



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0144432
(43) 공개일자 2024년10월02일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/32183 (2022.08)
H01J 37/32146 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7030805
- (22) 출원일자(국제) 2022년12월22일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2024년09월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2022/053888
- (87) 국제공개번호 WO 2023/158491
국제공개일자 2023년08월24일
- (30) 우선권주장
63/311,226 2022년02월17일 미국(US)

- (71) 출원인
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
- (72) 발명자
자얏티, 스리하르샤
미국 캘리포니아 94538 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
델가디노, 제라르도
미국 캘리포니아 94538 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
왕, 메리트
미국 캘리포니아 94538 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
- (74) 대리인
특허법인 광장리앤코

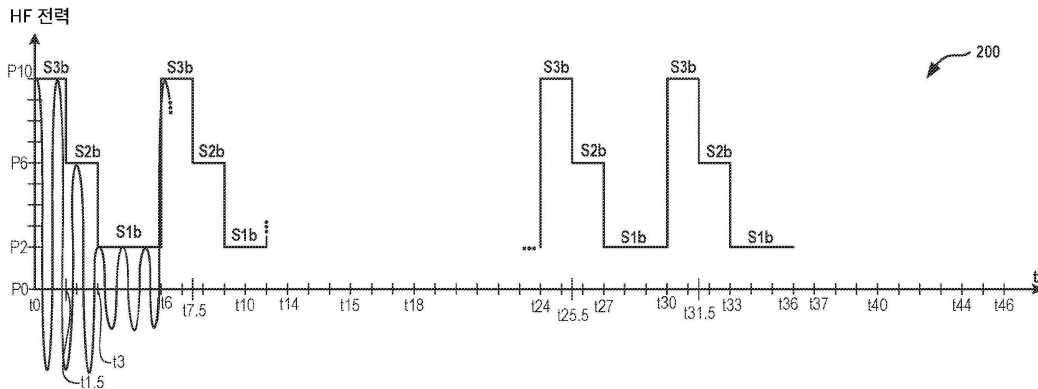
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 기판의 피처의 변동성을 감소시키기 위한 시스템 및 방법

(57) 요약

기판의 피처 사이의 변동성을 감소시키기 위한 방법이 설명된다. 방법은, 단일 무선 주파수(RF) 생성기에 의해, RF 신호를 생성하는 단계를 포함한다. 방법은 단일 RF 생성기에 의해, 시간 기간 동안 세 개의 상태 또는 네 개의 상태 중에서 교번하도록 RF 신호를 수정하는 단계를 더 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류
H01J 2237/334 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

기판의 피처(feature) 사이의 변동성(variability)을 감소시키기 위한 방법으로서,
 단일 무선 주파수(radio frequency, RF) 생성기에 의해, 무선 주파수(RF) 신호를 생성하는 단계; 및
 제1 시간 기간 동안 적어도 세 개의 상태 중에서 전이하도록 상기 RF 신호를 수정하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 전이하도록 상기 RF 신호를 수정하는 단계는 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 스텝-다운(step-down) 방식으로 상기 RF 신호를 전이하는 단계를 포함하고, 상기 스텝-다운 방식으로 상기 RF 신호를 전이하는 단계는:

상기 RF 신호를 제1 전력 레벨로부터 제2 전력 레벨로 전이하는 단계 - 상기 제1 전력 레벨은 상기 제2 전력 레벨보다 큼 -;

상기 제2 전력 레벨을 상기 RF 신호의 제3 전력 레벨로 전이하는 단계 - 상기 제3 전력 레벨은 상기 제2 전력 레벨보다 작음 - 를 포함하는, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 RF 신호는 상기 기판의 유전체 층을 에칭하기 위해 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하기 위해 수정되는, 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 RF 신호는 상기 기판의 마스크 층 및 유전체 층의 제1 부분을 에칭하기 위해 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하기 위해 수정되고, 적어도 상기 RF 신호의 상기 적어도 세 개의 상태는 상기 유전체 층의 제2 부분을 에칭하고, 상기 제2 부분은 상기 제1 부분 아래에 로케이팅되는, 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 제1 시간 기간 이후 제2 시간 기간 동안 네 개의 상태로 전이하도록 상기 RF 신호를 수정하는 단계 또는 상기 적어도 세 개의 상태 중 하나의 전력 레벨을 증가시키기 위해 상기 RF 신호를 수정하는 단계를 더 포함하고, 상기 RF 신호의 상기 네 개의 상태는 상기 유전체 층의 제3 부분을 에칭하고, 상기 제3 부분은 상기 제2 부분 아래에 로케이팅되는, 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 RF 신호는 상기 기판의 유전체 층의 제1 부분을 에칭하기 위해 적어도 하나의 상태를 갖도록 생성되고, 상기 RF 신호는 상기 유전체 층의 제2 부분을 에칭하기 위해 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하기 위해 수정되고, 상기 제2 부분은 상기 제1 부분 아래에 로케이팅되는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 RF 신호를 임피던스 매칭 회로에 공급하는 단계를 더 포함하고, 상기 RF 신호를 상기 임피던스 매칭 회로에 공급하는 동안, 다른 RF 신호가 상기 임피던스 매칭 회로에 공급되지 않는, 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 단일 RF 생성기는 단일 동작 주파수를 갖고, 상기 단일 주파수는 60 메가헤르츠(MHz)의 기본 주파수인, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 적어도 세 개의 상태는 최대 네 개의 상태를 포함하는, 방법.

청구항 10

기판의 피처 사이의 변동성을 감소시키기 위한 제어기로서,

단일 무선 주파수(RF) 생성기를 제어하여 RF 신호를 생성하도록 구성된 프로세서 - 상기 프로세서는 제1 시간 기간 동안 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하기 위해 상기 RF 생성기를 추가로 제어하도록 구성됨 -; 및

상기 프로세서에 커플링된 메모리 디바이스를 포함하는, 제어기.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하기 위해, 상기 프로세서는 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 스텝-다운 방식으로 상기 RF 신호를 전이하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하도록 구성되고, 상기 스텝-다운 방식으로 상기 RF 신호를 전이하기 위해, 상기 프로세서는:

상기 RF 신호를 제1 전력 레벨로부터 제2 전력 레벨로 전이하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하고 - 상기 제1 전력 레벨은 상기 제2 전력 레벨보다 큼 -;

상기 제2 전력 레벨을 상기 RF 신호의 제3 전력 레벨로 전이하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하도록 구성되고, 상기 제3 전력 레벨은 상기 제2 전력 레벨보다 작은, 제어기.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 RF 신호는 상기 기판의 유전체 층을 에칭하기 위해 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하기 위해 제어되는, 제어기.

청구항 13

제10항에 있어서, 상기 RF 신호는 상기 기판의 마스크 층 및 제1 유전체 층의 일부를 에칭하기 위해 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하기 위해 제어되고, 상기 RF 신호의 상기 적어도 세 개의 상태는 상기 유전체 층의 제2 부분을 에칭하고, 상기 제2 부분은 상기 제1 부분 아래에 로케이팅되는, 제어기.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 프로세서는 상기 제1 시간 기간 이후 제2 시간 기간 동안 네 개의 상태로 전이하도록 상기 RF 신호를 수정하도록 또는 상기 적어도 세 개의 상태 중 하나의 전력 레벨을 증가시키기 위해 상기 RF 신호를 수정하도록 구성되고, 상기 RF 신호의 상기 네 개의 상태는 상기 유전체 층의 제3 부분을 에칭하고, 상기 제3 부분은 상기 제2 부분 아래에 로케이팅되는, 제어기.

청구항 15

제10항에 있어서, 상기 RF 신호는 상기 기판의 유전체 층의 제1 부분을 에칭하기 위해 적어도 하나의 상태를 갖도록 생성되고, 상기 RF 신호는 상기 유전체 층의 제2 부분을 에칭하기 위해 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하기 위해 수정되고, 상기 제2 부분은 상기 제1 부분 아래에 로케이팅되는, 제어기.

청구항 16

제10항에 있어서, 상기 RF 신호는 임피던스 매칭 회로에 공급되고, 상기 RF 신호가 상기 임피던스 매칭 회로에 공급되는 시간 기간 동안, 다른 RF 신호가 상기 임피던스 매칭 회로에 공급되지 않는, 제어기.

청구항 17

제10항에 있어서, 상기 단일 RF 생성기는 단일 동작 주파수를 갖고, 상기 단일 주파수는 60 메가헤르츠(MHz)의 기본 주파수인, 제어기.

청구항 18

제10항에 있어서, 상기 적어도 세 개의 상태는 최대 네 개의 상태를 포함하는, 제어기.

청구항 19

플라즈마 시스템으로서,

무선 주파수(RF) 신호를 생성하도록 구성된 단일 RF 생성기;

상기 단일 RF 생성기에 커플링된 매칭부(match);

상기 매칭부에 커플링된 플라즈마 챔버; 및

상기 단일 RF 생성기에 커플링된 제어기를 포함하며, 상기 제어기는:

상기 RF 신호를 생성하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하고; 및

제1 시간 기간 동안 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하기 위해 상기 단일 RF 생성기를 제어하도록 구성되는, 플라즈마 시스템.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 상기 RF 신호를 전이하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하기 위해, 상기 제어기는 상기 적어도 세 개의 상태 중에서 스텝-다운 방식으로 상기 RF 신호를 전이하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하도록 구성되고, 상기 스텝-다운 방식으로 상기 RF 신호를 전이하기 위해, 상기 제어기는:

상기 RF 신호를 제1 전력 레벨로부터 제2 전력 레벨로 전이하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하고 - 상기 제1 전력 레벨은 상기 제2 전력 레벨보다 큼 -;

상기 제2 전력 레벨을 상기 RF 신호의 제3 전력 레벨로 전이하도록 상기 단일 RF 생성기를 제어하도록 구성되고, 상기 제3 전력 레벨은 상기 제2 전력 레벨보다 작은, 플라즈마 시스템.

청구항 21

제19항에 있어서, 상기 제어기는 상기 제1 시간 기간 이후 제2 시간 기간 동안 네 개의 상태로 전이하도록 상기 RF 신호를 수정하도록 또는 상기 적어도 세 개의 상태 중 하나의 전력 레벨을 증가시키기 위해 상기 RF 신호를 수정하도록 구성되는, 플라즈마 시스템.

청구항 22

제19항에 있어서, 상기 단일 주파수는 60 메가헤르츠(MHz)의 기본 주파수이고, 상기 적어도 세 개의 상태는 최대 네 개의 상태를 포함하는, 플라즈마 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시에서 설명된 실시예는 기관의 피처(feature)의 변동성을 감소시키기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 본원에서 제공되는 배경기술 설명은 본 개시의 맥락을 일반적으로 나타내는 목적을 위한 것이다. 이 배경기술 섹션에서 설명되는 것인, 현재 명명된 발명자의 성과물(work)뿐만 아니라, 출원 시점에 종래 기술로서 달리 자격이 되지 않을 수 있는 설명의 양태는, 본 개시에 대한 종래 기술로서 명시적으로든 또는 암시적으로든 인정되는 것은 아니다.

[0003] 하나 이상의 무선 주파수(radiofrequency, RF) 생성기는 하나 이상의 RF 신호를 생성하고 RF 신호를 플라즈마 반응기에 공급한다. 플라즈마 반응기는 하나 이상의 RF 신호가 공급될 때 그리고 에칭트(etchant) 가스가 플라즈마 반응기에 공급될 때 에칭되는 반도체 웨이퍼를 갖는다. 반도체 웨이퍼는 다수의 피처를 포함한다. RF 신호

가 공급될 때, 피치는 균일한 방식으로 에칭되지 않는다.

[0004] 본 개시에 설명되는 실시예가 발생하는 것은 이러한 맥락에서이다.

발명의 내용

[0005] 본 개시의 실시예는 기관의 피치의 변동성을 감소시키기 위한 시스템 및 방법을 제공한다. 본 실시예는 다수의 방식으로, 예를 들어, 프로세스, 장치, 시스템, 하나의 하드웨어, 또는 컴퓨터-관독 가능 매체 상의 방법으로 구현될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 몇몇 실시예가 아래에서 설명된다.

[0006] 반도체 산업이 피치를 공격적으로 스케일링하고 중횡비가 증가함에 따라, 일부 에칭 프로세스는 패터닝된 하드 마스크 아래의 유전체 층을 에칭할 때 다양한 문제를 겪는다. 리세스 로딩(recess loading), 프로파일 제어, 마스크 형상 제어, 언더-에칭, 및 피치-투-피치 변동(feature-to-feature variation)과 같은 문제가 발생한다. 바이어스 전력의 추가가 높은 마스크 손실 및 선택도 타협(tradeoff)을 초래할 수 있기 때문에, 이들 유전체 층의 에칭은 추가로 제한된다. 무선 주파수(RF) 생성기를 사용하는 2-상태 펄싱은 연속파(continuous wave, CW) 또는 프로세스에 걸쳐 이온 에너지 및 중성 밀도의 제어를 제공할 수 있다. 하지만, 때때로, 2-상태 펄싱은 유전체 층에서 감소된 피치 및 높은 중횡비를 갖는 일부 스택을 에칭하기에 불충분하다.

[0007] 일 실시예에서, 본원에 설명된 방법은 단일 주파수 및 단일 생성기로 세 개의 상태 또는 네 개의 상태의 RF 펄싱을 사용하는 것을 포함한다. 3-상태 펄스형 에칭을 사용함으로써, 리세스 로딩, 프로파일 및 마스크 형상 제어의 문제가 극복된다.

[0008] 본원에 설명된 시스템 및 방법은, 탄소 층, 질화물 층, 및 로우-k 유전체 층과 같은 유전체 층을, 얇은 하드 마스크 아래에서 에칭하기 위한 프로세스 윈도우 및 능력을 상당히 확장시키며, 여기서 k는 유전 상수이다. 본원에 설명된 시스템 및 방법은 높은 바이어스 또는 낮은 주파수를 견딜 수 없는 에칭에서 이온 에너지 및 중성 또는 라디칼 플럭스의 추가적인 제어를 허용한다. 시스템 및 방법은 피치 사이의 리세스 로딩, 피치 대 피치 CD 변화, 마스크 형상 제어, 및 언더-에칭의 문제를 해결한다.

[0009] 일 실시예에서, 기관의 피치 사이의 변동성을 감소시키기 위한 방법이 설명된다. 이 방법은 시간 기간 동안 세 개 또는 네 개의 상태 사이에서 교번하는 RF 신호를 생성하는 단계를 포함한다.

[0010] 실시예에서, 기관의 피치 사이의 변동성을 감소시키기 위한 제어기가 설명된다. 제어기는 RF 신호를 생성하도록 RF 생성기를 제어하는 프로세서를 포함한다. RF 신호는 시간 기간 동안 세 개 또는 네 개의 상태 사이에서 교번한다. 제어기는 프로세서에 커플링된 메모리 디바이스를 포함한다.

[0011] 일 실시예에서, 플라즈마 시스템이 설명된다. 플라즈마 시스템은 RF 신호를 생성하는 RF 생성기를 포함한다. 플라즈마 시스템은 RF 생성기에 커플링된 매칭부(match) 및 매칭부에 커플링된 플라즈마 챔버를 더 포함한다. 플라즈마 시스템은 RF 생성기에 커플링된 제어기를 포함한다. 제어기는 RF 신호를 생성하도록 RF 생성기를 제어한다. RF 신호는 시간 기간 동안 세 개의 상태 사이에서 교번한다.

[0012] 본원에 설명된 시스템 및 방법의 일부 이점은 제1 기관의 피치의 변동성을 감소시키는 것을 포함한다. 제1 기관에 세 개의 상태의 세트를 적용함으로써, 변동성이 감소된다. 또한, 바(bar)의 변동성이 감소된다. 각각의 바는 두 개의 연이은 피치 사이의 거리이다.

[0013] 본원에 설명된 시스템 및 방법의 추가적인 이점은 제1 기관보다 더 깊은 깊이를 갖는 제2 기관이 사용되는 경우에 변동성을 계속 감소시키는 것을 포함한다. 세 개의 상태의 세트에 후속하는 네 개의 상태의 세트를 제2 기관에 적용함으로써, 변동성이 감소된다.

[0014] 일 실시예에서, 세 개의 상태의 세트에 후속하는 네 개의 상태의 세트를 적용하는 대신, 피치의 변동성을 감소시키기 위해 네 개의 상태의 세트가 항상 적용된다. 예를 들어, 패터닝된 하드 마스크의 마스크 개구 CD가 감소할 때 세 개의 상태의 세트 대신에 네 개의 상태의 세트가 적용된다. 마스크 개구 CD가 감소하면, 피치의 중횡비가 증가한다.

[0015] 적용되는 상태의 수는 기관의 깊이, 피치의 중횡비, 마스크 CD, 마스크 형상, 및 마스크 경도와 같은 다양한 요인 중 하나 이상에 의존한다는 것에 유의해야 한다. 예를 들어, 더 부드러운 마스크는 변형되기 더 쉬우며, 이 경우 마스크 개구를 에칭하고 형성하기 위해 하나 또는 두 개의 상태가 적용된다.

[0016] 일부 다른 양태는 첨부된 도면과 함께 취해진 다음의 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 실시예는 첨부 도면과 함께 취해진 다음의 설명을 참조함으로써 이해된다. 도면 중 일부는 실척이 아니라는 것에 유의해야 한다.
 도 1은 기판을 프로세싱하기 위한 무선 주파수(RF) 생성기를 예시하기 위한 시스템의 실시예의 도면이다.
 도 2a는 도 1의 RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호의 상태의 다수의 세트를 예시하기 위한 그래프의 실시예이다.
 도 2b는 다수의 사이클을 갖는 클록(clock) 신호를 예시하기 위한 그래프의 실시예이다.
 도 3a는 기판의 실시예의 측면도이다.
 도 3b는 프로세싱된 이후 도 3a의 기판과 동일한 기판의 실시예의 측면도이다.
 도 3c는 도 3b의 기판의 유전체 층의 실시예의 평면도(top view)이다.
 도 4는 도 1의 RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호의 다수의 상태의 생성을 예시하기 위한 시스템의 실시예의 도면이다.
 도 5는 RF 신호의 상태의 다수의 세트를 예시하기 위한 그래프의 실시예이다.
 도 6은 도 1의 RF 생성기에 의해 생성된 RF 신호의 다수의 상태의 생성을 예시하기 위한 시스템의 실시예의 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 다음의 실시예는 기판의 피처의 변동성을 감소시키기 위한 시스템 및 방법을 설명한다. 본 실시예가 이러한 특정 세부사항의 일부 또는 전부 없이 실시될 수 있다는 것은 명백할 것이다. 다른 경우에서, 공지된 프로세스 동작은 본 실시예를 불필요하게 모호하게 하지 않기 위해 상세히 설명되지 않았다.
- [0019] 도 1은 기판(S)을 프로세싱하기 위한 무선 주파수(RF) 생성기(102)를 예시하기 위한 시스템(100)의 실시예의 도면이다. 시스템(100)은 RF 생성기(102), 호스트 컴퓨터(104), 매칭부(106), 및 플라즈마 챔버(108)를 포함한다. 호스트 컴퓨터(104)는 프로세서(110) 및 메모리 디바이스(112)를 포함한다. 플라즈마 챔버(108)는 정전 척(electrostatic chuck, ESC)과 같은 척(116), 및 상부 전극(118)을 포함한다. 플라즈마 챔버(108)의 예는 용량성으로 커플링된 플라즈마(capacitively coupled plasma, CCP) 챔버이다.
- [0020] 호스트 컴퓨터의 예는 데스크탑 컴퓨터, 랩탑 컴퓨터, 스마트폰, 및 태블릿이 있다. RF 생성기(102)의 예는 60 메가헤르츠(MHz)의 기본 주파수와 같은 높은 동작 주파수를 갖는 고주파수(high frequency, HF) RF 생성기이다. 예시를 위해, RF 생성기(102)는 400 킬로헤르츠(kHz) RF 생성기 또는 2 MHz RF 생성기와 같은 저주파수(low frequency, LF) RF 생성기가 아니며, 또는 27 MHz RF 생성기와 같은 중간 주파수 RF 생성기가 아니다. 다른 예시로서, RF 생성기(102)가 높은 동작 주파수에서 동작할 때, RF 생성기(102)에 의해 생성된 RF 신호(130)의 주파수는 57 MHz 내지 63 MHz의 범위이다.
- [0021] 예로서, RF 생성기(102)는 단일 RF 생성기이다. 예시를 위해, RF 케이블을 통해 매칭부(106)에 커플링된 다른 RF 생성기는 없다. 예시에서, 단지 RF 생성기(102)가 매칭부(106)에 커플링된다.
- [0022] HF RF 생성기의 높은 동작 주파수는 때때로 본원에서 단일 주파수로 지칭된다. 또한, RF 생성기(102)는 때때로 본원에서 단일 RF 생성기로 지칭된다. 예를 들어, RF 생성기(102)가 RF 신호(130)를 공급하기 위해 파워 온되는 (powered on) 시간 기간의 RF 생성기(102)를 제외하고, 시스템(100)에서 사용되는 다른 RF 생성기는 없다. 다른 것으로서, 시스템(100)에서 사용된다면, 임의의 다른 RF 생성기는 RF 신호(130)를 공급하기 위해 RF 생성기(102)가 파워 온되는 시간 기간 동안 파워 오프된다(powered off). 다른 RF 생성기가 파워 오프될 때, 다른 RF 생성기는 RF 신호를 생성하지 않는다.
- [0023] 저주파수 및 중간 주파수 RF 생성기 중 임의의 것을 사용하여 기판(S)의 마스크 층, 이를테면, 얇은 마스크 층을 에칭하는 것은 어렵다. 저주파수 및 중간 주파수 생성기는 플라즈마 챔버(108) 내에서 플라즈마 이온의 높은 양의 이온 에너지를 생성하는 높은 양의 전력을 생성한다. 높은 양의 이온 에너지는 마스크 층을 에칭하기에 적절하지 않다. 예를 들어, 마스크 층은 높은 양의 이온 에너지에 의해 에칭될 수 없다.
- [0024] 프로세서의 예는 중앙 처리 유닛(central processing unit, CPU), 마이크로프로세서, 주문형 반도체

(application specific integrated circuit, ASIC), 프로그램 가능 논리 소자(programmable logic device, PLD)를 포함한다. 메모리 디바이스의 예는 RAM(random access memory) 및 ROM(read-only memory)을 포함한다.

- [0025] 매칭부(106)의 예는 회로 컴포넌트의 네트워크를 포함한다. 예를 들어, 매칭부(106)는 매칭부(106)의 입력부(124)와 매칭부(106)의 출력부(126) 사이의 제1 분기 회로를 포함한다. 분기 회로는 저항기, 커패시터 및 인덕터와 같은 회로 컴포넌트 중 하나 이상을 포함한다. 예컨대, 분기 회로는 하나 이상의 직렬 회로 및 하나 이상의 션트(shunt) 회로를 포함한다. 예에서, 직렬 회로 각각은 회로 컴포넌트 중 하나 이상을 포함하고 션트 회로 각각은 회로 컴포넌트 중 하나 이상을 포함한다.
- [0026] 척(116)은 알루미늄 또는 알루미늄의 합금으로 제조된 하부 전극을 포함한다. 유사하게, 상부 전극(118)은 알루미늄 또는 알루미늄의 합금으로 제조된다. 상부 전극(118)은 척(116)과 대면하고, 기관(S)은 프로세싱을 위해 척(116)의 정상 표면 상에 배치된다. 기관(S)의 예는 집적회로가 제조된 반도체 웨이퍼를 포함한다.
- [0027] 프로세서(110)는 메모리 디바이스(112)에 커플링된다. 또한, 프로세서(110)는 전송 케이블(120)을 통해 RF 생성기(102)에 커플링된다. 예로서, 전송 케이블은 병렬 전송 프로토콜(parallel transfer protocol), 직렬 전송 프로토콜(serial transfer protocol), 또는 USB(universal serial bus) 프로토콜을 사용하여 신호를 전송한다. RF 생성기(102)는 RF 케이블(122)을 통해 매칭부(106)의 입력부(124)에 커플링된다. 매칭부(106)의 출력부(126)는 RF 전달 라인(128)을 통해 척(116)에 커플링된다.
- [0028] 프로세서(110)는 레시피 신호(126)를 생성하고 전송 케이블(120)을 통해 이를 RF 생성기(102)로 전송한다. 레시피 신호(126)는 RF 생성기(102)의 동작 주파수, RF 생성기(102)에 의해 생성될 RF 신호(130)의 다수의 상태의 다수의 세트, 상태의 듀티 사이클(duty cycle), 및 다수의 상태의 세트가 발생할 시간 기간을 포함한다. RF 신호의 상태의 예는 RF 신호의 전력 레벨이다. 예시를 위해, 상태는 RF 신호의 진폭의 엔벨로프(envelope)이다. 추가의 예시를 위해, 상태는 RF 신호의 피크-투-피크(peak-to-peak) 진폭 또는 제로-투-피크 진폭이다. 레시피 신호(126)를 수신한 후, RF 생성기(102)는 세트의 시간 기간 및 상태의 듀티 사이클에 따라 상태의 세트를 갖는 RF 신호(130)를 생성한다. RF 생성기(102)는 RF 신호(130)를 RF 케이블(122)을 통해 매칭부(106)의 입력부(124)로 송신한다.
- [0029] 매칭부(106)는 입력부(124)에서 RF 신호(130)를 수신하고, 출력부(126)에서 수정된 RF 신호(132)를 출력하기 위해 RF 신호(130)의 임피던스를 수정하기 위해 출력부(126)에 커플링된 로드(126)의 임피던스를 입력부(124)에 커플링된 소스의 임피던스와 매칭한다. 입력부(124)에 커플링된 소스의 예는 RF 케이블(122) 및 RF 생성기(102)를 포함한다. 로드(126)의 예는 RF 전달 라인(128) 및 플라즈마 챔버(108)를 포함한다. 수정된 RF 신호(132)는 출력부(126)로부터 RF 전달 라인(128)을 통해 척(116)의 하부 전극으로 송신된다.
- [0030] 질소-함유 가스, 불소-함유 가스, 및 산소-함유 가스와 같은 하나 이상의 프로세스 가스가 척(116)과 상부 전극(118) 사이의 갭에 공급될 때, 그리고 하부 전극이 수정된 RF 신호(132)를 수신할 때, 플라즈마가 기관(S)을 프로세싱하기 위해 갭 내에서 스트라이킹되거나(stricken) 유지된다. 기관(S)을 프로세싱하는 예는 기관(S) 상에 하나 이상의 재료를 증착하는 것, 기관(S)의 피처를 제조하기 위해 기관(S)을 에칭하는 것, 및 기관(S)을 세정하는 것을 포함한다.
- [0031] 도 2a는 RF 신호(202)의 상태의 다수의 세트를 예시하기 위한 그래프(200)의 실시예이다. RF 신호(202)는 RF 신호(130)(도 1)의 예이다. 그래프(200)는 RF 신호(202) 대 시간(t)의 전력 레벨을 플로팅한다(plot). 파워 레벨은 y-축 상에 플로팅되고 시간(t)은 x-축 상에 플로팅된다. 그래프(200)의 y-축 상에서, 전력 레벨은 전력 레벨(P0)로부터 전력 레벨(P10)까지의 범위이다. 전력 레벨(P0)의 예는 0이다. 예로서, 전력 레벨(P2)은 0 와트(W) 내지 500 W의 범위이다. 예시를 위해, 전력 레벨(P2)은 200 W이다. 또한, 예로서, 전력 레벨(P6)은 100 W 내지 1500 W의 범위이다. 예를 들어, 전력 레벨(P6)은 500 W이다. 또한, 예로서, 전력 레벨(P10)은 500 W 내지 5000 W의 범위이다. 예시를 위해, 전력 레벨(P10)은 1000 W이다. 파워 레벨은 그래프(200)의 y-축의 양의 y 방향으로 증가한다. 예를 들어, 전력 레벨은 P0에서 P10으로 증가한다. 그래프(200)의 x-축 상에서, 시간(t)은 시간(t0)에서 시간(t46)까지 증가한다.
- [0032] RF 신호(202)는 시간(t0)과 시간(t36) 사이의 시간 기간 동안 스텝-다운 방식으로 세 개의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 중에서 주기적으로 전이하는 것과 같이 교번한다. 예를 들어, 클록 신호(212)(도 2b)의 사이클 1 동안, RF 신호(202)는 시간(t0)에서 0의 전력 레벨로부터 전력 레벨(P10)로 전이하고, 시간(t0)에서 시간(t1.5)까지 전력 레벨(P10)을 유지한다. 클록 신호(212)의 사이클 1 동안, RF 신호(202)는 시간(t1.5)에서 전력 레벨(P10)로부터 전력 레벨(P6)로 전이하고, 시간(t1.5)에서 시간(t3)까지 전력 레벨(P6)로 남아있다.

- [0033] 클록 신호(212)의 사이클 2 동안, RF 신호(202)는 시간(t3)에서 전력 레벨(P6)로부터 전력 레벨(P2)로 전이하고, 시간(t3)에서 시간(t6)까지 전력 레벨(P2)로 남아있다. 전력 레벨(P10)은 RF 신호(202)의 상태(S3b)이고, 전력 레벨(P6)은 RF 신호(202)의 상태(S2b)이고, 전력 레벨(P2)은 RF 신호(202)의 상태(S1b)이다. 또한, 시간(t0)과 시간(t1.5) 사이의 시간 간격은 상태(S3b)의 듀티 사이클의 예이고, 시간(t1.5)과 시간(t3) 사이의 시간 간격은 상태(S2b)의 듀티 사이클의 예이고, 시간(t3)과 시간(t6) 사이의 시간 간격은 상태(S1b)의 듀티 사이클의 예이다. 예로서, 상태(S3b)의 듀티 사이클은 1% 내지 30%의 범위이고, 상태(S2b)의 듀티 사이클은 5% 내지 60%의 범위이고, 상태(S1b)의 듀티 사이클은 상태(S3b)와 상태(S2b)의 듀티 사이클의 합과 100% 사이의 차이이다. 예시를 위해, 상태(S1b)의 듀티 사이클은 10% 내지 94%의 범위이다. 상태들(S1b, S2b, 및 S3b)은 RF 신호(202)의 상태의 세트를 형성한다.
- [0034] 클록 신호(212)의 사이클 3, 사이클 4, 사이클 5, 및 사이클 6 동안, RF 신호(202)는 시간(t0)과 시간(t6)과 동일한 방식으로 세 개의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 중에서의 전이를 반복한다. 예를 들어, RF 신호(202)가 시간(t0)에서 시간(t6)까지 전력 레벨들(P10, P6 및 P2) 중에서 전이하는 것과 동일한 방식으로 RF 신호(202)는 시간(t6)에서 시간(t24)까지 전력 레벨들(P10, P6 및 P2) 사이에서 다시 전이한다. RF 신호(202)는, 스텝-다운 방식으로 시간(t24)과 시간(t36) 사이의 시간 기간 동안, 상태들(S3b, S2b 및 S1b) 중에서 주기적으로 전이하는 것과 같이 계속해서 교번한다.
- [0035] 시간(t0)과 시간(t24) 사이의 시간 기간 동안 세 개의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)이 기관(S)의 마스크 층 및 기관(S)의 유전체 층의 제1 부분, 이를테면, 탄소-기반 층 또는 저 유전체 상수 층을 에칭한다는 것에 유의해야 한다. 유전체 층의 제1 부분의 예는 유전체 층의 5% 내지 80%의 범위이다. 예시를 위해, 유전체 층의 제1 부분은 유전체 층의 50%이다. 유전체 층은 마스크 층 바로 아래에 로케이팅된다. 또한, 시간(t24)과 시간(t36) 사이의 시간 기간 동안 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)은 유전체 층의 나머지 부분을 에칭한다. 유전체 층의 나머지 부분의 예는 유전체 층의 20% 내지 60%의 범위이다. 예시를 위해, 유전체 층의 나머지 부분은 유전체 층의 50%이다. 시간(t0)과 시간(t36) 사이의 시간 기간은 때때로 본원에서 제1 시간 기간으로 지칭된다.
- [0036] 일 실시예에서, 세 개의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)은 시간(t0)과 시간(t36) 사이의 시간 기간 동안 제1 횟수, 이를테면, 4회 또는 5회 또는 6회 동안 반복된다.
- [0037] 실시예에서, RF 신호의, P10과 같은 제1 전력 레벨은 서로 미리 설정된 범위 내에 있는 RF 신호의 전력의, 피크-투-피크 값 또는 제로-투-피크 값과 같은 전력 값을 갖는다. 또한, RF 신호의, P6과 같은 제2 전력 레벨은 서로 미리 설정된 범위 내에 있는 RF 신호의 전력의, 피크-투-피크 값 또는 제로-투-피크 값과 같은 전력 값을 갖는다. 제1 전력 레벨의 모든 전력 값은 제2 전력 레벨의 전력 값을 제외한다. 예를 들어, 제2 전력 레벨의 최대 전력 값과 제1 전력 레벨의 최소 전력 값은 적어도 10% 차이가 존재한다. 예에서, 제2 전력 레벨은 제1 전력 레벨보다 낮다. 제1 전력 레벨의 다른 예는 P6이고 제2 전력 레벨은 P2이다.
- [0038] 실시예에서, 상태(S2b)는 전력 레벨(P6)과 전력 레벨(P10) 사이의 전력 레벨이다.
- [0039] 일 실시예에서, 상태(S1b)는 전력 레벨(P2)과 전력 레벨(P6) 사이 또는 전력 레벨(P0)과 전력 레벨(P2) 사이의 전력 레벨이다.
- [0040] 실시예에서, 상태(S3b)는, 전력 레벨(P11) 또는 전력 레벨(P12)과 같은, 전력 레벨(P10)보다 큰 전력 레벨이다. 전력 레벨(P12)은 전력 레벨(P10)보다 큰 전력 레벨(P11)보다 크다.
- [0041] 일 실시예에서, RF 신호(130)의, 연속파(CW)와 같은, 적어도 하나의 상태는 기관(S)의 마스크 층 또는 마스크 층과 유전체 층의 제1 부분 둘 모두를 에칭한다. 실시예에서, 세 개의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)은 유전체 층의 나머지 부분을 에칭한다.
- [0042] 도 2b는 사이클 11까지 사이클 1, 사이클 2 등을 갖는 클록 신호(212)를 예시하기 위한 그래프(210)의 실시예이다. 그래프(210)는 y-축 상의 클록 신호(212) 및 x-축 상의 시간(t)의, 전압과 같은 로직 레벨을 플롯팅한다. 그래프(210)의 y-축은 0 내지 1의 로직 레벨을 갖는다. 로직 레벨 1은 로직 레벨 0보다 크다. 프로세서(110)(도 1)는 클록 신호(212)를 생성하고, 클록 신호(212)를 전송 케이블(120)(도 1)을 통해 RF 생성기(102)(도 1)로 송신하여 상태의 각각의 세트의 반복을 클록 신호(212)의 전이와 동기화시킨다. 예를 들어, 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)은 시간(t6)과 시간(t12) 사이의 시간 기간 동안 시간(t6)에서 제2 시간 동안 반복된다. 다른 예로서, 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)은 시간(t12)과 시간(t18) 사이의 시간 기간 동안 시간(t12)에서 제3 시간 동안 반복된다.
- [0043] 사이클 1 동안, 클록 신호(212)는 시간(t0)에서 로직 레벨 0으로부터 로직 레벨 1로 전이하고, 시간(t0)에서 시

간(t2)까지 로직 레벨 1을 유지한다. 또한, 사이클 1 동안, 클럭 신호(212)는 시간(t2)에서 로직 레벨 1로부터 로직 레벨 0으로 전이하고, 시간(t2)에서 시간(t4)까지 로직 레벨 0을 유지한다. 로직 레벨들(1 및 0)은 사이클 1 동안과 동일한 방식으로 사이클들(2 내지 11) 각각의 동안 동일한 방식으로 반복한다.

- [0044] 도 3a는 기관(S)의 예인 기관(300)의 실시예의 측면도이다. 기관(300)은 마스크 층(302), 유전체 층(304), 및 유전체 층(306)을 포함한다. 유전체 층(304)은 마스크 층(302) 바로 아래에 로케이팅되고, 유전체 층(306)은 유전체 층(304) 바로 아래에 로케이팅된다.
- [0045] 마스크 층(302)의 예는 실리콘과 탄소의 조합 또는 실리콘 산화물과 탄소의 조합으로부터 제조된 층이다. 마스크 층(302)의 다른 예는 포토레지스트, 또는 실리콘, 또는 실리콘 이산화물(SiO₂), 또는 실리콘 질화물(SiN), 또는 실리콘 산질화물(SiON), 또는 티타늄 질화물(TiN), 또는 티타늄 산화물(TiO), 또는 이들의 둘 이상의 조합을 포함하는 층이다. 예로서, 마스크 층(302)은 90 나노미터(nm) 내지 130 nm 범위의 높이를 갖는다. 예시를 위해, 마스크 층(302)은 110 nm의 높이를 갖는다.
- [0046] 마스크 층(302)은 제1 마스크 서브-층 및 제2 마스크 서브-층과 같은 다수의 마스크 서브-층을 포함한다. 예로서, 제1 마스크 서브-층은 제2 마스크 서브-층의 패턴의 배향과 비교하여 상이한 패턴의 배향을 갖는다. 예를 들어, 제2 마스크 서브-층의 패턴은 제1 마스크 서브-층의 패턴에 대해 각을 이룬다.
- [0047] 유전체 층(304)의 예는 탄소, 수소, 산소, 및 질소의 조합을 포함하는 유전체 층이다. 다른 예로서, 유전체 층(304)은 탄소 그리고 수소, 산소, 및 질소 중 하나 이상을 포함하는 탄소-기반 층이다. 또 다른 예로서, 유전체 층(304)은 실리콘, 또는 SiON으로부터 제조되거나, 또는 실리콘-도핑된 층이다. 또 다른 예로서, 유전체 층(304)은 SiN 층 또는 다른 질화물 층과 같은 로우-k 유전체 층이고, 여기서 k는 유전 상수이다. 예로서, 유전체 층(304)은 150 nm 내지 250 nm 범위의 높이를 갖는다. 예시를 위해, 유전체 층(304)은 200 nm의 높이를 갖는다.
- [0048] 유전체 층(306)의 예는 산화물-기반 층이다. 유전체 층(306)의 다른 예는 실리콘으로 제조된 층, 또는 SiN으로 제조된 층, 또는 SiON으로 제조된 층, 또는 실리콘-도핑된 층이다.
- [0049] 층의 높이는 y-축을 따라 수직 방향으로 측정된다. 층의 너비는 z-축을 따라 측정되고, 층의 폭은 x-축을 따라 측정된다. x-축은 z-축에 수직인 y-축에 수직이다. 또한, x-축은 z-축에 수직이다. 층의 높이는 때때로 본원에서 층의 깊이로 지칭된다.
- [0050] 시간(t0)과 시간(t24) 사이의 시간 기간 동안 RF 신호(202)의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)(도 2a)은 마스크 층(302) 및 유전체 층(304)의 제1 부분을 예칭한다. 또한, 시간(t24)과 시간(t36) 사이의 시간 기간 동안 RF 신호(202)의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)은 유전체 층(304)의 나머지 부분을 예칭한다. 유전체 층(304)의 나머지는 유전체 층(304)의 제1 부분으로부터 유전체 층(306)으로 연장되고, 유전체 층(304)의 제1 부분은 마스크 층(302)으로부터 유전체 층(304)의 나머지 부분으로 연장된다. 유전체 층(304)의 제1 부분은 마스크 층(302) 아래에 그리고 그에 인접하게 로케이팅되고, 유전체 층(304)의 나머지 부분은 유전체 층(304)의 제1 부분 아래에 그리고 그에 인접하게 로케이팅된다. 유전체 층(306)은 유전체 층(304) 아래에 로케이팅된다. 유전체 층(306)은 RF 신호(130) 및 LF RF 생성기에 의해 생성된 LF RF 신호의 조합에 의해 생성된 수정된 RF 신호에 의해 예칭된다.
- [0051] LF RF 생성기는, 사용될 때, 추가 RF 케이블을 통해 매칭부(106)의 추가 입력부에 커플링된다. LF RF 생성기는 LF RF 신호를 생성하고 이 LF RF 신호를 매칭부(106)의 추가 입력부로 송신한다. 매칭부(106)는 추가 입력부와 출력부(126) 사이에 커플링되는 제2 분기 회로를 더 포함한다. 제2 분기 회로는 추가 입력부 및 출력부(126)에 커플링된다. 제2 분기 회로는 회로 컴포넌트 중 하나 이상을 포함한다. 제2 분기 회로는 LF RF 신호를 수신하고, 추가의 수정된 RF 신호를 출력하기 위해 LF RF 신호의 임피던스를 수정하기 위해 추가의 입력부에 커플링된 소스의 임피던스와 로드 임피던스를 매칭한다. 추가 입력부에 커플링된 소스의 예는 추가 RF 케이블 및 LF RF 생성기를 포함한다. 수정된 RF 신호(132)(도 1) 및 추가의 수정된 RF 신호는, 결합된 수정된 RF 신호를 출력하기 위해 매칭부(106)의 출력부(126)에서 결합, 이를테면, 합산되거나 추가된다. 결합된 수정된 RF 신호는 기관(S)을 프로세싱하기 위해 매칭부(106)의 출력부(126)로부터 RF 전달 라인(128)을 통해 척(116)의 하부 전극(도 1)으로 송신된다.
- [0052] 마스크 층(302) 및 유전체 층(304)이 예칭되는 제1 시간 기간 동안, LF RF 생성기가 턴 오프(turned off)된다는 것에 유의해야 한다. 예를 들어, 프로세서(110)는 제1 시간 기간 동안 0의 전력 레벨을 나타내는 레시피 신호를 LF RF 생성기에 송신한다. 레시피 신호를 수신하면, LF RF 생성기는 LF RF 신호를 생성하지 않고 LF RF 신호를 매칭부(106)에 공급하지 않는다. 유전체 층(306)이 예칭될 때의 시간에, LF RF 생성기는 양의 전력 레벨을 갖는

LF RF 신호를 생성하기 위해 턴 온(turned on)된다. 다른 예로서, LF RF 생성기가 턴 오프되는 제1 시간 기간 동안, 단일 RF 생성기(102)가 사용된다.

- [0053] 도 3b는 프로세싱된 후 기관(300)과 동일한 기관(350)의 실시예의 측면도이다. 기관(350)은 마스크 층(302) 및 유전체 층(354)을 포함한다. 마스크 층(302)은 마스크 층(302) 내로 에칭되는 트렌치(trench)와 같은 피처를 갖는다. 피처 중 일부는 피처(356A) 및 피처(356B)로서 도시된다. 또한, 유전체 층(354)은, 유전체 층(354)이 유전체 층(304)에서 에칭된 피처를 갖는다는 것을 제외하고는 유전체 층(304)과 동일하다. 피처는 RF 신호(130)에 의해 생성된다(도 1). 유전체 층(354)은, 유전체 층(306)의 정상 표면(360)에 인접한 바닥 표면(358)을 갖는다.
- [0054] 실시예에서, 각각의 기관(300 및 350)은 마스크 층(302)을 배제한다.
- [0055] 일 실시예에서, 기관(300)은 피처를 갖도록 에칭되지 않는 마스크 층을 포함한다.
- [0056] 도 3c는 피처를 갖는 유전체 층(306)의 실시예의 평면도이다. 예를 들어, 유전체 층(306)의 정상 표면(360)은 그 안에 형성된 피처(362A) 및 피처(362B)를 갖는다. 각각의 피처는 마스크 층(302)(도 3a) 및 유전체 층(304)(도 3a)을 통해 연장되고 유전체 층(306)의 정상 표면 내로 약간 연장된다는 것에 유의해야 한다. 유전체 층(306)의 평면도의 피처는 또한 유전체 층(354)(도 3b)의 바닥 표면(358)(도 3b)의 평면도를 나타낸다.
- [0057] RF 신호(130)(도 1)의 공급으로 인해 피처간의 임계 치수(CD)에서의 변동성이 감소된다. 예를 들어, 피처(362A)의 직경은 피처(362B)의 직경으로부터 미리 결정된 범위 내에 있다. 또한, RF 신호(130)의 공급으로 인해, 임의의 두 개의 연이은 피처 사이의 거리인 바의 변동성이 감소된다.
- [0058] 도 4는 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)의 생성을 예시하기 위한 시스템(400)의 실시예의 도면이다. 시스템(400)은 RF 생성기(402) 및 호스트 컴퓨터(104)를 포함한다. RF 생성기(402)는 RF 생성기(102)(도 1)의 예이다.
- [0059] RF 생성기(402)는 디지털 신호 프로세서(digital signal processor, DSP)(404), 전력 제어기(PWRS3b), 전력 제어기(PWRS2b), 전력 제어기(PWRS1b), 및 주파수 제어기(FC)를 포함한다. 전력 제어기들(PWRS3b, PWRS2b, 및 PWRS1b)은 제어기 시스템(403)의 컴포넌트이다. RF 생성기(402)는 드라이버 시스템(DRVR)(406) 및 RF 전력 공급부(408)를 더 포함한다.
- [0060] 제어기의 예는 프로세서 및 메모리 디바이스를 포함한다. 제어기의 프로세서는 제어기의 메모리 디바이스에 커플링된다. 예를 들어, 제어기는 마이크로제어기이다. 드라이버 시스템의 예는 하나 이상의 트랜지스터를 포함하는 회로이다. 트랜지스터는 서로 커플링된다. RF 전력 공급부의 예는 무선 주파수를 갖는 RF 신호(130)를 발생하는 전자 오실레이터(oscillator)이다.
- [0061] 프로세서(110)는 전송 케이블(120)을 통해 DSP(404)에 커플링된다. DSP(404)는 전력 제어기들(PWRS3b, PWRS2b, 및 PWRS1b)에 커플링된다. 전력 제어기들(PWRS3b, PWRS2b, 및 PWRS1b) 및 주파수 제어기(FC)는 드라이버 시스템(406)에 커플링되고, 드라이버 시스템(406)은 RF 전력 공급부(408)에 커플링된다. RF 전력 공급부(408)는 RF 케이블(120)(도 1)에 커플링된다.
- [0062] 프로세서(110)는 레시피 신호(412)를 생성하고 이 레시피 신호(412)를 전송 케이블(120)을 통해 DSP(404)로 송신한다. 레시피 신호(412)는 레시피 신호(126)(도 1)의 예이다. 레시피 신호(412)는, RF 생성기(402)의 동작 주파수, RF 신호(202)의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)의 세트, 및 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)의 듀티 사이클과 같은 RF 신호(202)(도 2a)에 관한 정보를 포함한다. RF 신호(202)에 관한 정보는 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)의 발생과 같은 하나 이상의 경우가 발생할 시간(t0)과 시간(t36) 사이의 시간 기간과 같은 제1 시간 기간을 더 포함한다. RF 신호(202)에 관한 정보는 또한 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 중에서 RF 신호(202)의 펄싱을 개시하는 표시를 포함한다. DSP(404)는 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)의 듀티 사이클, 제1 시간 기간, 및 DSP의 메모리 디바이스 내의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 중에서 RF 신호(202)의 펄싱을 개시하는 표시를 저장한다.
- [0063] 레시피 신호(412)를 수신하면, DSP(404)는 레시피 신호(412)로부터 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 및 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)에 대한 듀티 사이클을 식별하고, 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 및 듀티 사이클을 전력 제어기들(PWRS3b, PWRS2b, 및 PWRS1b)에 제공한다. 예를 들어, 상태(S3b) 및 상태(S3b)의 듀티 사이클은 전력 제어기(PWRS3b)로 송신되고, 상태(S2b) 및 상태(S2b)의 듀티 사이클은 전력 제어기(PWRS2b)로 송신되고, 상태(S1b) 및 상태(S1b)의 듀티 사이클은 전력 제어기(PWRS1b)로 송신된다.
- [0064] 각각의 전력 제어기(PWRS3b, PWRS2b, PWRS1b)는 상태들(S3b, S2b, S1b) 중 개개의 상태 및 상태들(S3b, S2b, S1b)의 듀티 사이클들 중 개개의 듀티 사이클을 저장한다. 예를 들어, 전력 제어기(PWRS3b)의 프로세서는 상태(S3b) 및 상태(S3b)가 발생할 듀티 사이클을 전력 제어기(PWRS3b)의 메모리 디바이스에 저장하고, 전력 제어기

(PWRS2b)는 상태(S2b) 및 상태(S2b)가 발생할 듀티 사이클을 전력 제어기(PWRS2b)의 메모리 디바이스에 저장하고, 전력 제어기(PWRS1b)는 상태(S1b) 및 상태(S1b)가 발생할 듀티 사이클을 전력 제어기(PWRS1b)의 메모리 디바이스에 저장한다.

[0065] 또한, DSP(404)는 레시피 신호(412)로부터 RF 생성기(402)의 동작 주파수를 식별하고, 동작 주파수를 주파수 제어기(FC)에 제공한다. 주파수 제어기(FC)의 프로세서는 주파수 제어기(FC)의 메모리 디바이스 내의 동작 주파수를 저장한다.

[0066] 또한, DSP(404)는 전송 케이블(120)을 통해 프로세서(110)로부터 클럭 신호(212)를 수신한다. 클럭 신호(212)를 수신한 후, DSP(404)는 주파수 제어 신호를 주파수 제어기(FC)에 송신하고 전력 제어 신호를 전력 제어기(PWRS3b)에 송신하여 상태(S3b)의 듀티 사이클에 대한 상태(S3b)를 제공한다. 전력 제어 신호를 수신하면, 전력 제어기(PWRS3b)는 상태(S3b)를 드라이버 시스템(406)에 송신한다. 드라이버 시스템(406)은 상태(S3b)의 전력 레벨 및 동작 주파수에 기초한 상태(S3b) 및 동작 주파수를 수신할 때 구동 신호를 생성하고, 구동 신호를 RF 전력 공급부(408)에 송신한다. RF 전력 공급부(408)는 상태(S3b)의 듀티 사이클에 대한 상태(S3b)를 갖고 드라이버 시스템(406)으로부터 구동 신호를 수신할 때의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(202)를 생성한다.

[0067] 전력 제어기(PWRS3b)는 상태(S3b)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격이 종료되었다고 결정하고, 상태(S3b)의 듀티 사이클의 종료시에 상태(S3b)를 드라이버 시스템(406)에 송신하는 것을 중단한다. 드라이버 시스템(406)이 상태(S3b)를 수신하지 않을 때, 드라이버 시스템(406)은 상태(S3b)에 기초한 구동 신호의 생성을 중단한다. 상태(S3b)에 기초한 구동 신호를 수신하지 않을 때, RF 전력 공급부(408)는 RF 신호(202)의 상태(S3b)를 생성하지 않는다.

[0068] 또한, 상태(S3b)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격의 종료 시에, DSP(404)는 상태(S2b)의 듀티 사이클에 대한 상태(S2b)를 제공하기 위해 전력 제어 신호를 전력 제어기(PWRS2b)에 송신한다. 전력 제어 신호를 수신하면, 전력 제어기(PWRS2b)는 상태(S2b)를 드라이버 시스템(406)에 송신한다. 드라이버 시스템(406)은 상태(S2b)의 전력 레벨 및 동작 주파수에 기초한 상태(S2b) 및 동작 주파수를 수신할 때 구동 신호를 생성하고, 구동 신호를 RF 전력 공급부(408)에 송신한다. RF 전력 공급부(408)는 상태(S2b)의 듀티 사이클에 대한 상태(S2b)를 갖고 드라이버 시스템(406)으로부터 구동 신호를 수신할 때의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(202)를 생성한다.

[0069] 전력 제어기(PWRS2b)는 상태(S2b)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격이 종료되었다고 결정하고, 상태(S2b)의 듀티 사이클의 종료시에 상태(S2b)를 드라이버 시스템(406)에 송신하는 것을 중단한다. 드라이버 시스템(406)이 상태(S2b)를 수신하지 않을 때, 드라이버 시스템(406)은 상태(S2b)에 기초한 구동 신호의 생성을 중단한다. 상태(S2b)에 기초한 구동 신호를 수신하지 않을 때, RF 전력 공급부(408)는 RF 신호(202)의 상태(S2b)를 생성하지 않는다.

[0070] 또한, 상태(S2b)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격의 종료 시에, DSP(404)는 상태(S1b)의 듀티 사이클에 대한 상태(S1b)를 제공하기 위해 전력 제어 신호를 전력 제어기(PWRS1b)에 송신한다. 전력 제어 신호를 수신하면, 전력 제어기(PWRS1b)는 상태(S1b)를 드라이버 시스템(406)에 송신한다. 드라이버 시스템(406)은 상태(S1b)의 전력 레벨 및 동작 주파수에 기초한 상태(S1b) 및 동작 주파수를 수신할 때 구동 신호를 생성하고, 구동 신호를 RF 전력 공급부(408)에 송신한다. RF 전력 공급부(408)는 상태(S1b)의 듀티 사이클에 대한 상태(S1b)를 갖고 드라이버 시스템(406)으로부터 구동 신호를 수신할 때의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(202)를 생성한다.

[0071] 전력 제어기(PWRS1b)는 상태(S1b)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격이 종료되었다고 결정하고, 상태(S1b)의 듀티 사이클의 종료시에 상태(S1b)를 드라이버 시스템(406)에 송신하는 것을 중단한다. 드라이버 시스템(406)이 상태(S1b)를 수신하지 않을 때, 드라이버 시스템(406)은 상태(S1b)에 기초한 구동 신호의 생성을 중단한다. 상태(S1b)에 기초한 구동 신호를 수신하지 않을 때, RF 전력 공급부(408)는 RF 신호(202)의 상태(S1b)를 생성하지 않는다. 이러한 방식으로, DSP(404)는 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 및 제1 시간 기간 동안의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(202)를 생성하도록 전력 제어기들(PWRS3b, PWRS2b, 및 PWRS1b) 및 주파수 제어기(FC)를 제어한다.

[0072] 상태에 대한 전력 레벨의 변화를 나타내는 새로운 레시피 신호가 전송 케이블(120)을 통해 프로세서(110)로부터 DSP(404)에 의해 수신될 때, 상태에 대한 전력 레벨의 변화가 발생한다는 것에 유의해야 한다. 예를 들어, 프로세서(110)는 상태(S3b)의 전력 레벨보다 큰 전력 레벨 및 더 큰 전력 레벨의 듀티 사이클을 포함하는 레시피 신호를 DSP(404)에 송신한다. 더 큰 전력 레벨 및 듀티 사이클을 수신하면, DSP(404)는 상태(S3b)에 대한 전력 레벨을 듀티 사이클의 시간 기간 동안 더 큰 전력 레벨로 증가시키도록 RF 전력 공급부(408)를 더 제어하도록 전력 제어기(PWRS3b)를 제어한다. 전력 제어기(PWRS3b)는 상태(S3b)의 전력 레벨을 달성하기 위해 전력 제어기

(PSRS3b)가 제어되는 것과 동일한 방식으로 듀티 사이클에 대해 더 큰 전력 레벨을 달성하기 위해 동일한 방식으로 제어된다.

- [0073] 도 5는 RF 신호(502)의 상태의 다수의 세트를 예시하기 위한 그래프(500)의 실시예이다. RF 신호(502)는 RF 신호(130)(도 1)의 예이다. 그래프(500)는 신호(502)대 시간(t)의 전력 레벨을 플로팅한다. 파워 레벨은 y-축 상에 플로팅되고 시간(t)은 x-축 상에 플로팅된다. 그래프(500)의 y-축 상에서, 전력 레벨은 전력 레벨(P0)로부터 전력 레벨(P13)까지의 범위이다. 파워 레벨은 그래프(500)의 y-축의 양의 y 방향으로 증가한다. 예를 들어, 전력 레벨은 P0에서 P13으로 증가한다. 그래프(500)의 x-축 상에서, 시간(t)은 시간(t0)에서 시간(t42)까지 증가한다.
- [0074] RF 신호(502)는 시간(t0)에서 시간(t18)까지 상태들(S2a 및 S1a)의 세트 사이에서 주기적으로 전이한다. 상태(S2a)는 전력 레벨(P6)이고 상태(S1a)는 전력 레벨(P2)이다. 시간(t18)에서, RF 신호(502)는 시간(t36)까지 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 중에서 전이한다. 그 후, 시간(t36)에서 시작하여, RF 신호(502)는 네 개의 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)의 세트 중에서, 주기적으로 전이하는 것과 같이 교번한다. RF 신호(502)는 스텝-다운 방식으로 시간(t36)과 시간(t46) 사이의 시간 기간 동안 상태들(S4c 내지 S1c) 중에서 전이한다. 예를 들어, 클록 신호(212)(도 2b)의 사이클 10 동안, RF 신호(502)는 시간(t36)에서 전력 레벨(p2)로부터 전력 레벨(P13)로 전이하고, 시간(t36)에서 시간(t37)까지 전력 레벨(P13)을 유지한다. 또한, RF 신호(502)는 시간(t37)에서 전력 레벨(P13)로부터 전력 레벨(P10)로 전이하고, 시간(t37)에서 시간(t38)까지 전력 레벨(P10)로 남아있다. 또한, RF 신호(502)는 시간(t38)에서 전력 레벨(P10)로부터 전력 레벨(P6)로 전이하고, 시간(t38)에서 시간(t39)까지 전력 레벨(P6)로 남아있다. RF 신호(502)는 시간(t39)에서 전력 레벨(P6)로부터 전력 레벨(P2)로 전이하고, 시간(t39)에서 시간(t41)까지 전력 레벨(P2)로 남아있다.
- [0075] 클록 신호(212)의 사이클 11 및 사이클 12 동안, RF 신호(502)는 사이클 10 및 사이클 11 동안과 동일한 방식으로 전력 레벨들(P13, P10, P6, 및 P2) 사이의 전이를 반복한다. 예를 들어, 시간(t36)에서 시간(t41)까지 전력 레벨들(P13, P10, P6, 및 P2)의 발생의 방식과 동일한 방식으로, 시간(t41)에서 시간(t46)까지 전력 레벨들(P13, P10, P6, 및 P2)이 반복된다.
- [0076] 전력 레벨(P13)은 RF 신호(502)의 상태(S4c)이고, 전력 레벨(P10)은 RF 신호(502)의 상태(S3c)이고, 전력 레벨(P6)은 RF 신호(502)의 상태(S2c)이고, 전력 레벨(P2)은 RF 신호(502)의 상태(S1c)이다. 또한, 시간(t36)과 시간(t37) 사이의 시간 간격은 상태(S4c)의 듀티 사이클의 예이고, 시간(t37)과 시간(t38) 사이의 시간 간격은 상태(S3c)의 듀티 사이클의 예이고, 시간(t38)과 시간(t39) 사이의 시간 간격은 상태(S2c)의 듀티 사이클의 예이고, 시간(t39)과 시간(t41) 사이의 시간 간격은 상태(S1c)의 듀티 사이클의 예이다. 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)은 RF 신호(502)의 상태의 세트를 형성한다. 또한, 상태(S4c 내지 S1c)는 제2 시간 기간 동안 발생한다. 제2 시간 기간은 시간(t36)에서 시간(t46)까지이다.
- [0077] 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)은 유전체 층(304)(도 3a)보다 더 깊은 기관(도시되지 않음)의 유전체 층을 에칭한다는 것에 유의해야 한다. 예를 들어, 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)은 기관(도시되지 않음)의 마스크 층 및 기관(도시되지 않음)의 유전체 층의 하나 이상의 부분을 에칭한다. 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)은 유전체 층의 나머지 부분을 에칭한다. 유전체 층은 마스크 층 아래에 로케이팅된다. 또한, 유전체 층의 나머지 부분은 유전체 층의 하나 이상의 부분 아래에 로케이팅된다.
- [0078] 실시예에서, 유전체 층(304)보다 더 깊은 유전체 층을 갖는 기관을 에칭하기 위해 세 개의 상태가 사용된다. 예를 들어, 이전 예에서, 유전체 층의 나머지 부분을 에칭하기 위해 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)을 사용하는 대신에, 상태(S3b)의 전력 레벨 대신에 고전력 레벨 상태가 사용된다. 고전력 레벨은 상태(S3b)의 전력 레벨보다 크다.
- [0079] 일 실시예에서, 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)은 제2 횡수 동안 반복된다. 예를 들어, 도 5에 예시된 바와 같이 시간(t36)과 시간(t46) 사이의 시간 기간 동안 2회 반복하는 대신에, 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)은 1회 또는 3회 발생한다. 예로서, 제2 횡수는 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)이 발생하는 제1 횡수와 동일하다. 다른 예로서, 제2 횡수는 제1 횡수와 상이하다.
- [0080] 실시예에서, 상태(S3c)는 상태(S3b)와 상이한 전력 레벨을 갖는다. 예를 들어, 상태(S3c)는 전력 레벨(P10)과 전력 레벨(P13) 사이의 전력 레벨 또는 전력 레벨(P13)보다 큰 전력 레벨이다.
- [0081] 실시예에서, 상태(S2c)는 상태(S2b)와 상이한 전력 레벨을 갖는다. 예를 들어, 상태(S2c)는 전력 레벨(P6)과 전력 레벨(P10) 사이의 전력 레벨이다.

- [0082] 일 실시예에서, 상태(S1c)는 상태(S1b)와 상이한 전력 레벨을 갖는다. 예를 들어, 상태(S1c)는 전력 레벨(P2)과 전력 레벨(P6) 사이 또는 전력 레벨(P0)과 전력 레벨(P2) 사이의 전력 레벨이다.
- [0083] 실시예에서, 상태들(S3b, S2b, S1b, S4c, S3c, S2c, 및 S1c), 상태들(S3b, S2b, S1b, S4c, S3c, S2c, 및 S1c)에 대한 듀티 사이클, 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)의 발생에 대한 제1 시간 기간, 및 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)의 발생에 대한 제2 시간 기간은 실험 프로세스 동안 프로세서(110)에 의해 경험적으로 결정된다. 상태들(S3b, S2b, S1b, S4c, S3c, S2c, 및 S1c)은 기관(S)의 프로세싱 동안 액세스를 위해 프로세서(110)에 의해 메모리 디바이스(112)에 저장된다.
- [0084] 일 실시예에서, 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)은 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 대신에 시간(t0)에서 발생한다. 상태들(S4c 내지 S1c)은, 예를 들어, 시간(t0)에서 시간(t46)까지와 같은 다수의 시간 동안 발생한다.
- [0085] 도 6은 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)의 생성을 예시하기 위한 시스템(600)의 실시예의 도면이다. 시스템(600)은 RF 생성기(602) 및 호스트 컴퓨터(104)를 포함한다. RF 생성기(602)는 RF 생성기(102)(도 1)의 예이다.
- [0086] RF 생성기(602)는 DSP(404), 제어기 시스템(403), 전력 제어기(PWRS4c), 전력 제어기(PWRS3c), 전력 제어기(PWRS2c), 및 전력 제어기(PWRS1c)를 포함한다. RF 생성기(602)는 드라이버 시스템(406), 및 RF 전력 공급부(408)를 더 포함한다.
- [0087] DSP(404)는 전력 제어기들(PWRS4c, PWRS3c, PWRS2c, 및 PWRS1c)에 커플링된다. 전력 제어기들(PWRS4c, PWRS3c, PWRS2c, 및 PWRS1c)은 드라이버 시스템(406)에 커플링된다.
- [0088] 프로세서(110)는 레시피 신호(612)를 생성하고 이 레시피 신호(412)를 전송 케이블(120)을 통해 DSP(404)로 송신한다. 레시피 신호(612)는 레시피 신호(126)(도 1)의 예이다. 레시피 신호(612)는 RF 생성기(602)의 동작 주파수, RF 신호(502)의 상태들(S3b, S2b, 및 S1b)의 세트, RF 신호(502)의 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)의 세트, 및 상태들(S3b, S2b, S1b, S4c, S3c, S2c, 및 S1c)의 듀티 사이클을 포함한다. 레시피 신호(612)는 상태들(S3b 내지 S1b)의 세트가 발생할 제1 시간 기간 및 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)이 발생할 제2 시간 기간을 더 포함한다. 레시피 신호(612)는 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 중에서 RF 신호(502)의 펄싱을 개시하는 표시를 더 포함한다. DSP(404)는, DSP(404)의 메모리 디바이스 내에, 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)의 듀티 사이클, 제2 시간 기간, 및 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 중에서 RF 신호(502)의 펄싱을 개시하는 표시를 저장한다.
- [0089] 레시피 신호(612)를 수신하면, DSP(404)는 레시피 신호(612)로부터, 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)과 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)이 발생할 듀티 사이클을 식별하고, 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)과 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)에 대한 듀티 사이클을 전력 제어기들(PWRS4c, PWRS3c, PWRS2c, 및 PWRS1c)에 제공한다. 예를 들어, 상태(S4c) 및 상태(S4c)의 듀티 사이클은 전력 제어기(PWRS4c)로 송신되고, 상태(S3c) 및 상태(S3c)의 듀티 사이클은 전력 제어기(PWRS3c)로 송신되고, 상태(S2c) 및 상태(S2c)의 듀티 사이클은 전력 제어기(PWRS2c)로 송신되고, 상태(S1c) 및 상태(S1c)의 듀티 사이클은 전력 제어기(PWRS1c)로 송신된다.
- [0090] 각각의 전력 제어기(PWRS4c, PWRS3c, PWRS2c, 및 PWRS1c)는 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c) 중 개개의 상태 및 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c)의 듀티 사이클들 중 개개의 듀티 사이클을 저장한다. 예를 들어, 전력 제어기(PWRS4c)의 프로세서는 상태(S4c) 및 상태(S4c)가 발생할 듀티 사이클을 전력 제어기(PWRS4c)의 메모리 디바이스에 저장하고, 전력 제어기(PWRS3c)의 프로세서는 상태(S3c) 및 상태(S3c)가 발생할 듀티 사이클을 전력 제어기(PWRS3c)의 메모리 디바이스에 저장한다.
- [0091] 상태(S1b)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격의 종료 및 제1 시간 기간의 종료시에, DSP(404)는 상태(S4c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S4c)를 제공하기 위해 전력 제어 신호를 전력 제어기(PWRS4c)에 송신한다. 전력 제어 신호를 수신하면, 전력 제어기(PWRS4c)는 상태(S4c)를 드라이버 시스템(406)에 송신한다. 드라이버 시스템(406)은 상태(S4c)의 전력 레벨 및 동작 주파수에 기초한 상태(S4c) 및 동작 주파수를 수신할 때 구동 신호를 생성하고, 구동 신호를 RF 전력 공급부(408)에 송신한다. RF 전력 공급부(408)는 상태(S4c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S4c)를 갖고 드라이버 시스템(406)으로부터 구동 신호를 수신할 때의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(502)를 생성한다.
- [0092] 전력 제어기(PWRS4c)는 상태(S4c)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격이 종료되었다고 결정하고, 상태(S4c)의 듀티 사이클의 종료시에 상태(S4c)를 드라이버 시스템(406)에 송신하는 것을 중단한다. 드라이버 시스템(406)이 상태(S4c)를 수신하지 않을 때, 드라이버 시스템(406)은 상태(S4c)에 기초한 구동 신호의 생성을 중단한다. 상태(S4c)에 기초한 구동 신호를 수신하지 않을 때, RF 전력 공급부(408)는 RF 신호(502)의 상태(S4c)를 생성하지

않는다.

- [0093] 상태(S4c)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격의 종료 시에, DSP(404)는 상태(S3c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S3c)를 제공하기 위해 전력 제어 신호를 전력 제어기(PWRS3c)에 송신한다. 전력 제어 신호를 수신하면, 전력 제어기(PWRS3c)는 상태(S3c)를 드라이버 시스템(406)에 송신한다. 드라이버 시스템(406)은 상태(S3c)의 전력 레벨 및 동작 주파수에 기초한 상태(S3c) 및 동작 주파수를 수신할 때 구동 신호를 생성하고, 구동 신호를 RF 전력 공급부(408)에 송신한다. RF 전력 공급부(408)는 상태(S3c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S3c)를 갖고 드라이버 시스템(406)으로부터 구동 신호를 수신할 때의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(502)를 생성한다.
- [0094] 또한, 전력 제어기(PWRS3c)는 상태(S3c)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격이 종료되었다고 결정하고, 상태(S3c)의 듀티 사이클의 종료시에 상태(S3c)를 드라이버 시스템(406)에 송신하는 것을 중단한다. 드라이버 시스템(406)이 상태(S3c)를 수신하지 않을 때, 드라이버 시스템(406)은 상태(S3c)에 기초한 구동 신호의 생성을 중단한다. 상태(S3c)에 기초한 구동 신호를 수신하지 않을 때, RF 전력 공급부(408)는 RF 신호(502)의 상태(S3c)를 생성하지 않는다.
- [0095] 상태(S3c)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격의 종료 시에, DSP(404)는 상태(S2c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S2c)를 제공하기 위해 전력 제어 신호를 전력 제어기(PWRS2c)에 송신한다. 전력 제어 신호를 수신하면, 전력 제어기(PWRS2c)는 상태(S2c)를 드라이버 시스템(406)에 송신한다. 드라이버 시스템(406)은 상태(S2c)의 전력 레벨 및 동작 주파수에 기초한 상태(S2c) 및 동작 주파수를 수신할 때 구동 신호를 생성하고, 구동 신호를 RF 전력 공급부(408)에 송신한다. RF 전력 공급부(408)는 상태(S2c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S2c)를 갖고 드라이버 시스템(406)으로부터 구동 신호를 수신할 때의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(502)를 생성한다.
- [0096] 전력 제어기(PWRS2c)는 상태(S2c)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격이 종료되었다고 결정하고, 상태(S2c)의 듀티 사이클의 종료시에 상태(S2c)를 드라이버 시스템(406)에 송신하는 것을 중단한다. 드라이버 시스템(406)이 상태(S2c)를 수신하지 않을 때, 드라이버 시스템(406)은 상태(S2c)에 기초한 구동 신호의 생성을 중단한다. 상태(S2c)에 기초한 구동 신호를 수신하지 않을 때, RF 전력 공급부(408)는 RF 신호(502)의 상태(S2c)를 생성하지 않는다.
- [0097] 상태(S2c)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격의 종료 시에, DSP(404)는 상태(S1c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S1c)를 제공하기 위해 전력 제어 신호를 전력 제어기(PWRS1c)에 송신한다. 전력 제어 신호를 수신하면, 전력 제어기(PWRS1c)는 상태(S1c)를 드라이버 시스템(406)에 송신한다. 드라이버 시스템(406)은 상태(S1c)의 전력 레벨 및 동작 주파수에 기초한 상태(S1c) 및 동작 주파수를 수신할 때 구동 신호를 생성하고, 구동 신호를 RF 전력 공급부(408)에 송신한다. RF 전력 공급부(408)는 상태(S1c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S1c)를 갖고 드라이버 시스템(406)으로부터 구동 신호를 수신할 때의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(502)를 생성한다.
- [0098] 전력 제어기(PWRS1c)는 상태(S1c)의 듀티 사이클에 대한 시간 간격이 종료되었다고 결정하고, 상태(S1c)의 듀티 사이클의 종료시에 상태(S1c)를 드라이버 시스템(406)에 전송하는 것을 중단한다. 드라이버 시스템(406)이 상태(S1c)를 수신하지 않을 때, 드라이버 시스템(406)은 상태(S1c)에 기초한 구동 신호의 생성을 중단한다. 상태(S1c)에 기초한 구동 신호를 수신하지 않을 때, RF 전력 공급부(408)는 RF 신호(502)의 상태(S1c)를 생성하지 않는다. 이러한 방식으로, DSP(404)는 상태들(S4c, S3c, S2c, 및 S1c) 및 제2 시간 기간 동안의 동작 주파수를 갖는 RF 신호(502)를 생성하도록 전력 제어기들(PWRS4c, PWRS3c, PWRS2c, 및 PWRS1c), 및 주파수 제어기(FC)를 제어한다.
- [0099] RF 신호(130)(도 1)가 시간(t0)에서 네 개의 상태들(S4c 내지 S1c) 중에서 펄싱을 개시하는 실시예에서, 레시피 신호(612)는 상태들(S3b, S2b, 및 S1b) 중에서 펄싱을 개시하는 표시 대신에 상태들(S4c 내지 S1c) 중에서 RF 신호(502)를 펄싱하는 표시를 포함한다. DSP(404)는, DSP(404)의 메모리 디바이스 내에, 상태들(S4c 내지 S1c) 중에서 RF 신호(130)의 펄싱을 개시하는 표시를 저장한다. 시간(t0)에서, DSP(404)는 상태(S4c)의 듀티 사이클에 대한 상태(S4c)를 제공하기 위해 전력 제어 신호를 전력 제어기 PWRS4c에 전송한다.
- [0100] 일 실시예에서, 제어기들(PWRS3b, PWRS2b, PWRS1b, PWRS4c, PWRS3c, PWRS2c, PWRS1c 및 FC)에 의해 수행되는 것으로 본원에 설명된 임의의 기능은 DSP(404)에 의해 수행될 수 있다.
- [0101] 일 실시예에서, 제어기들(PWRS3b, PWRS2b, PWRS1b, PWRS4c, PWRS3c, PWRS2c, PWRS1c 및 FC) 중 하나 이상에 의해 수행되는 것으로 본원에 설명된 임의의 기능은 단일 제어기에 의해 또는 두 개 이상의 제어기에 의해 수행될 수 있다.
- [0102] 상태들(S4c 내지 S3c)이 상태들(S3b 내지 S1b) 후에 적용되는 실시예에서, LF RF 생성기는 제1 시간 기간과 제2

시간 기간의 합 동안 턴 오프되고, 제1 시간 기간과 제2 시간 기간의 합 후에 턴 온된다는 것에 유의해야 한다.

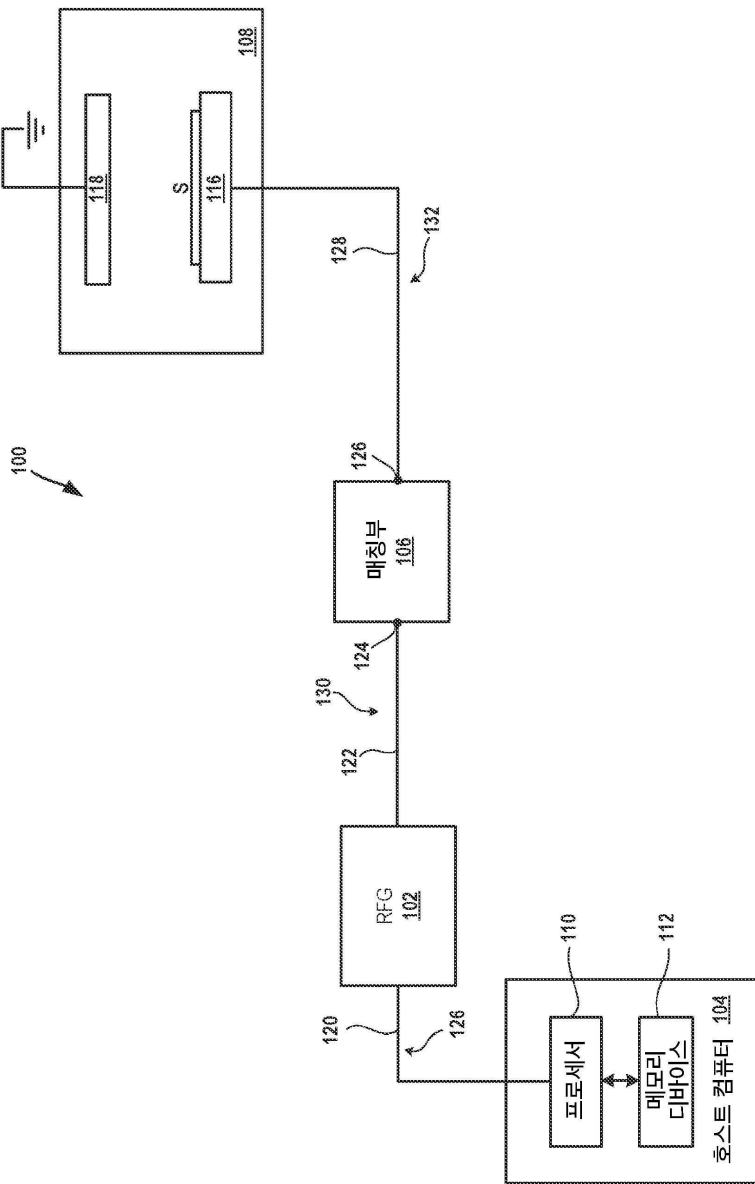
- [0103] 본원에 설명된 실시예는 핸드-헬드(hand-held) 하드웨어 유닛, 마이크로프로세서 시스템, 마이크로프로세서-기반 또는 프로그램가능 소비자 전자 장치, 미니컴퓨터, 메인프레임 컴퓨터 등을 포함하는 다양한 컴퓨터 시스템 구성으로 실시될 수 있다. 본원에 설명된 실시예는 또한, 태스크가 컴퓨터 네트워크를 통해 링크되는 원격 프로세싱 하드웨어 유닛에 의해 수행되는 분산된 컴퓨팅 환경에서 실시될 수 있다.
- [0104] 일부 실시예에서, 제어기는 상술된 예의 일부일 수 있는 시스템의 일부이다. 시스템은 프로세싱 도구 또는 도구들, 챔버 또는 챔버들, 프로세싱을 위한 플랫폼 또는 플랫폼들 및/또는 특정 프로세싱 구성요소(웨이퍼 페데스탈, 가스 유동 시스템 등)를 포함한 반도체 프로세싱 장비를 포함할 수 있다. 시스템은 반도체 웨이퍼 또는 기판의 프로세싱 이전, 그 동안, 그 후에 그의 동작을 제어하기 위해 전자 장치와 통합된다. 전자 장치는 시스템의 다양한 컴포넌트나 서브 부분을 제어할 수 있는 "제어기"로서 지칭될 수 있다. 제어기는, 프로세싱 요건 및/또는 시스템 유형에 의존하여, 프로세스 가스의 전달, 온도 설정(예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정, 진공 설정, 전력 설정, RF 생성기 설정, RF 매칭 회로 설정, 주파수 설정, 유량 설정, 유체 전달 설정, 위치 및 동작 설정, 도구 및 다른 전송 도구 안팎으로 웨이퍼 전송 및/또는 시스템에 연결되거나 인터페이스되는 로드록을 포함하여, 본원에 개시된 임의의 프로세스를 제어하기 위해 프로그래밍된다.
- [0105] 광범위하게 말하면, 다양한 실시예에서, 제어기는 명령을 수신하고, 명령을 발행하고, 동작을 제어하고, 세팅 동작을 가능하게 하고, 엔드포인트 측정을 가능하게 하는 등을 하는 다양한 집적 회로, 로직, 메모리 및/또는 소프트웨어를 갖는 전자 장치로서 정의된다. 집적 회로는 프로그램 명령을 저장하는 펌웨어 형태의 칩, DSP, ASIC로 정의된 칩, PLD, 하나 이상의 마이크로프로세서, 또는 프로그램 명령(예를 들어, 소프트웨어)을 실행하는 마이크로제어기를 포함한다. 프로그램 명령은 다양한 개별 설정(또는 프로그램 파일)의 형태로 제어기에 통신되어, 시스템에 대한 또는 반도체 웨이퍼에 대한 또는 반도체 웨이퍼 상에서 프로세스를 수행하기 위한 작업 파라미터를 정의하는 명령이다. 작업 파라미터는, 일부 실시예에서 하나 이상의 층, 재료, 금속, 산화물, 실리콘, 실리콘 이산화물, 표면, 회로 및/또는 웨이퍼의 다이의 제작 동안 하나 이상의 프로세싱 단계를 달성하기 위해 프로세스 엔지니어에 의해 정의된 레시피의 일부이다.
- [0106] 제어기는, 일부 실시예에서, 시스템과 통합되거나, 시스템에 커플링되거나, 그렇지 않으면 시스템에 네트워킹되거나 또는 이들의 조합인 컴퓨터의 일부이거나 컴퓨터에 커플링된다. 예를 들어, 제어기는 웨이퍼 프로세싱에 대한 원격 액세스를 허용하는 "클라우드" 또는 웹 호스트 컴퓨터 시스템(fab host computer system)의 전부 또는 일부에 있다. 제어기는 시스템에 대한 원격 액세스를 가능하게 하여 제조 작업의 현재 진행 상황을 모니터링하고, 과거 제조 작업의 이력을 검사하고, 복수의 제조 작업으로부터 추세 또는 성능 메트릭을 검사하고, 현재 프로세싱의 파라미터를 변경하고, 현재 프로세싱에 뒤따르는 프로세싱 단계를 세팅하거나 새로운 프로세스를 시작할 수 있다.
- [0107] 일부 실시예에서, 원격 컴퓨터(예를 들어, 서버)는 로컬 네트워크 또는 인터넷을 포함하는 컴퓨터 네트워크를 통해 시스템에 프로세스 레시피를 제공한다. 원격 컴퓨터는 파라미터 및/또는 설정의 엔트리 또는 프로그래밍을 가능하게 하는 사용자 인터페이스를 포함하며, 이는 그 후 원격 컴퓨터로부터 시스템으로 통신된다. 일부 예에서, 제어기는 웨이퍼를 프로세싱하기 위한 설정의 형태로 명령을 수신한다. 설정은 웨이퍼 상에서 수행될 프로세스의 유형 및 제어기가 인터페이스하거나 제어하는 도구의 유형에 특정된다는 것이 이해되어야 한다. 따라서 위에서 설명된 바와 같이, 제어기는 이를테면, 함께 네트워킹되고 본원에서 설명된 프로세스의 이행과 같은 공통 목적을 위해 작동하는 하나 이상의 개별 제어기를 포함함으로써 분산된다. 이러한 목적을 위한 분산된 제어기의 예는 챔버 내의 프로세스를 제어하기 위해 결합되는 원격(이를테면, 플랫폼 레벨의 또는 원격 컴퓨터의 일부로서)에 로케이팅된 하나 이상의 집적 회로와 통신하는 챔버 상의 하나 이상의 집적 회로를 포함한다.
- [0108] 제한 없이, 다양한 실시예에서, 본원에 설명된 플라즈마 시스템은 플라즈마 에칭 챔버, 증착 챔버, 스핀-린스 챔버, 금속 도금 챔버, 세정 챔버, 베벨 에치 에칭 챔버, 물리 기상 증착(physical vapor deposition, PVD) 챔버, 화학 기상 증착(chemical vapor deposition, CVD) 챔버, 원자 층 증착(atomic layer deposition, ALD) 챔버, 원자 층 에칭(atomic layer etch, ALE) 챔버, 이온 주입 챔버, 트랙 챔버 및 반도체 웨이퍼의 제조 및/또는 제작에 연관되거나 그에 사용될 수 있는 임의의 다른 반도체 프로세싱 챔버를 포함한다.
- [0109] 위에서 설명된 동작은 병렬 플레이트 플라즈마 챔버, 예를 들어, 용량성으로 커플링된 플라즈마 챔버 등을 참조하여 설명되지만, 일부 실시예에서, 위에서 설명된 동작은 다른 유형의 플라즈마 챔버, 예를 들어, 유도성으로 커플링된 플라즈마(inductively coupled plasma, ICP) 반응기, 트랜스포머 커플링된 플라즈마(transformer coupled plasma, TCP) 반응기, 전도체 도구, 유전체 도구, 전자 사이클로트론 공명(electron cyclotron

resonance, ECR) 반응기 등을 포함하는 플라즈마 챔버에 적용된다는 것을 더 유의해야 한다. 예를 들어, X MHz RF 생성기, Y MHz RF 생성기, 및 Z MHz RF 생성기가 ICP 플라즈마 챔버 내의 인덕터에 커플링된다.

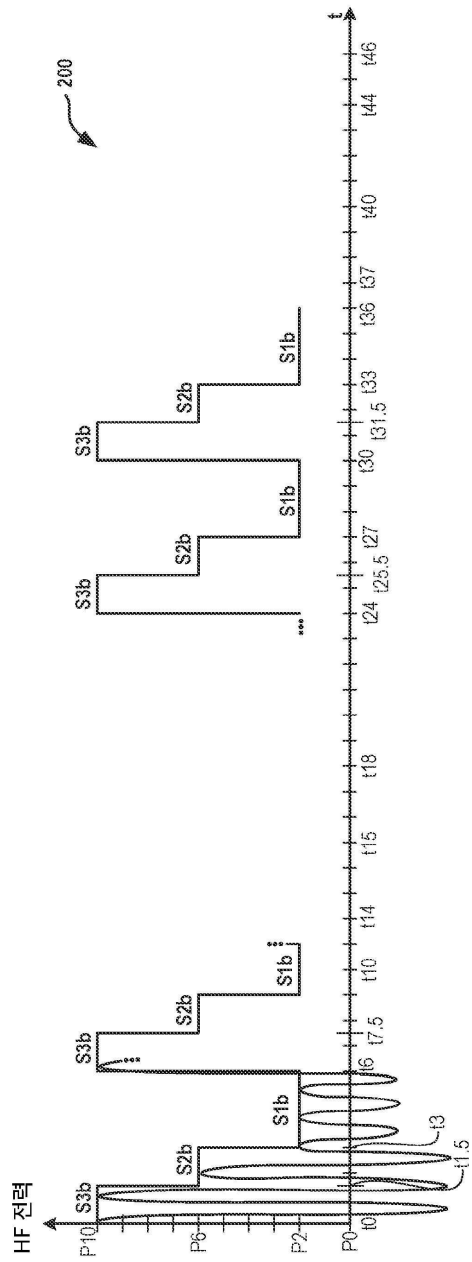
- [0110] 위에서 언급된 바와 같이, 도구에 의해 수행되는 프로세스 동작에 따라, 제어기는 다른 도구 회로 또는 모듈, 다른 도구 구성요소, 클러스터 도구, 다른 도구 인터페이스, 인접 도구, 이웃 도구, 공장 전체에 걸쳐 로케이팅 된 도구, 메인 컴퓨터, 다른 제어기 또는 웨이퍼의 컨테이너를 반도체 제조 공장의 도구 로케이션 및/또는 로드 포트로 가져가고 가져 오는 재료 운송에 사용되는 도구 중 하나 이상과 통신한다.
- [0111] 위의 실시예를 염두에 두고, 실시예 중 일부는 컴퓨터 시스템에 저장된 데이터와 관련된 다양한 컴퓨터-구현 동작을 이용한다는 것이 이해되어야 한다. 이러한 컴퓨터-구현 동작은 물리적인 양을 조작하는 동작이다.
- [0112] 실시예 중 일부는 또한 이들 동작을 수행하기 위한 하드웨어 유닛 또는 장치에 관한 것이다. 장치는 특수 목적 컴퓨터를 위해 특별히 구성된다. 특수 목적 컴퓨터로 정의된 경우, 컴퓨터는 특수 목적의 일부가 아닌 다른 프로세싱, 프로그램 실행 또는 루틴을 수행하면서, 특수 목적을 위한 동작을 여전히 수행할 수 있다.
- [0113] 일부 실시예에서, 본원에 설명된 동작은 선택적으로 활성화된 컴퓨터에 의해 수행되거나, 컴퓨터 메모리에 저장된 하나 이상의 컴퓨터 프로그램에 의해 구성되거나, 컴퓨터 네트워크를 통해 획득된다. 데이터가 컴퓨터 네트워크를 통해 획득될 때, 데이터는 컴퓨터 네트워크 상의 다른 컴퓨터, 예를 들어, 컴퓨팅 리소스의 클라우드에 의해 프로세싱될 수 있다.
- [0114] 본원에 설명된, 하나 이상의 실시예는 또한 비-일시적인 컴퓨터-관독가능 매체 상의 컴퓨터-관독가능 코드로서 제조될 수 있다. 비-일시적 컴퓨터-관독가능 매체는, 이후 컴퓨터 시스템에 의해 관독되는 데이터를 저장하는 임의의 데이터 저장 하드웨어 유닛, 예를 들어, 메모리 디바이스 등이다. 비-일시적 컴퓨터-관독가능 매체의 예는, 하드 드라이브, 네트워크 결합 저장소(network attached storage, NAS), ROM, RAM, CD-ROM(compact disc-ROM), CD-R(CD-recordable), CD-RW(CD-rewritable), 자기 테이프, 및 다른 광학 및 비-광학 데이터 저장 하드웨어 유닛을 포함한다. 일부 실시예에서, 비-일시적 컴퓨터-관독가능 매체는, 컴퓨터-관독가능 코드가 분산 방식으로 저장되고 실행되도록 네트워크-커플링된 컴퓨터 시스템 상에 분산된 컴퓨터-관독가능 유형 매체를 포함한다.
- [0115] 위에서 설명된 일부 방법 동작이 특정 순서로 나타났지만, 다양한 실시예에서, 다른 하우스키핑 동작이 방법 동작 사이에서 수행되거나, 또는 방법 동작이 약간 상이한 시간에서 발생하도록 조정되거나, 또는 다양한 간격에서의 방법 동작의 발생을 허용하는 시스템에 분산되거나, 또는 위에서 설명된 것과 상이한 순서로 수행된다는 것이 이해되어야 한다.
- [0116] 실시예에서, 위에서 설명된 임의의 실시예로부터의 하나 이상의 피처는 본 개시에 설명된 다양한 실시예에서 설명된 범주를 벗어나지 않으면서 임의의 다른 실시예의 하나 이상의 피처와 조합된다는 것을 더 유의해야 한다.
- [0117] 진술한 실시예는 이해의 명확성을 목적으로 다소 상세히 설명되었지만, 특정 변경 및 수정이 첨부된 청구항의 범주 내에서 실시될 수 있다는 것이 명백할 것이다. 따라서, 본 실시예는 예시적이며 제한적이지 않는 것으로 고려되어야 하며, 실시예는 본원에 제공된 세부사항으로 한정되지 않고, 첨부된 청구항의 범주 및 그의 등가물 내에서 수정될 수 있다.

도면

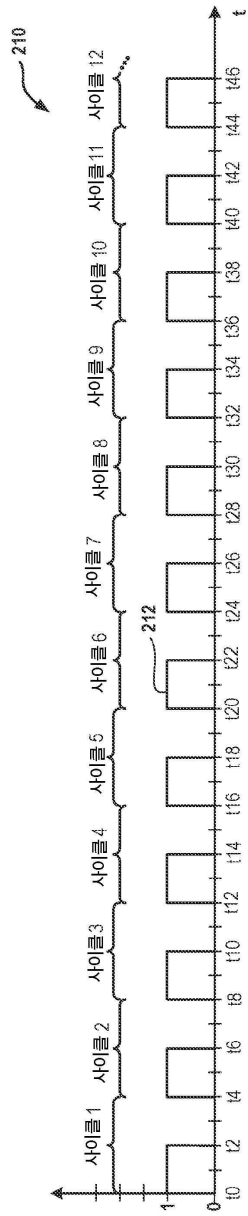
도면1



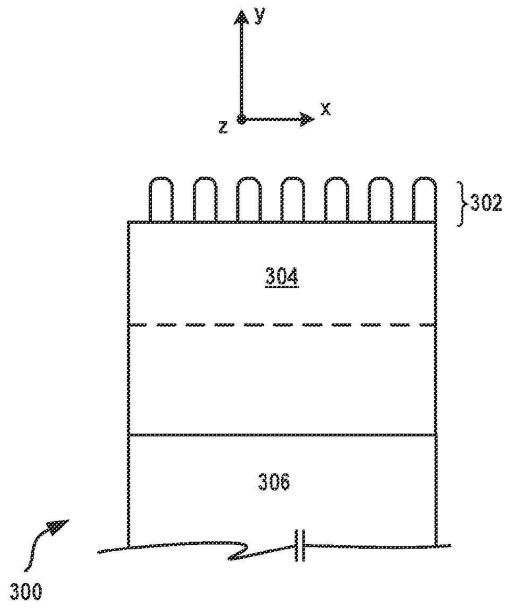
도면2a



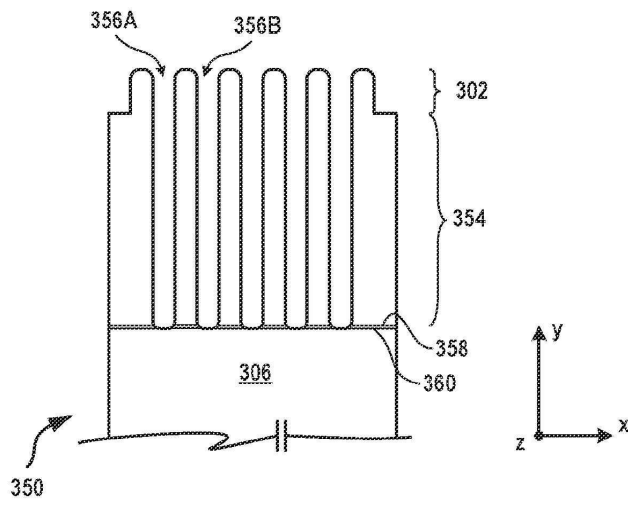
도면2b



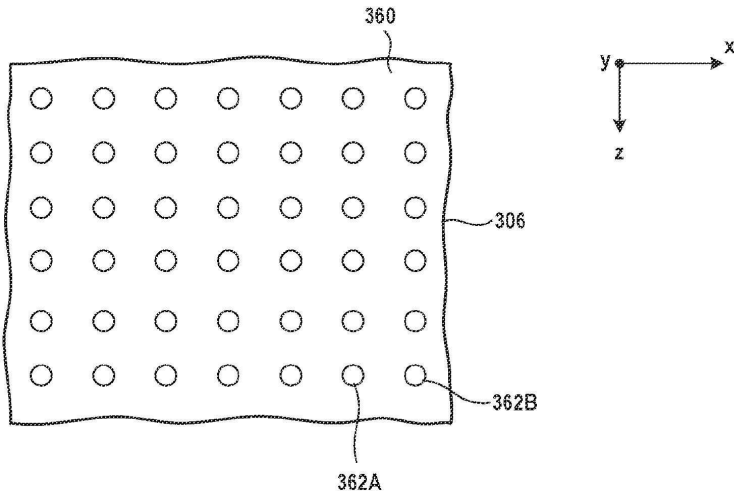
도면3a



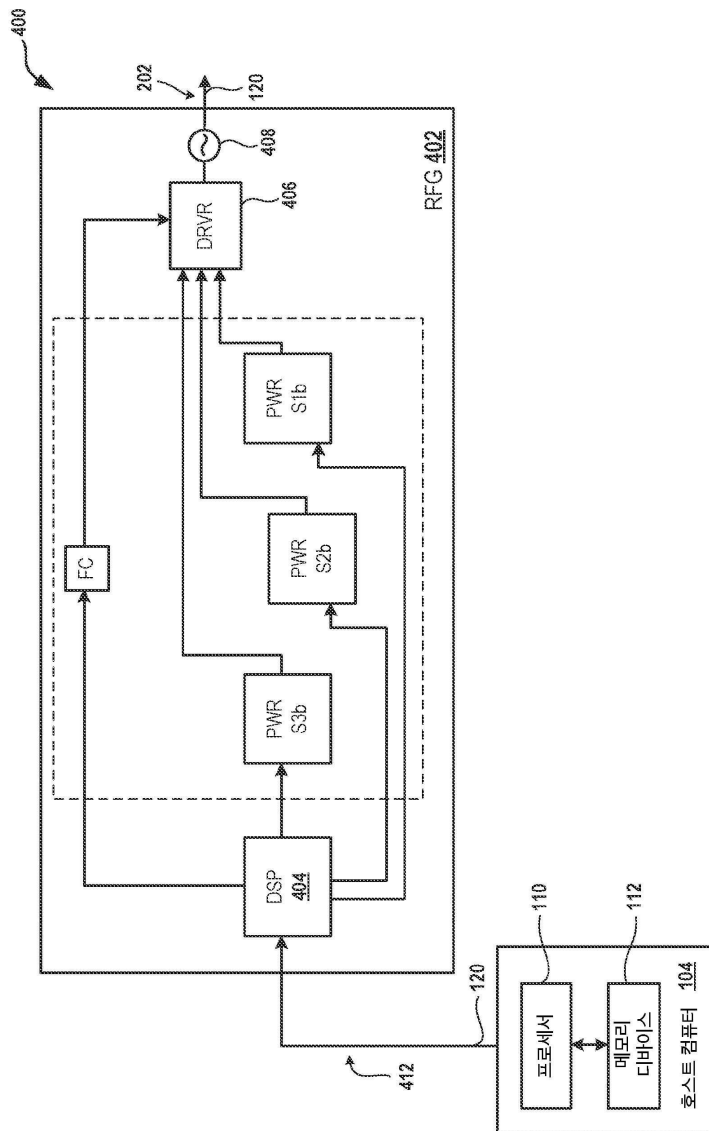
도면3b



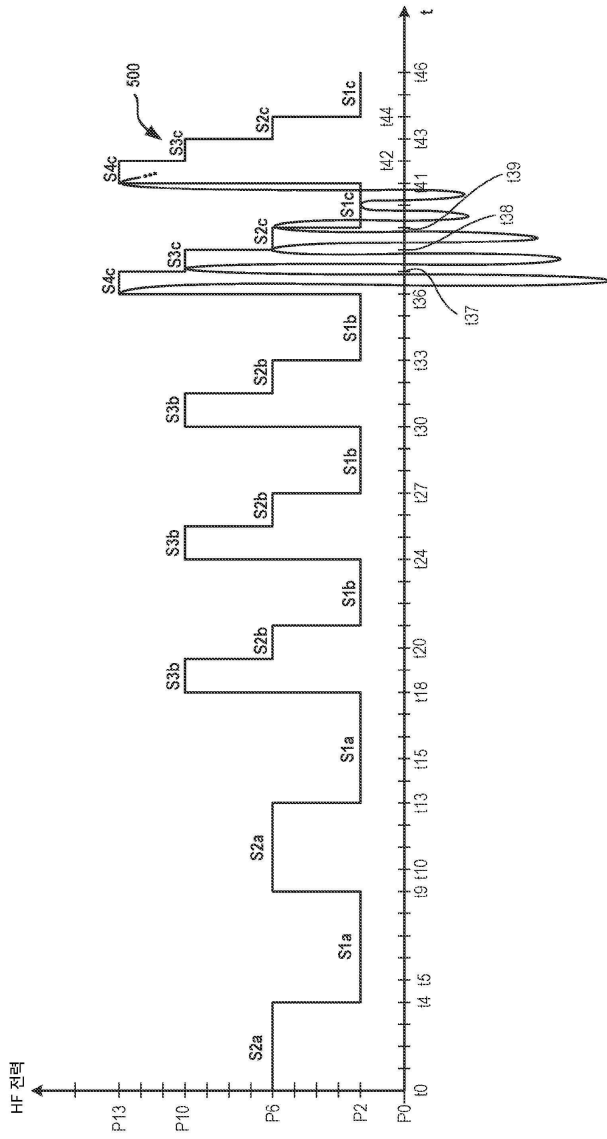
도면3c



도면4



도면5



도면6

