유동하지 않을 것이다. 결과적으로, 플라즈마 제한부 (214) 는 플라즈마를 플라즈마 챔버 (210) 로 제한할 수 있다.

[0059] 변압기는 1차 권선 및 2차 권선을 갖는다. 1차 권선을 통한 1차 전류는 자계를 생성한다. 자계가 2차 권선을 통과함에 따라, 대응하는 2차 전류가 2차 권선에 유도된다. 페라이트 코어를 갖는 변압기는 자계를 더 작고, 더 밀한 자계로 집중 (즉, 집중) 시키고 따라서 2차 전류를 2차 권선에 더 효율적으로 유도한다. 이것은 매우 효율적인 저 주파수 (예를 들면, 약 13 MHz 미만 그리고 더 상세하게는 10 kHz 과 약 5 MHz 미만 사이 그리고 더 상세하게는 약 10 kHz와 약 1 MHz 미만 사이의) 동작을 허용한다. 저 주파수 동작은 또한 통상적인 고주파수 (예를 들면, 약 13.56 MHz 및 더 높은 주파수) RF 플라즈마 시스템들에 비해 현저히 더 낮은 비용을 제공한다.

[0060] 저 주파수 페라이트 연결 플라즈마 시스템의 추가 이점은 그의 이온 충격 에너지가 낮다는 것이고, 이는 고주파수 RF 시스템에 비해 더 적은 플라즈마 이로전 및 더 적은 온 웨이퍼 퍼티큘레이트 (on-wafer particulate) 를 초래한다. 더 적은 플라즈마 이로전은 플라즈마 챔버 (210) 표면들 및 컴포넌트들 상에서 더 적은 마모 (wear) 및 인열 (tear) 을 초래한다.

- [0061] 도 6a는 본 발명의 실시형태들에 따른 예시적인 변압기 (600)의 구성도이다. 1차 전류 I_p 가 전력 공급부로부터 1차 권선 (620)에 인가된다. 1차 권선 (620)을 통한 1차 전류 I_p 의 유동은 자계 (622)를 페라이트 (204)내에 생성한다. 자계 (622)는 2차 권선 (630)의 중심에 있는 페라이트로부터 나오고 2차 권선에서 2차 전류 I_s 를 유도한다.
- [0062] 도 6b는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라스마 소스 (200, 300, 310, 320, 330)에서 단일 링의 페라이트 (204) 및 플라스마 챔버 (210)의 구성도이다. 도 7은 본 발명의 실시형태들에 따른 플라스마 소스 (200, 300, 310, 320, 330)에서 단일 링의 페라이트들 (204) 및 플라스마 챔버 (210)의 전기 구성도 (electrical schematic; 700)이다. 여기에 기재된, 플라스마 소스 (200, 300, 310, 320, 330)에서, 1차 권선 (240)은 각 플라스마 챔버 (210)주위에 그리고 페라이트들 (204)의 각각의 세트 (204A 내지 204E) 각각 내부에 싸여진다. 2차 권선은 플라스마 챔버 (210)내부의 프로세스 가스 (110)이다.
- [0063] 1차 전류 I_p 가 전력 공급부 (702)로부터 1차 권선 (240)에 인가된다. 전력은 RF (예를 들면, 약 10 kHz 내지 약 1 MHz 이상 또는 약 10 kHz 내지 약 5 MHz 또는 약 10 kHz 내지 약 13 MHz 미만 사이의)일 수 있다. 1차 권선 (240)을 통한 1차 전류 I_p 의 유동은 자계 (622)를 페라이트 (204)에 생성한다. 자계 (622)는 플라스마 챔버 (210)내부의 프로세스 가스 (110)에서 2차 전류 I_s 를 유도한다. 결과적으로, 프로세스 가스는 플라스마 (410)를 형성하기에 충분히 여기된다.
- [0064] 도 8은 본 발명의 실시형태들에 따른 전력 공급부 (702)의 전기 구성도이다. 전력 공급부 (702)는 전원 (802)으로부터 AC 전력을 DC 전력으로 전환하기 위한 정류기 (804)를 포함한다. 필터 (808)은 정류기 (804)의 출력을 필터링한다. 필터링된 DC는 필터 (808)로부터 인버터 (810)로 전달된다. 인버터 (810)는 필터링된 DC를 원하는 주파수, 전압 및 전류의 AC 신호로 전환한다. 공진 회로 (812)는 공진에서 로드에서 원하는 AC 신호를 효율적으로 전달하도록 플라스마 챔버 로드 (814)와의 공진을 매치 (match)시킨다.
- [0065] 제어기 (820)는 전력 공급부 (702)를 제어한다. 제어기 (820)는, 시스템 제어기 또는 더 큰 영역 제어 시스템 (미도시)에의 링크 (예를 들면, 네트워크)를 포함할 수도 있는 사용자 인터페이스 (822)를 포함한다. 제어기 (820)는 컴포넌트들 (804, 808, 810, 812)에 직접 그리고 센서들 (806A, 806B, 806C)을 통하여, 그의 동작을 모니터링 및 제어하기 위해, 연결된다. 예로서, 제어기 (820)는 전력 공급부 (702)내의 전력 신호들의 전압, 전류, 전력, 주파수 및 위상 (phase) 중 하나 이상을 모니터링한다.
- [0066] 도 9a 내지 도 9c는 본 발명의 실시형태들에 따른 플라스마 소스 (300, 310, 320, 330)로부터 유동의 유동도이다. 라디칼 및 뉴트럴 유동 (902)은 플라스마 챔버 (304A 내지 304F)로부터 기판 (102)을 향해 대략 부채 형상 (approximant fan shape)으로 유동하는 것으로 도시되어 있다. 부채 형상은 출구 포트들 (220)에서 시작하고 그것이 웨이퍼 (102)에 접근함에 따라 확대된다. 플라스마 챔버 (304A 내지 304F)를 통해 유동하는 가스는 유량 Q 및 압력 P_s 를 갖는다. 압력 P_c 는 프로세스 챔버 (230)에서의 압력이다. P_s 와 P_c 사이의 차이는 라디칼 및 뉴트럴 유동 (902)이 웨이퍼 (102)쪽으로 확대되는 것을 허용한다.
- [0067] 이제 도 9b를 참조하면, 라디칼 및 뉴트럴 유동 (902)의 농도 (920)는 출구 포트들 (220)간의 거리 L 과 프로세스 챔버 (230)의 높이 H 의 함수이다. 출구 포트들 (220)간의 거리 L 이 너무 크면, 라디칼 및 뉴트럴 유동 (902)의 농도 (920)가 웨이퍼 (102)의 표면과 반응하기에 불충분한 영역들 (904)이 존재하게 된다. 유사하게, 프로세스 챔버 (230)의 높이 H 가 너무 작으면, 라디칼 및 뉴트럴 유동 (902)의 농도 (920)가 웨이퍼 (102)의 표면과 반응하기에 불충분한 영역들 (904)이 존재하게 된다. 도 9c는 다음과 같은 높이 H 와 거리 L 의 이상적인 관계식을 나타낸다:
- $$R = R(x, H, L)$$
- $$\text{식중 : } R(x) = (n_{\text{total}} - n_0)/n_0$$
- $$\text{및 } n_{\text{total}}(x) = \sum_i n_i$$
- [0068]
- [0069] 거리 L 이 대략 높이 $H/2$ 와 같으면, 웨이퍼의 표면에 걸친 라디칼 및 뉴트럴들의 농도의 변화는 최소화될 수 있다. 다르게는, 거리 L 과 높이 H 의 관계를 증가 또는 감소시키는 것은 웨이퍼의 표면에 걸친 라디칼 및 뉴트럴들의 농도의 변화를 허용할 수 있다.
- [0070] 도 10은 본 발명의 일 실시형태에 따른, 플라스마 소스 (200, 300, 310, 320, 330)의 동작에서 실시되는 방법

동작들을 예시하는 플로우차트도이다. 여기에 예시된 동작들은, 일부 동작들이 서브 동작들을 가질 수도 있고 다른 경우들에서 여기에 기재된 어떤 동작들은 예시된 동작들에 포함되지 않을 수도 있다는 것이 이해되어야 하는 바와 같이, 예시로서 주어진다. 이를 감안하면서, 방법 및 동작들 (1000) 을 이제 설명한다.

- [0071] 동작 (1005) 에서, 프로세스 가스 (110) 는 플라즈마 챔버 (210) 에 전달된다. 동작 (1010) 에서, 프로세스 가스 (110) 는 플라즈마 챔버 (210) 에서 제 1 압력으로 유지된다. 제 1 압력은 플라즈마 챔버의 출구 포트들 (220) 의 세트에 연결되는 프로세스 챔버 (230) 의 압력의 2배 이상과 같거나 또는 2배 이상까지일 수 있다.
- [0072] 동작 (1015) 에서, 1차 전류 I_p 가 플라즈마 챔버 (210) 의 외부 둘레에 둘러싸여진 1차 권선 (240) 에 인가된다. 동작 (1020) 에서, 1차 전류 I_p 는 자계를 생성한다. 동작 (1025) 에서, 하나 이상의 페라이트들 (204) 은 플라즈마 챔버 (210) 의 대략 중심부에 자계를 집중시킨다. 페라이트들 (204) 은 플라즈마 챔버 (230) 주위에 형성된다.
- [0073] 동작 (1030) 에서, 자계는 플라즈마 챔버 (210) 에 있는 프로세스 가스 (110) 에서 2차 전류 I_s 를 유도한다. 동작 (1035) 에서, 2차 전류 I_s 는 플라즈마 챔버 (210) 에 있는 프로세스 가스 (110) 에서 플라즈마를 생성한다. 동작 (1040) 에서, 플라즈마 및 플라즈마에 의해 생성된 라디칼 및 뉴트럴들의 일부가 플라즈마 챔버 (210) 로부터 플라즈마 챔버 출구 (220) 들을 통해 그리고 프로세스 챔버 (230) 속으로 보내진다.
- [0074] 동작 (1045) 에서, 라디칼 및 뉴트럴들은 기관 (102) 및 프로세싱 챔버 (230) 와 상호작용하여 플라즈마 부산물 (118) 및 재결합 산물 (120) 을 생성한다. 동작 (1050) 에서, 플라즈마 부산물 (118) 및 재결합 산물 (120) 은 하나 이상의 프로세스 출구 포트들 (304A 내지 304E) 을 통해 프로세싱 챔버로부터 인출된다. 하나 이상의 프로세스 출구 포트들 (304A 내지 304E) 은 프로세스 챔버 상부 (202) 의 표면에 걸쳐 또는 기관 지지체 (106) 의 에지들을 따라 또는 기관 지지체 아래, 이를테면 프로세스 챔버의 베이스에 또는 이들의 조합으로 분배되고 그 방법 동작들은 종료될 수 있다.
- [0075] 도 11은 본 발명의 실시형태에 따른, 플라즈마 소스들 (200, 300, 320) 을 포함하는 통합 시스템 (1100) 의 블록도이다. 통합 시스템 (1100) 은 플라즈마 소스들 (200, 300, 320), 및 플라즈마 소스들에 연결된 통합 시스템 제어기 (1110) 를 포함한다. 통합 시스템 제어기 (1110) 는 사용자 인터페이스 (1114) 를 포함하거나 또는 (유선 또는 무선 네트워크 (1112) 를 통하여) 사용자 인터페이스 (1114) 에 연결된다. 사용자 인터페이스 (1114) 는 사용자 관독가능 출력들 및 표시들을 제공하고 사용자 입력들을 수신할 수 있고 통합 시스템 제어기 (1110) 에의 사용자 액세스를 제공한다.
- [0076] 통합 시스템 제어기 (1110) 는 전용 컴퓨터 또는 범용 컴퓨터를 포함할 수 있다. 통합 시스템 제어기 (1110) 는 컴퓨터 프로그램들 (1116) 을 실행하여 플라즈마 소스들 (200, 300, 320) 을 위한 데이터 (1118) (예를 들면, 성능 히스토리, 성능 또는 결합의 분석, 오퍼레이터 로그, 및 히스토리 등) 을 모니터링, 제어 및 수집 및 저장할 수 있다. 예로서, 통합 시스템 제어기 (1110) 는, 플라즈마 소스들 (200, 300, 320) 및/또는 거기의 컴포넌트들 (예를 들면, 동심 링 플라즈마 챔버들 (310A 내지 310E) 또는 페라이트들 (204, 204A 내지 204E) 중 하나 등) 의 동작들을, 수집된 데이터가 그의 동작의 조정을 지시하면, 조정할 수 있다.
- [0077] 위의 실시형태들을 감안하면서, 본 발명은 컴퓨터 시스템들에 저장된 데이터를 수반하는 다양한 컴퓨터 구현된 동작들을 채용할 수도 있다는 점이 이해되어야 한다. 이들 동작들은 물리적인 양의 물리적인 조작을 필요로 하는 것들이다. 보통, 꼭 그렇지는 않더라도, 이들 양들은, 저장, 전송, 결합, 비교 및 그렇지 않으면 조작될 수 있는 전기 또는 자기 신호들의 형태를 취할 수도 있다. 또한, 수행되는 조작들은 종종, 생성, 식별, 결정 또는 비교와 같은 용어들로 지칭된다.
- [0078] 본 발명의 부분을 형성하는 여기에 기재된 동작들 중 임의의 것은 유용한 기계 동작들이다. 본 발명은 또한, 이들 동작들을 수행하기 위한 디바이스 또는 장치에 관한 것이다. 장치는 필요한 목적을 위해 특별히 구성될 수도 있거나, 또는 그것은 컴퓨터에 저장된 컴퓨터 프로그램에 의해 선택적으로 활성화되거나 또는 구성되는 범용 컴퓨터일 수도 있다. 특히, 다양한 범용 머신들이 본원의 교시에 따라 작성된 컴퓨터 프로그램들로 사용될 수도 있거나, 필요한 동작들을 수행하기 위하여 더 특수화된 장치를 구성하는 것이 더 편리할 수도 있다.
- [0079] 본 발명은 또한 컴퓨터 관독가능 매체 상에 컴퓨터 관독가능 코드 및/또는 로직으로서 수록 (embody) 될 수도 있다. 컴퓨터 관독가능 매체는, 나중에 컴퓨터 시스템에 의해 관독될 수 있는 데이터를 저장할 수 있는 임의의 데이터 저장 디바이스이다. 컴퓨터 관독가능 매체의 예들은 하드 드라이브, NAS (network attached

storage), 로직 회로, 판독 전용 메모리, 랜덤 액세스 메모리, CD-ROM, CD-R, CD-RW, 자기 테이프, 및 다른 광학 및 비광학 데이터 저장 디바이스를 포함한다. 컴퓨터 판독가능 매체는 또한, 컴퓨터 판독가능 코드가 분배된 방식으로 저장되고 실행되도록 네트워크 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분배될 수 있다.

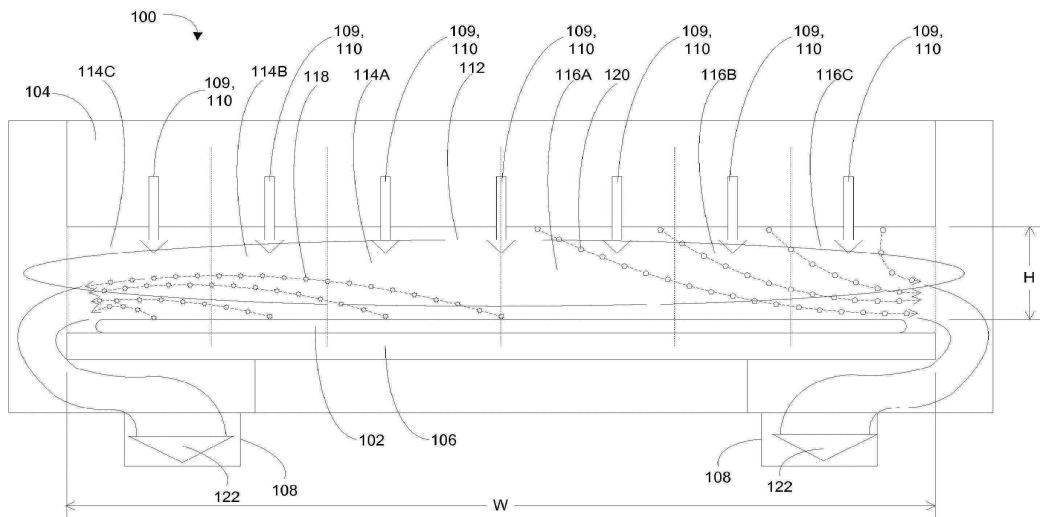
[0080] 또한, 위의 도면들에서의 동작들에 의해 표현된 명령들은 예시된 순서대로 수행될 필요는 없고 그 동작들에 의해 표현된 모든 프로세싱은 본 발명을 실시하기 위해 필요하지 않을 수도 있다는 점이 인식될 것이다. 또한, 위의 도면들 중 어느 것에 설명된 프로세스들은 또한, RAM, ROM 또는 하드 디스크 드라이브 중 어느 하나 또는 조합에 저장된 소프트웨어에서 구현될 수 있다.

[0081] 이전의 본 발명은 이해를 명확하게 하기 위하여 어느 정도 자세히 설명되었지만, 어떠한 변화 및 변경들이 첨부된 청구항들의 범위 내에서 실시될 수도 있다는 것이 분명할 것이다. 따라서, 본 발명의 실시형태들은 제한적인 것이 아니라 예시적인 것으로 고려되어야 하고, 본 발명은 여기에 주어진 상세들에 한정되는 것이 아니라 첨부된 청구항의 범위 및 균등물 내에서 변경될 수도 있다.

도면

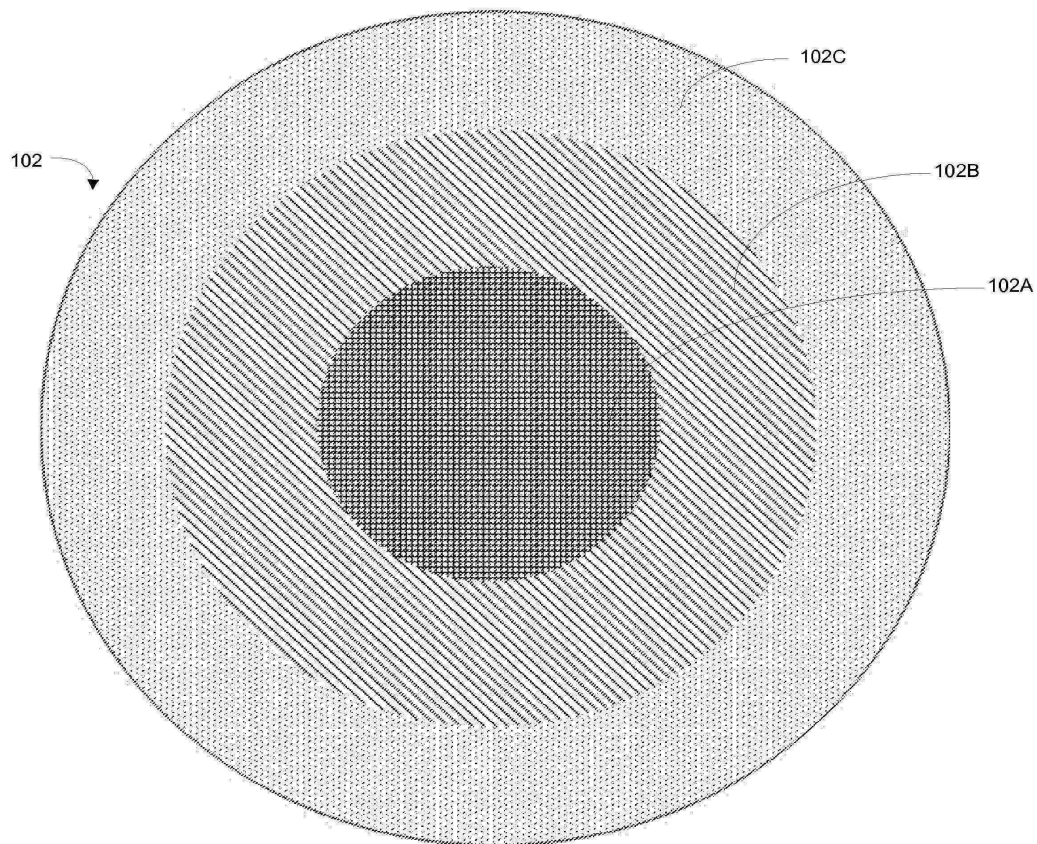
도면1a

종래 기술

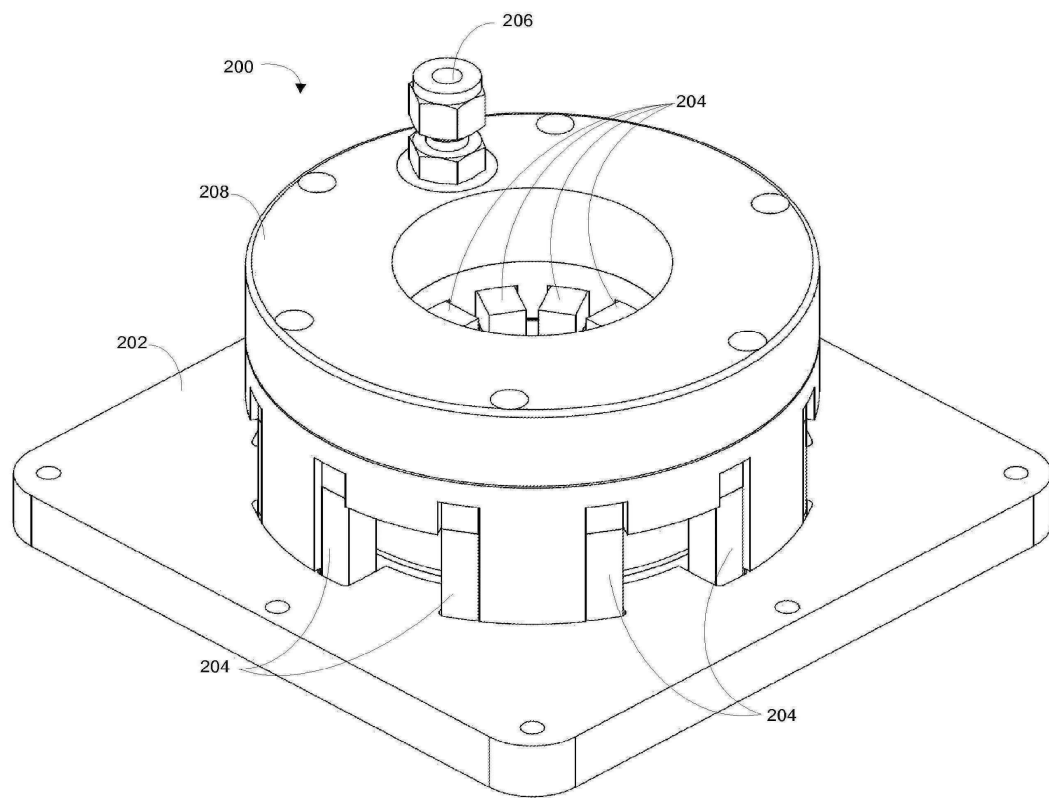


도면1b

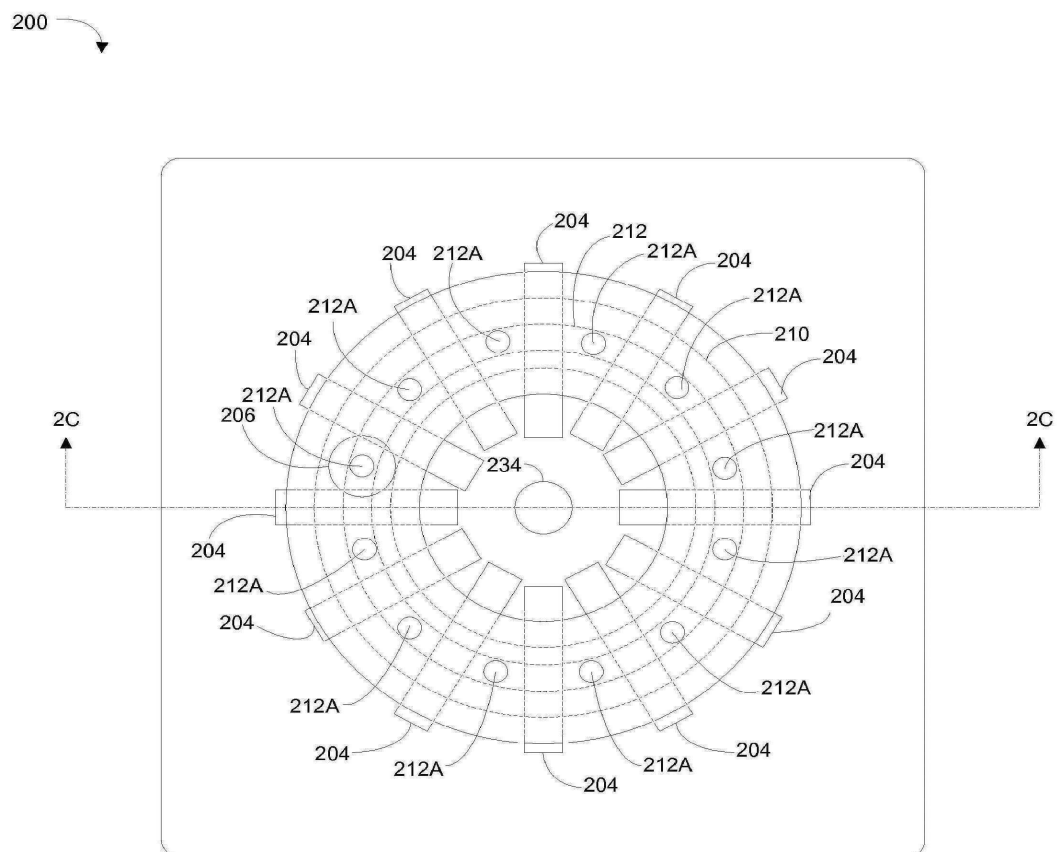
종래 기술



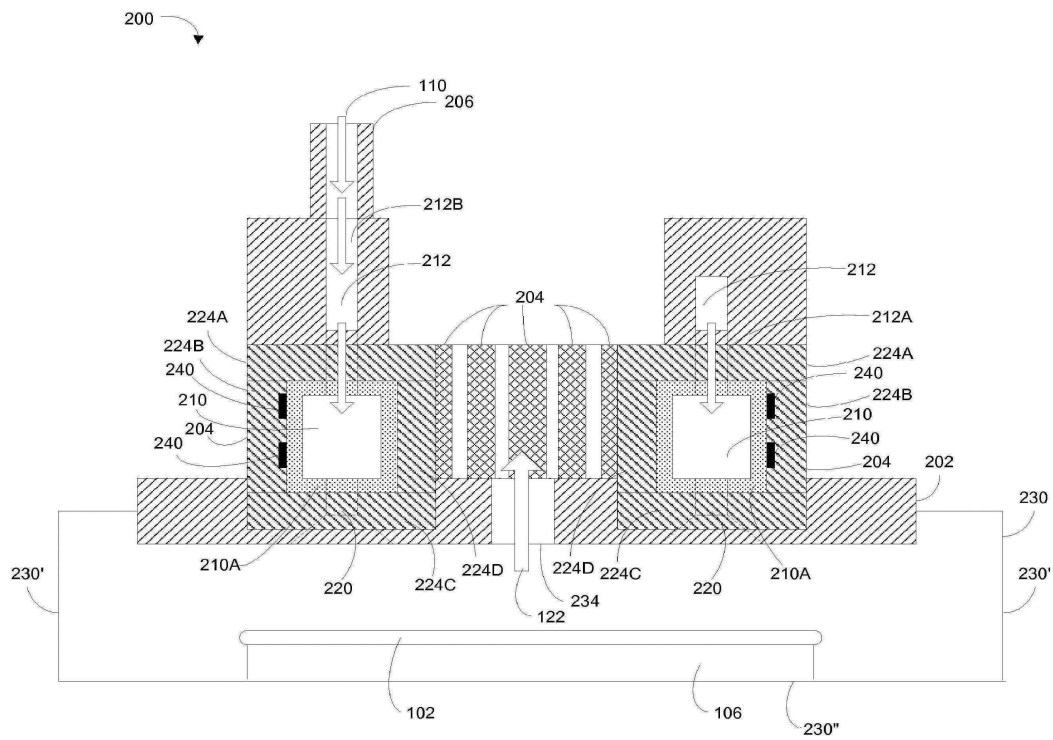
도면2a



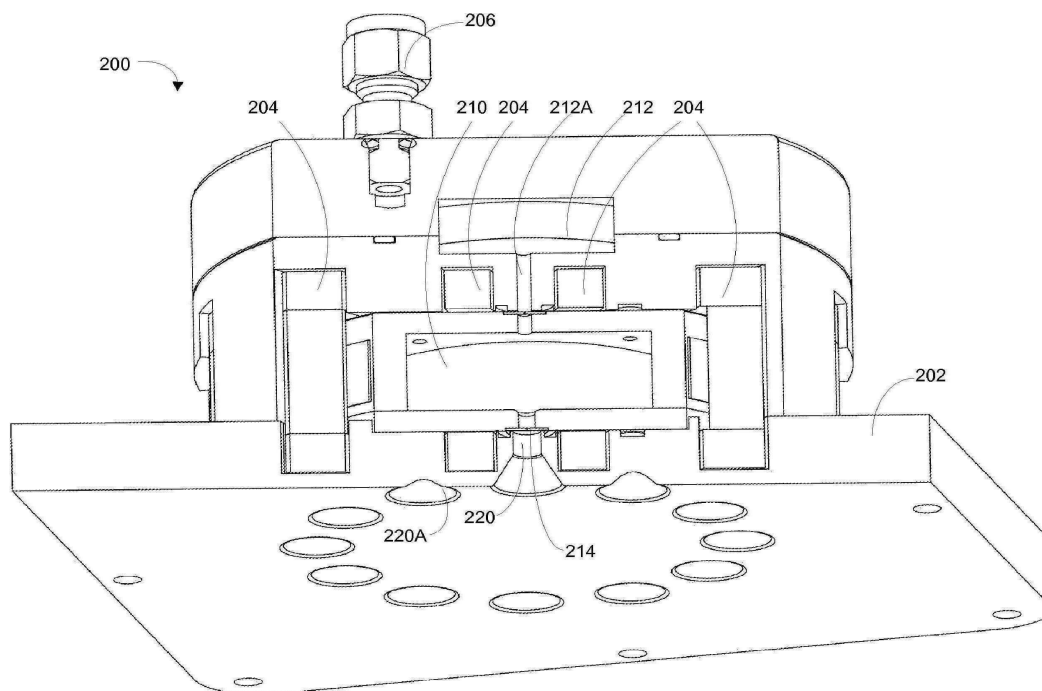
도면2b



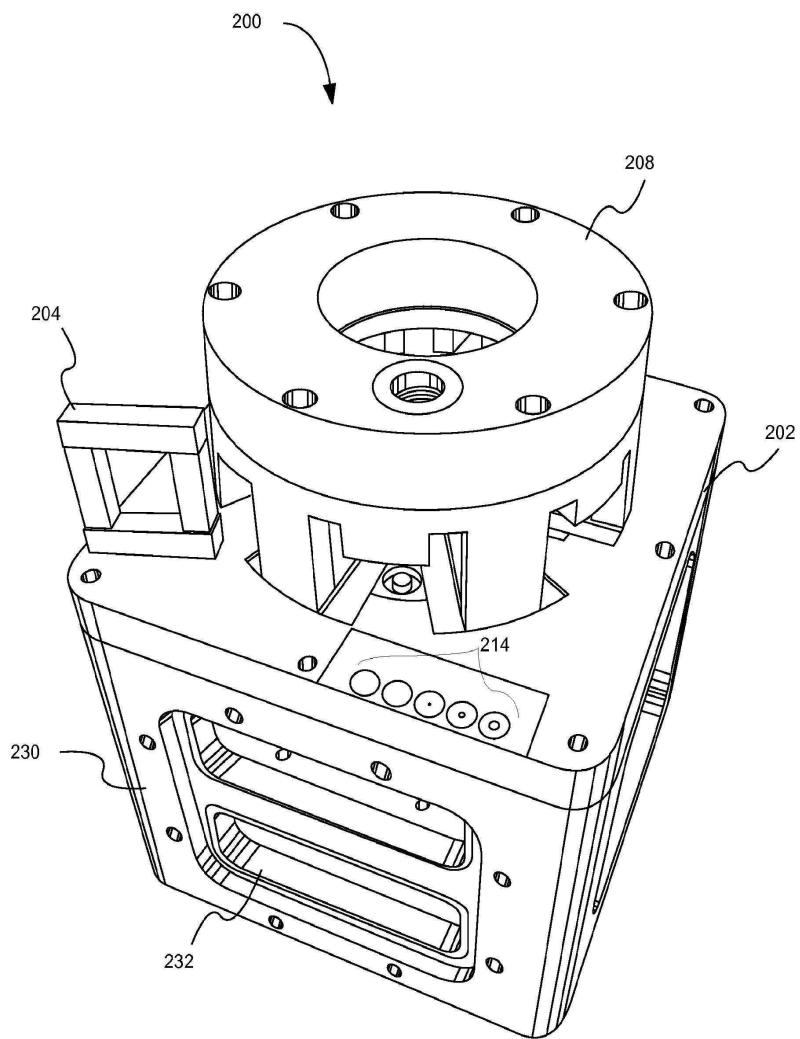
도면2c



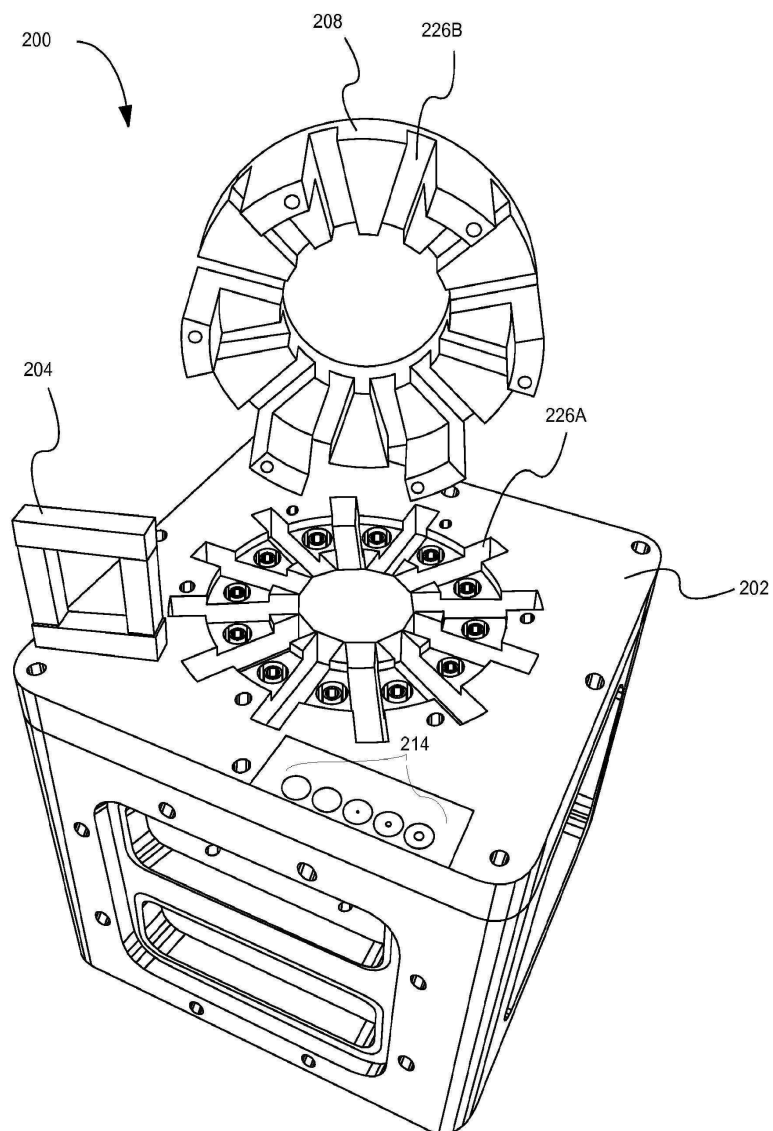
도면2d



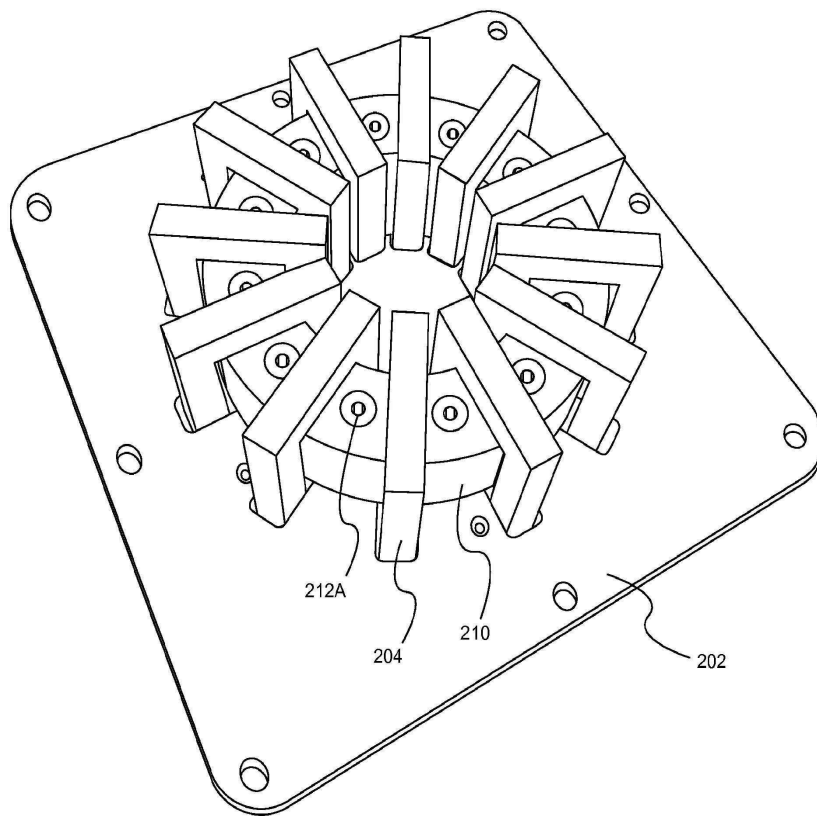
도면2e



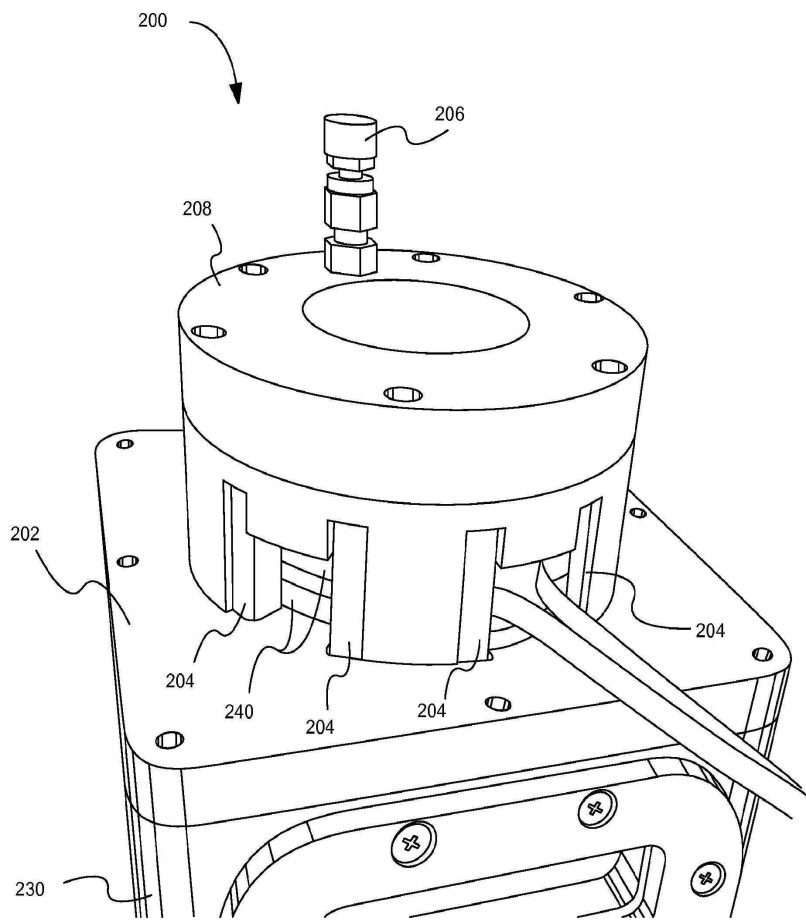
도면2f



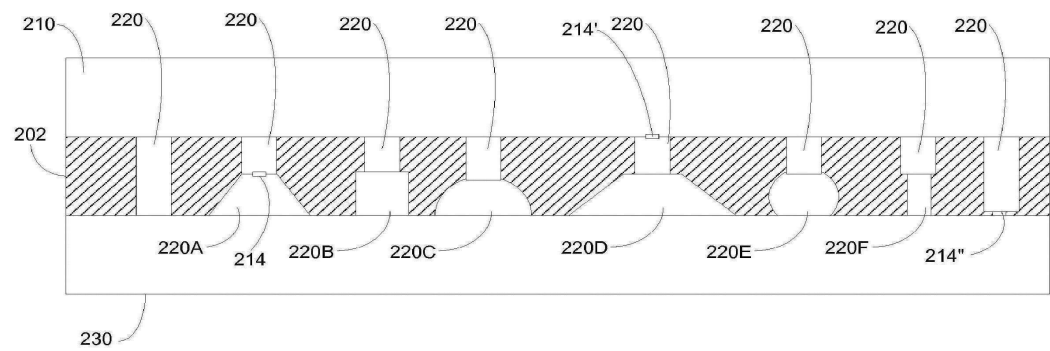
도면2g



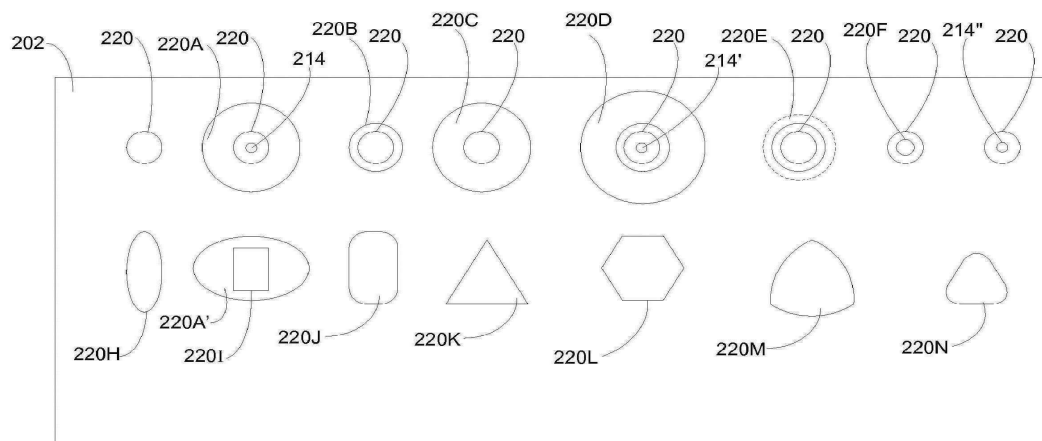
도면2h



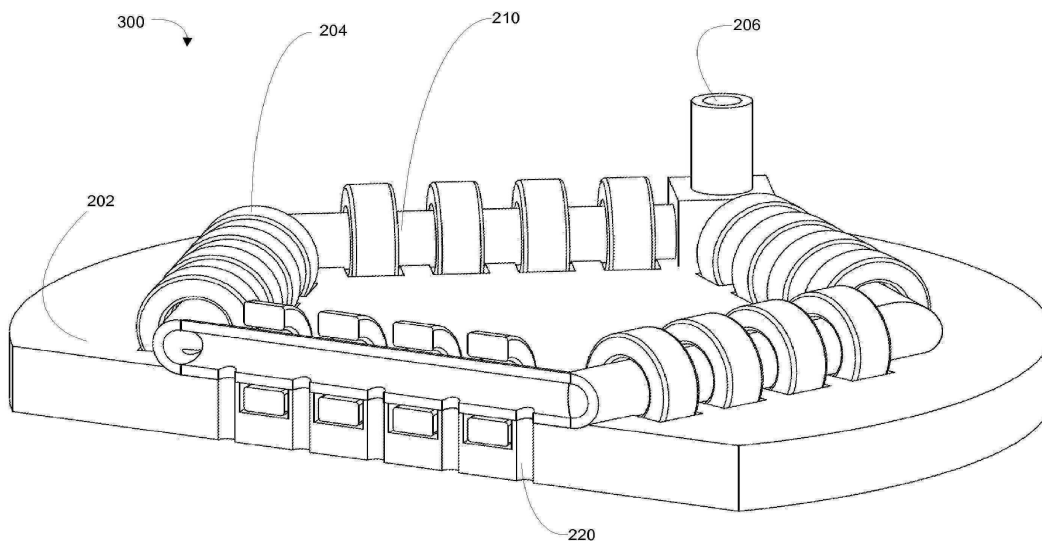
도면2i



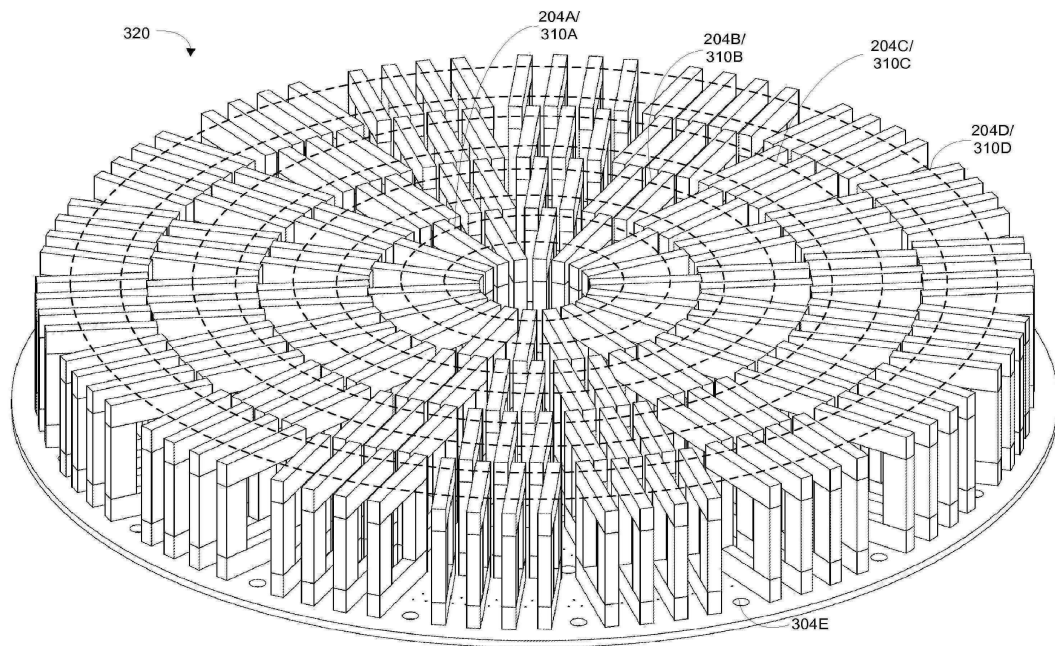
도면2j



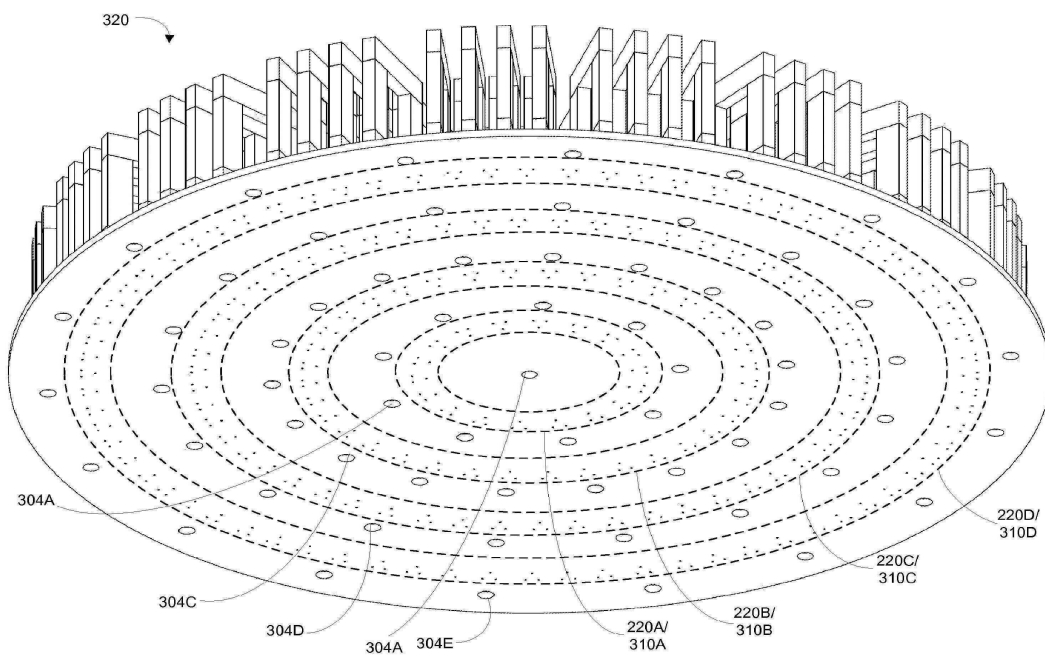
도면3a



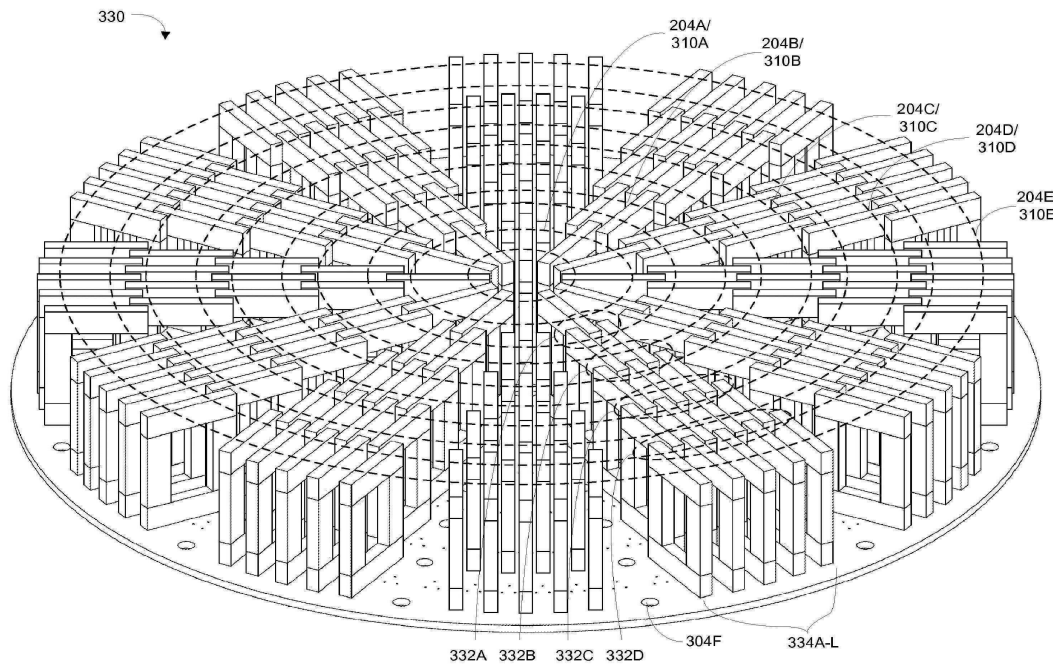
도면3b



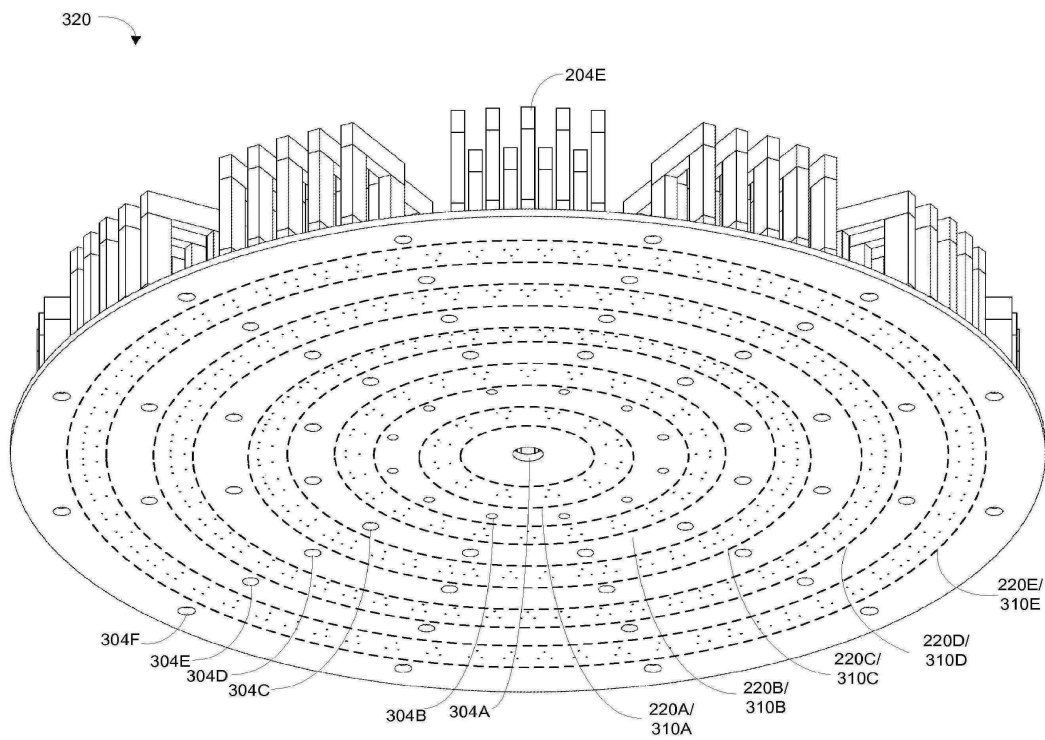
도면3c



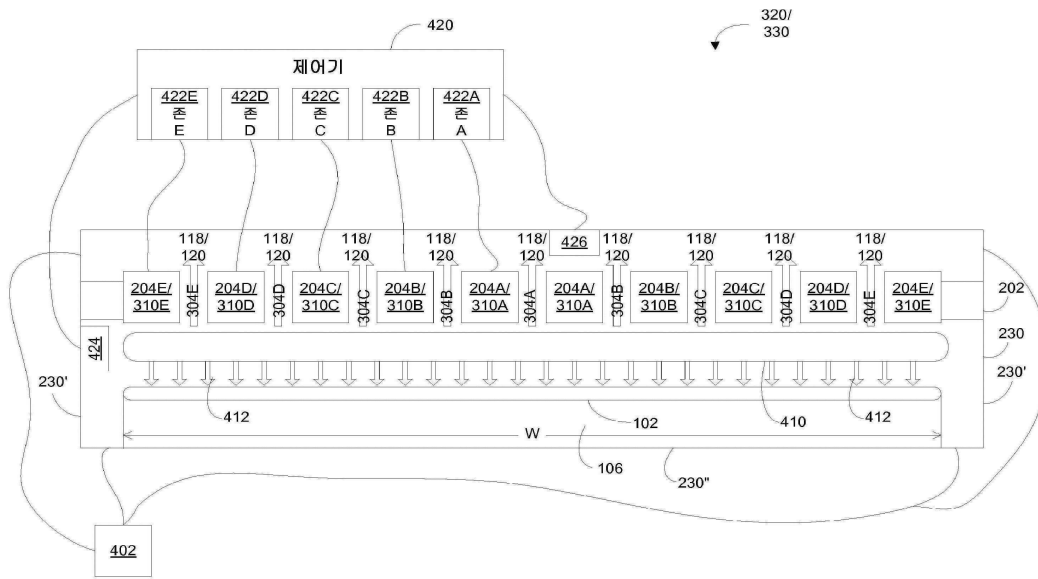
도면3d



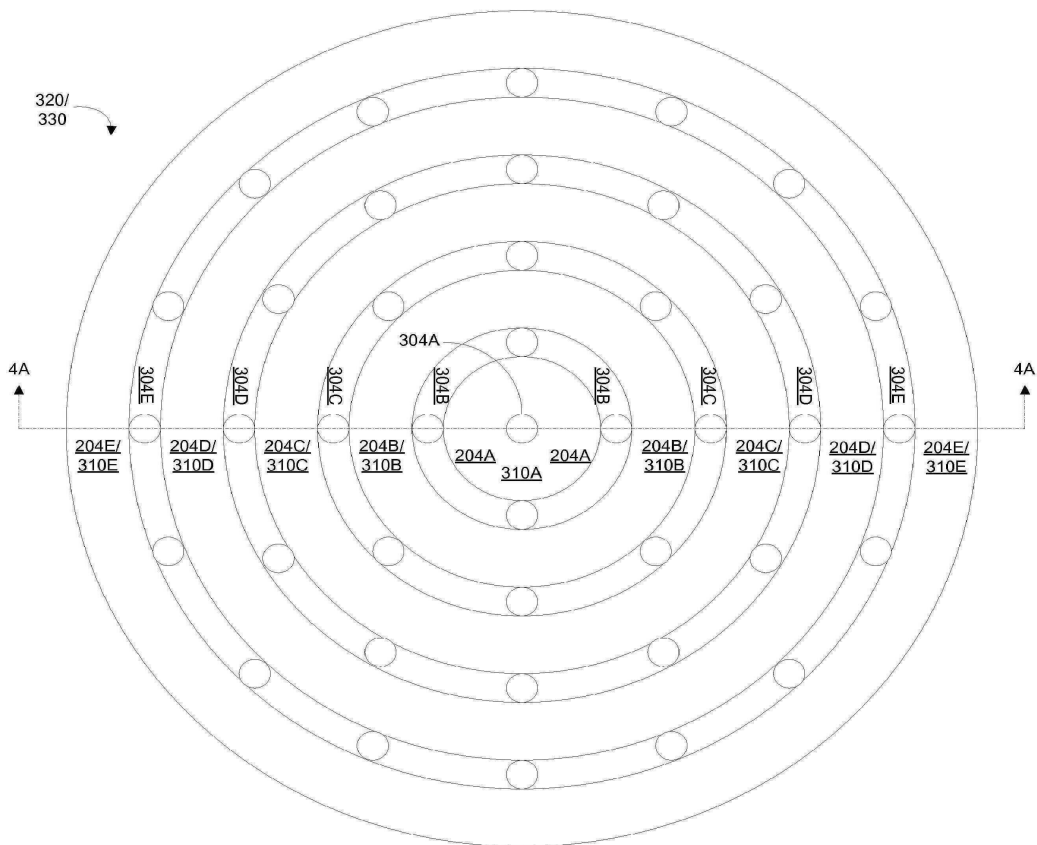
도면3e



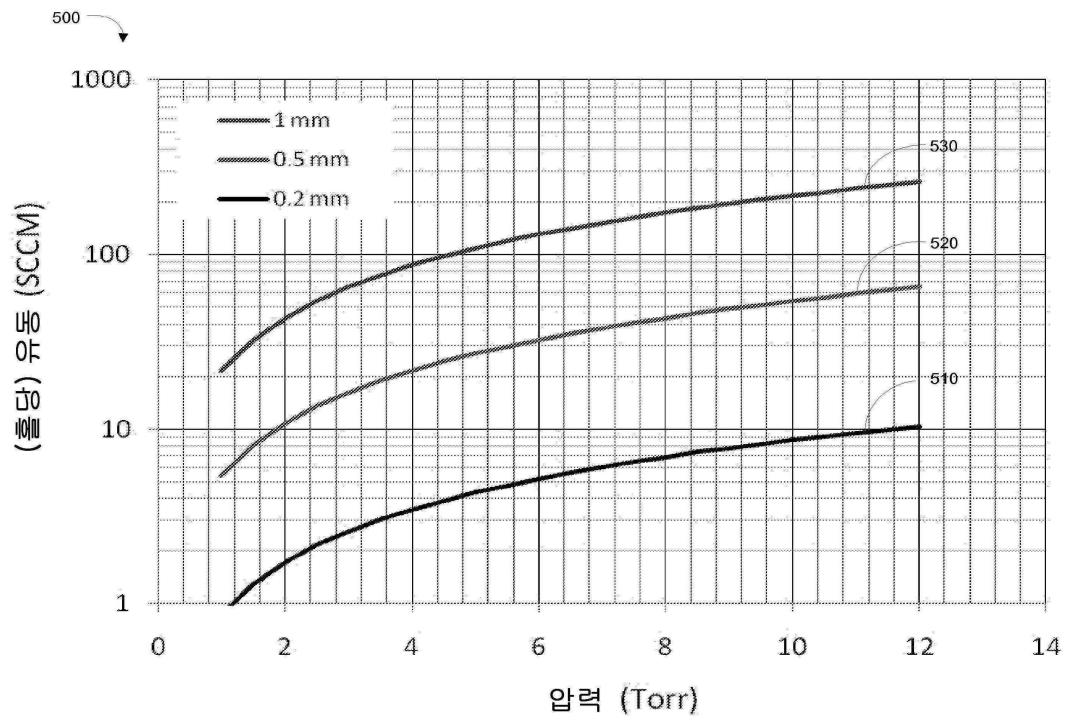
도면4a



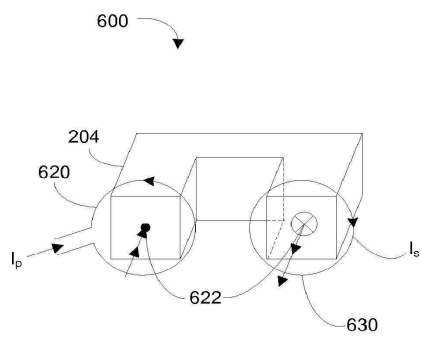
도면4b



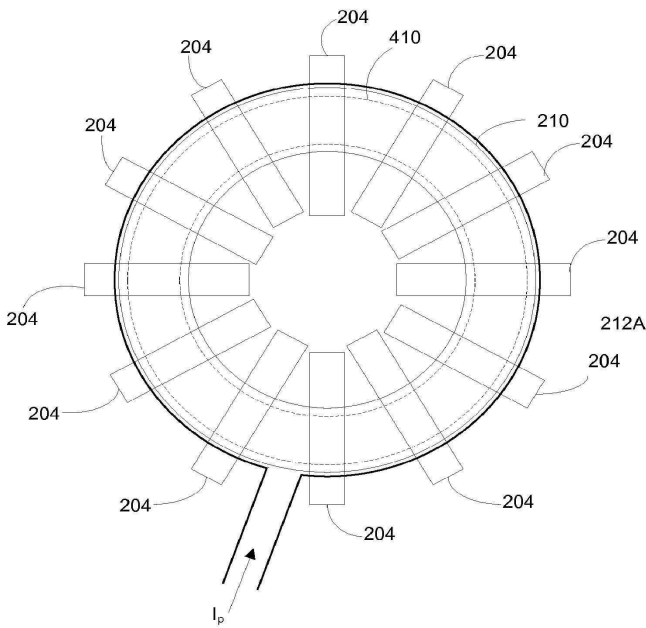
도면5



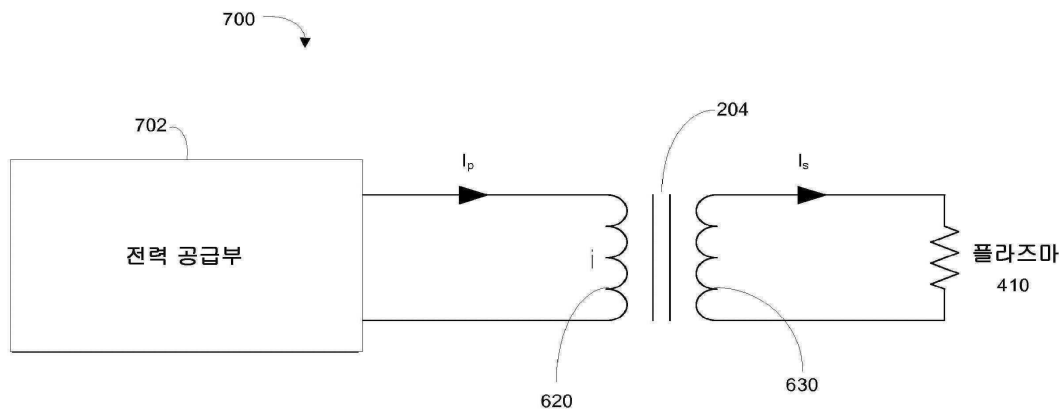
도면6a



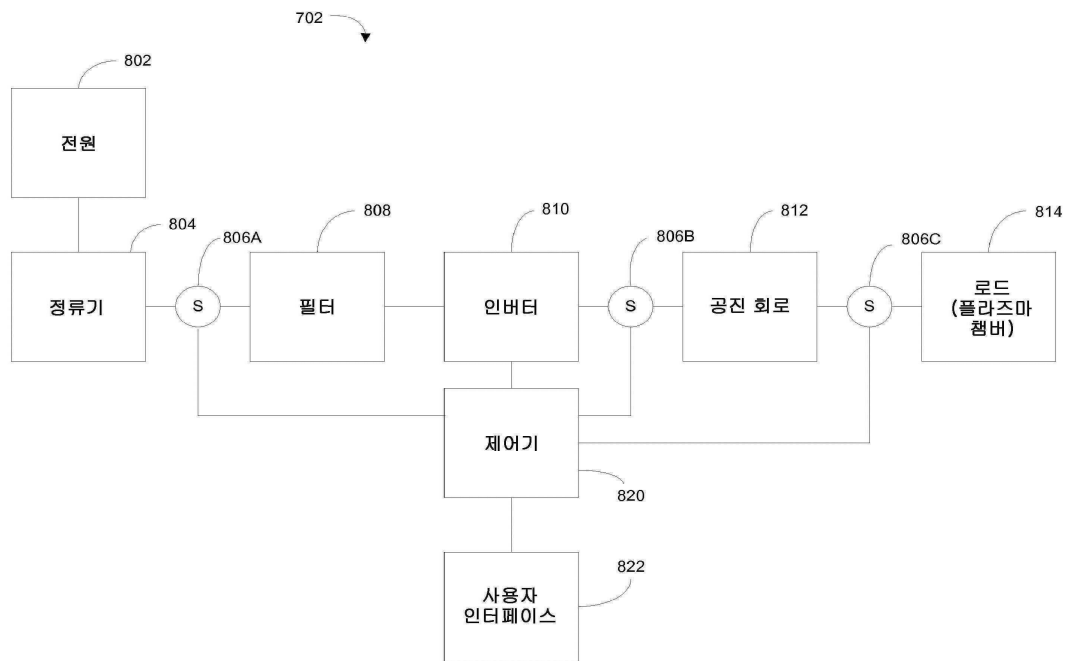
도면6b



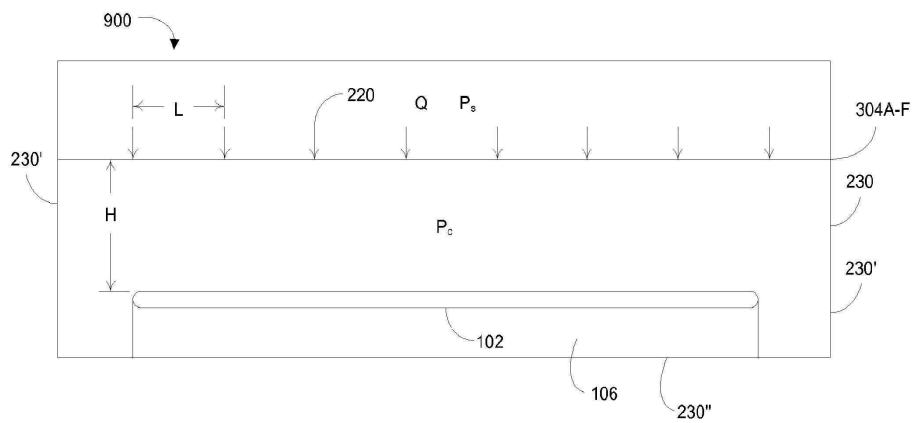
도면7



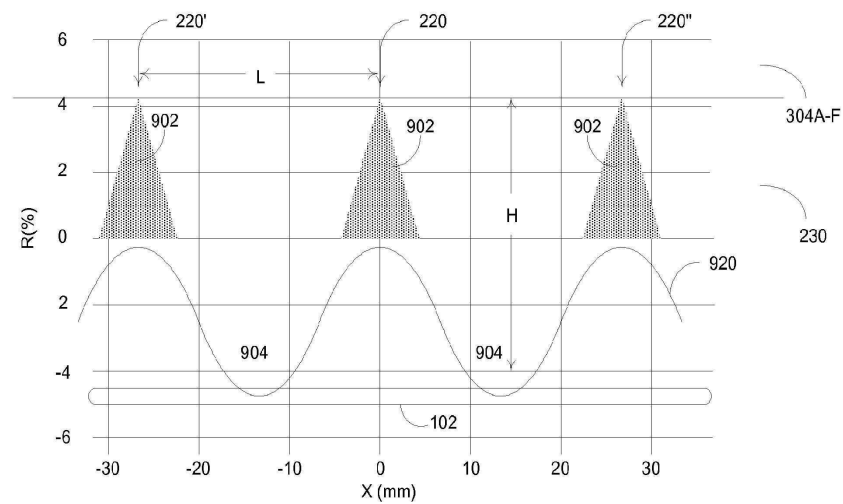
도면8



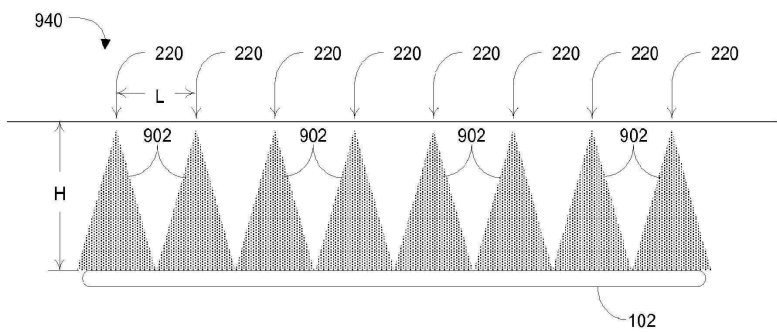
도면9a



도면9b



도면9c



도면10



도면11

