



등록특허 10-2062930



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월06일  
(11) 등록번호 10-2062930  
(24) 등록일자 2019년12월30일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H01L 21/3065* (2006.01) *C23F 4/00* (2006.01)  
*H05H 1/46* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7021178  
(22) 출원일자(국제) 2012년12월17일  
심사청구일자 2017년12월13일  
(85) 번역문제출일자 2014년07월28일  
(65) 공개번호 10-2014-0116453  
(43) 공개일자 2014년10월02일  
(86) 국제출원번호 PCT/IB2012/057385  
(87) 국제공개번호 WO 2013/098702  
국제공개일자 2013년07월04일  
(30) 우선권주장  
13/550,548 2012년07월16일 미국(US)  
61/581,054 2011년12월28일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문현  
JP2003507880 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
**램 리씨치 코포레이션**  
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이  
4650

(72) 발명자  
**제이콥스 카나리크 케렌**  
미국, 캘리포니아 94024, 로스 알토스, 썬더힐 에  
비뉴 24481

(74) 대리인  
**특허법인인베싱크**

(74) 대리인  
특허법인인 벤싱크

전체 청구항 수 : 총 23 항

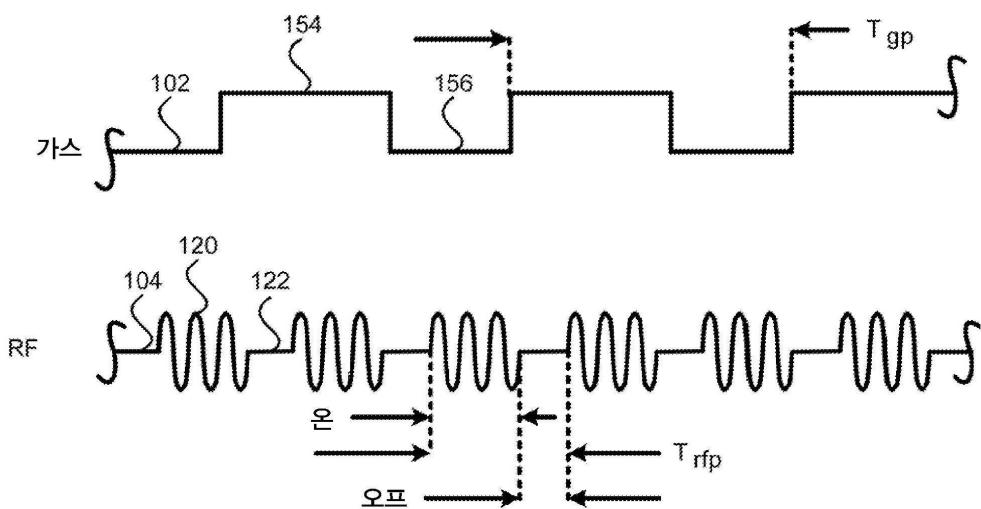
### 심사관 : 박부식

(54) 발명의 명칭 플라즈마 처리 시스템들에서의 혼합 모드 펼성 에칭

### (57) 요약

적어도 하나의 플라즈마 생성 소스, 챔버의 내부 영역 내로 반응 가스를 제공하기 위한 반응 가스 소스, 및 내부 영역 내로 비-반응 가스를 제공하기 위한 비-반응 가스 소스를 가지는, 챔버에서 기판을 처리하기 위한 방법이 제공된다. 상기 방법은, 혼합-모드 펄싱 (MMP) 준비 페이즈 (phase)를 수행하는 단계로서, 내부 영역 내로 반 (뒷면에 계속)

대표도



용 가스를 흘리는 단계 및 제1 플라즈마를 형성하여 워크 피스 홀더 상에 배치된 기판을 처리하는 단계를 포함하는, 준비 페이즈를 수행하는 단계를 포함한다. 상기 방법은, MMP 반응 페이즈를 수행하는 단계로서, 상기 반응 페이즈를 수행하는 단계는 상기 내부 영역 내로 적어도 비-반응 가스를 흘리는 단계 및 제2 플라즈마를 형성하여 제2 플라즈마로 기판을 처리하는 단계를 포함하고, 제2 플라즈마는 MMP 준비 페이즈 동안의 반응 가스 흐름보다 더 적은, MMP 반응 페이즈 동안의 반응 가스 흐름으로 형성되는, 반응 페이즈를 수행하는 단계를 더 포함한다. 상기 방법을 복수 번 반복한다.

## (56) 선행기술조사문현

JP2007126749 A

JP2007509506 A\*

JP2011215371 A

JP평성06077184 A

JP06077184 A\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문현

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

플라즈마 처리 시스템의 플라즈마 처리 챔버에서 기판을 처리하기 위한 방법으로서,

상기 플라즈마 처리 챔버는 적어도 하나의 플라즈마 생성 소스와, 상기 플라즈마 처리 챔버의 내부 영역 내로 적어도 제1 반응 가스를 제공하기 위한 적어도 하나의 반응 가스 소스와, 상기 플라즈마 처리 챔버의 상기 내부 영역 내로 적어도 제1 비-반응 (non-reactive) 가스를 공급하기 위한 비-반응 가스 소스를 가지고,

상기 기판을 처리하기 위한 방법은,

- (a) 상기 내부 영역 내의 워크 피스 홀더 (work piece holder) 상에 상기 기판을 배치하는 단계;
- (b) 혼합-모드 펄싱 (MMP) 준비 페이즈 (phase)를 수행하는 단계로서, 상기 내부 영역 내로 상기 제1 반응 가스를 흘리는 단계 및 상기 기판을 제1 플라즈마로 처리하도록 상기 제1 플라즈마를 적어도 상기 제1 반응 가스로 형성하는 단계를 포함하는, 상기 준비 페이즈를 수행하는 단계;
- (c) 혼합 모드 펄싱 (MMP) 반응 페이즈를 수행하는 단계로서, 상기 내부 영역 내로 적어도 상기 제1 비-반응 가스를 흘리는 단계, 제2 플라즈마로 상기 기판을 처리하도록 적어도 상기 제1 비-반응 가스로 상기 제2 플라즈마를 형성하는 단계, 및 상기 MMP 반응 페이즈 동안 상기 제1 반응 가스와는 다른 제2 반응 가스를 상기 내부 영역 내로 흘리는 단계를 포함하고, 상기 제2 플라즈마는 상기 MMP 준비 페이즈 동안의 상기 제1 반응 가스의 흐름보다 더 적은, 상기 MMP 반응 페이즈 동안의 상기 제1 반응 가스의 흐름으로 형성되는, 상기 반응 페이즈를 수행하는 단계; 및
- (d) 상기 (b) 단계와 상기 (c) 단계를 복수 번 반복하는 단계를 포함하는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 MMP 반응 페이즈 동안, 제1 반응 가스는 상기 내부 영역으로 흘려지지 않는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 플라즈마 처리 챔버는 유도성 커플링된 (inductively coupled) 플라즈마 처리 챔버를 나타내는 (represent), 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 플라즈마 처리 챔버는 용량성 커플링된 (capacitively coupled) 플라즈마 처리 챔버를 나타내는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 비-반응 가스 소스는 제2 비-반응 가스를 더 제공하고,

상기 제2 비-반응 가스는 상기 MMP 준비 페이즈 동안 상기 내부 영역 내로 흘려지는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 MMP 준비 페이즈 동안 상기 제1 비-반응 가스는 또한 상기 내부 영역으로 흘려지는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 7

제1 항에 있어서,

상기 MMP 준비 페이즈 동안 바이어스 전력이 상기 워크 피스 홀더에 인가되지 않는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 8

제7 항에 있어서,

제로보다 큰 바이어스 전력 레벨을 갖는 바이어스 전력이 상기 MMP 반응 페이즈 동안 상기 워크 피스 홀더에 인가되는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 9

제1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 플라즈마 생성 소스는 상기 MMP 준비 페이즈 동안 제1 RF 주파수를 가지는 제1 RF 신호로 여기되고 (excited),

상기 적어도 하나의 플라즈마 생성 소스는 상기 MMP 반응 페이즈 동안 상기 제1 RF 주파수와는 다른 제2 RF 주파수를 가지는 제2 RF 신호로 여기되는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 10

제1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 플라즈마 생성 소스는 상기 MMP 준비 페이즈 동안 제1 RF 주파수를 가지는 제1 RF 신호로 여기되고,

상기 제1 RF 신호는 펄싱된 RF 신호를 나타내는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 11

제1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 플라즈마 생성 소스는 상기 MMP 준비 페이즈 동안 제1 RF 주파수를 가지는 제1 RF 신호로 여기되고,

상기 제1 RF 신호는 쳐평된 (chirped) 주파수들을 가지는 RF 신호를 나타내는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 12

삭제

#### 청구항 13

제1 항에 있어서,

제1 반응 가스는 상기 MMP 반응 페이즈 동안 흘려지지 않는, 기판을 처리하기 위한 방법.

#### 청구항 14

제1 항에 있어서,

제1 바이어스 전력이 상기 MMP 준비 페이즈 동안 상기 워크 피스 홀더에 인가되고,

상기 제1 바이어스 전력의 전력 레벨과는 다른 전력 레벨을 갖는 제2 바이어스 전력이 상기 MMP 반응 페이즈 동안 상기 워크 피스 홀더에 인가되는, 기판을 처리하기 위한 방법.

**청구항 15**

제14 항에 있어서,

상기 제2 바이어스 전력의 상기 전력 레벨은 상기 제1 바이어스 전력의 상기 전력 레벨보다 더 높은, 기판을 처리하기 위한 방법.

**청구항 16**

제1 항에 있어서,

상기 플라즈마 처리 챔버는, 상기 기판의 표면 상의 흡수된 충을 예치하는데 필요한 것보다 더 높지만 상기 기판의 비-흡수된 충을 예치하는데 불충분한 이온 에너지의 레벨을 가지는 비-반응성 이온들을 상기 MMP 반응 페이즈 동안 생성하도록 구성되고,

상기 흡수된 충은 상기 MMP 준비 페이즈 동안 형성되는, 기판을 처리하기 위한 방법.

**청구항 17**

플라즈마 처리 시스템의 유도성 커플링된 플라즈마 처리 챔버에서 기판을 처리하기 위한 방법으로서,

상기 플라즈마 처리 챔버는 적어도 하나의 유도 안테나 (inductive antenna) 와, 상기 플라즈마 처리 챔버의 내부 영역 내로 적어도 제1 반응 가스를 제공하기 위한 적어도 하나의 반응 가스 소스와, 상기 플라즈마 처리 챔버의 상기 내부 영역 내로 적어도 제1 비-반응 가스를 공급하기 위한 비-반응 가스 소스를 가지고,

상기 방법은,

- (a) 상기 내부 영역 내의 워크 피스 홀더 (work piece holder) 상에 상기 기판을 배치하는 단계;
- (b) 혼합-모드 펄싱 (MMP) 준비 페이즈 (phase) 를 수행하는 단계로서, 상기 내부 영역 내로 상기 제1 반응 가스를 흘리는 단계 및 상기 기판을 제1 플라즈마로 처리하도록 상기 제1 플라즈마를 적어도 상기 제1 반응 가스로 형성하는 단계를 포함하는, 상기 준비 페이즈를 수행하는 단계;
- (c) 혼합 모드 펄싱 (MMP) 반응 페이즈를 수행하는 단계로서, 상기 내부 영역 내로 적어도 상기 제1 비-반응 가스를 흘리는 단계, 제2 플라즈마로 상기 기판을 처리하도록 적어도 상기 제1 비-반응 가스로 상기 제2 플라즈마를 형성하는 단계, 및 상기 MMP 반응 페이즈 동안 상기 제1 반응 가스와는 다른 제2 반응 가스를 상기 내부 영역 내로 흘리는 단계를 포함하고, 상기 제2 플라즈마는 상기 MMP 준비 페이즈 동안의 상기 제1 반응 가스의 흐름보다 더 적은, 상기 MMP 반응 페이즈 동안의 상기 제1 반응 가스의 흐름으로 형성되고, 상기 플라즈마 처리 챔버는 상기 기판의 표면 상의 흡수된 충을 예치하는데 필요한 것보다 더 높지만 상기 기판의 비-흡수된 충을 예치하는데 불충분한 이온 에너지의 레벨을 가지는 비-반응성 이온들을 상기 MMP 반응 페이즈 동안 생성하도록 구성되고, 상기 흡수된 충은 상기 MMP 준비 페이즈 동안 형성되는, 상기 반응 페이즈를 수행하는 단계; 및
- (d) 상기 (b) 단계와 상기 (c) 단계를 복수 번 반복하는 단계를 포함하는, 기판을 처리하기 위한 방법.

**청구항 18**

제17 항에 있어서,

상기 MMP 반응 페이즈 동안, 제1 반응 가스는 상기 내부 영역으로 흘려지지 않는, 기판을 처리하기 위한 방법.

**청구항 19**

제17 항에 있어서,

상기 MMP 준비 페이즈 동안 바이어스 전력이 상기 워크 피스 홀더에 인가되지 않는, 기판을 처리하기 위한 방법.

**청구항 20**

제19 항에 있어서,

제로보다 큰 바이어스 전력 레벨을 갖는 바이어스 전력이 상기 MMP 반응 페이즈 동안 상기 워크 피스 홀더에 인

가되는, 기판을 처리하기 위한 방법.

### 청구항 21

제20 항에 있어서,

상기 바이어스 전력은 상기 MMP 반응 페이즈 동안 펼성되는, 기판을 처리하기 위한 방법.

### 청구항 22

제17 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 유도 안테나는 상기 MMP 준비 페이즈 동안 제1 RF 주파수를 가지는 제1 RF 신호로 여기되고 (excited),

상기 적어도 하나의 유도 안테나는 상기 MMP 반응 페이즈 동안 상기 제1 RF 주파수와는 다른 제2 RF 주파수를 가지는 제2 RF 신호로 여기되는, 기판을 처리하기 위한 방법.

### 청구항 23

제17 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 유도 안테나는 상기 MMP 준비 페이즈 동안 제1 RF 주파수를 가지는 제1 RF 신호로 여기되고,

상기 제1 RF 신호는 펼성된 RF 신호를 나타내는, 기판을 처리하기 위한 방법.

### 청구항 24

제17 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 유도 안테나는 상기 MMP 반응 페이즈 동안 제1 RF 주파수를 가지는 제1 RF 신호로 여기되고,

상기 제1 RF 신호는 펼성된 RF 신호를 나타내는, 기판을 처리하기 위한 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

### 배경 기술

[0001] 본 출원은 Keren Jacobs Kanarik에 의해 2011년 12월 28일에 출원된 미국 출원 번호 61/581,054호 "MIXED MODE PULSING ETCHING IN PLASMA PROCESSING SYSTEM"로 명명된 공동-소유의 가특허출원에 대해 35 USC. 119(e) 하의 우선권을 주장하며, 이 모두는 참조로서 본 명세서에 포함된다.

[0002] 플라즈마 처리 시스템은 집적 회로 또는 다른 전자 제품을 형성하기 위해 기판 (예컨대, 웨이퍼 또는 플랫 패널 또는 LCD 패널) 을 처리하도록 오랫동안 채용되었다. 통상적인 플라즈마 처리 시스템은 용량성 커플링된 플라즈마 처리 시스템 (CCP) 또는 유도성 커플링된 플라즈마 처리 시스템 (ICP) 를 포함할 수도 있다.

[0003] 일반적으로, 플라즈마 기판 처리는 (또한 뉴트럴 (neutral) 들로 지칭되는) 이온들 및 라디칼들의 균형을 수반 한다. 전자 디바이스들이 더 작아지고/작아지거나 더 복잡해질수록, 선택성, 균일성, 높은 애스펙트 비율 (aspect ratio), 애스펙트 종속 에칭 (aspect dependent etching) 등과 같은 에칭 요구들이 증가해왔다. 압력, RF 바이어스, 전력 등과 같은 특정 파라미터들을 변화시킴으로써 제품들의 현재 세대에서 에칭들을 수행하는 것이 가능하였지만, 더 작고/작거나 더 정교한 제품들의 다음 세대는 다른 에칭 능력을 요구한다. 현재의 기술로 이온들 및 라디칼들이 더 효과적으로 디커플링될 수 없고 독립적으로 제어될 수 없다는 사실은 몇몇의 플라즈마 처리 시스템들 내에서 이러한 더 작고/작거나 더 정교한 전자 디바이스들을 제조하도록 몇몇의 에칭 처리들을 수행하는 것을 제한하여 왔고, 몇몇의 경우 실시 불가능하게 하였다.

[0004] 종래 기술에서, 에칭 동안 다른 시간에서 이온-대-라디칼 비율을 조절하기 위해 플라즈마 상태를 획득하도록 하

는 시도들이 있었다. 통상적인 스킴 (scheme) 에서, 소스 RF 신호는 펠스 사이클의 하나의 페이즈 (예컨대, 펠스 온 (on) 페이즈) 동안 보통의 이온 대 뉴트럴 플럭스 비율 (ion to neutral flux ratio) 을 갖는 플라즈마를 얻도록 그리고 펠스 사이클의 다른 페이즈 동안 (예컨대, 펠스 오프 (off) 페이즈 동안) 더 낮은 이온 대 뉴트럴 플럭스 비율을 갖는 플라즈마를 획득하도록 펠싱될 수도 있다 (예컨대, 온 그리고 오프 (on and off)). 소스 RF 신호가 바이어스 RF 신호와 동기로 펠싱될 수도 있다는 것은 알려져 있다.

[0005] 그러나, 종래 기술 펠싱이 제때 상이한 포인트에서 정상적인 이온 대 뉴트럴 플럭스 비율 플라즈마의 교변하는 페이즈들을 어느 정도 발생시키고 몇몇의 처리에 대해 동작 원도우를 개방하였으나, 더 큰 동작 원도우들이 여전히 요구된다는 것이 관찰되었다.

## 발명의 내용

### 도면의 간단한 설명

[0006] 본 발명은 첨부 도면에서 제한의 방식으로 도시되지 않고 예시의 방식으로 도시되며, 도면에서 유사한 도면 부호는 유사한 엘리먼트를 지칭한다.

도 1은, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 비록 상이한 펠싱 주파수들로 펠싱되나, (반응 가스 및/또는 불활성 가스와 같은) 투입 가스 (input gas) 및 소스 RF 신호가 둘 다 펠싱되는 예시적인 조합 펠싱 스킴을 도시한다.

도 2는, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 다른 예시적인 조합 펠싱 기법을 도시한다.

도 3은, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 또 다른 예시적인 조합 펠싱 스ქ임을 도시한다.

도 4는, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 조합 펠싱 스ქ임을 위한 다른 가능한 조합을 도시한다.

도 5는, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 조합 펠싱을 수행하기 위한 단계들을 도시한다.

도 6은, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 가스 펠싱을 수행하기 위한 단계들을 도시한다.

도 7a 및 도 7b는, 본 발명의 실시예들에 따른, 도 6과 결합하여 논의되는 가스 펠싱 스ქ임의 상이한 예시적 변형들을 도시한다.

도 8은, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 적어도 MMP 준비 페이즈 및 MMP 반응 페이즈를 수반하는 각각의 사이클을 가지는, 실리콘 에칭 예시에 대한 개념적인 MMP 에칭 사이클들을 도시한다.

도 9는, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 몇몇의 이온들이 MMP 준비 페이즈에서 존재하는 다른 개념적인 MMP 에칭 사이클들을 도시한다.

도 10은, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 생산 ICP 챔버에서 MMP 에칭을 수행하기 위한 방법을 도시한다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0007] 본 발명은 이제 첨부 도면에 도시된 바와 같이 본 발명의 몇몇의 실시예들과 관련하여 상세히 설명될 것이다. 이하 설명에서, 다수의 구체적인 세부사항들이 본 발명의 철저한 이해를 제공하도록 제시될 것이다. 그러나, 본 발명이 이 구체적인 세부사항들의 일부 또는 전부 없이 실시될 수도 있다는 것은 당업자에게 명백할 것이다. 다른 예시에서, 잘 알려진 처리 단계들 및/또는 구조들은 본 발명을 불필요하게 모호하게 하지 않도록 상세히 설명되지 않는다.

[0008] 방법들 및 기법들을 포함한 다양한 실시예들이 이하 기술된다. 본 발명이 진보한 기법의 실시예들을 수행하기 위한 컴퓨터-관독가능한 인스트러먼션들이 저장된 컴퓨터 관독가능한 매체를 포함하는 제품의 품목들을 또한 커버 할 수도 있다는 것을 유념해야 한다. 컴퓨터 관독가능한 매체는, 예를 들어, 반도체, 자기, 광자기, 광학, 또는 다른 형태의 컴퓨터 관독가능한 코드를 저장하기 위한 컴퓨터 관독가능한 매체를 포함할 수도 있다. 또한, 본 발명은 본 발명의 실시예들을 실시하기 위한 장치를 또한 포함할 수도 있다. 그러한 장치는 본 발명의 실시예들에 관계된 태스크들을 수행하는 전용 회로들 및/또는 프로그램 가능한 회로들을 포함할 수도 있다. 그러한 장치의 예시들은 적절히 프로그램된 경우 범용 컴퓨터 및 또는 전용 컴퓨팅 디바이스를 포함하고 본 발명의 실시예들에 관계된 다양한 태스크들을 위해 구성된 컴퓨터/컴퓨팅 디바이스 및 전용/프로그램 가능한 회로들의 조합을 포함할 수도 있다.

- [0009] 본 발명의 실시예들은 제1 펄싱 주파수를 이용하여 투입 가스를 (예컨대, 반응 가스들 및/또는 불활성 가스들) 그리고 상이한 제2 펄싱 주파수에서 소스 RF 신호를 펄싱하는 조합 펄싱 스킴 (combination pulsing scheme) 과 관련된다. 유도성 커플링된 플라즈마 처리 시스템 및 유도성 RF 전력 소스가 본 명세서에 예시로서 논의하기 위해 채용되나, 본 발명의 실시예들은 용량성 커플링된 플라즈마 처리 시스템들 및 용량성 RF 전력 소스들에 동일하게 적용된다는 것이 이해되어야 한다.
- [0010] 일 이상의 실시예에서, 유도성 커플링된 플라즈마 처리 시스템 내에서 투입 가스는 더 느린 펄싱 주파수로 펄싱되고, 유도성 소스 RF 신호는 상이하고 더 빠른 펄싱 주파수로 펄싱된다. 예를 들어, 유도성 소스 RF 신호가 13.56 MHz 이면, 유도성 소스 RF 신호는, 예를 들어, 가스가 1 Hz 와 같은 상이한 펄싱 레이트로 펄싱되는 동안 100 Hz 로 펄싱될 수도 있다.
- [0011] 따라서, 완전한 가스 펄스 사이클은 이 예시에서 1 초이다. 가스 펄싱 둑티 사이클이 70% 이면, 가스는 1-초 가스 펄싱 기간의 70% 동안 온 (on) 이고 1-초 가스 펄싱 기간의 30% 동안 오프 (off) 일 수도 있다. 소스 RF 신호 펄싱 레이트가 100 Hz 이므로, 완전한 RF 신호 펄싱 기간은 10 ms 이다. RF 펄싱 둑티 사이클이 40% 이면, (13.56 MHz 신호가 온인 경우) RF 온-페이즈 (on-phase) 는 10 ms RF 펄싱 기간의 40% 이고 (13.56 MHz 신호가 오프인 경우) RF 오프 페이즈는 10 ms RF 펄싱 기간의 60% 이다.
- [0012] 일 이상의 실시예에서, 유도성 소스 RF 신호는 가스가 가스 자체의 가스 펄싱 주파수로 펄싱되는 동안 2개의 상이한 주파수들로 펄싱될 수도 있다. 예를 들어, 전술된 13.56 MHz RF 신호는 100 Hz 의 주파수  $f_1$ 로 펄싱될 수도 있을 뿐만 아니라 주파수  $f_1$ 의 온-페이즈 동안 상이하고 더 높은 주파수로 펄싱될 수도 있다. 예를 들어, RF 펄싱 둑티 사이클이  $f_1$  펄스의 40% 이면,  $f_1$ 의 온-페이즈는 10 ms 의 40% 또는 4 ms 이다. 그러나,  $f_1$ 의 4 ms 온-페이즈 동안, RF 신호는 (400 Hz 와 같은) 상이하고 더 높은 주파수  $f_2$ 로 또한 펄싱될 수도 있다.
- [0013] 본 발명의 실시예들은 가스 펄스들 및 RF 펄스들이 동기일 수도 있고 (즉, 펄스 신호들의 리딩 에지 (leading edge) 및/또는 하강 에지를 매칭) 또는 비동기일 수도 있다는 것을 고려한다. 둑티 사이클은 일정할 수도 있고, 또는 다른 펄싱 주파수와 독립인 방식 또는 다른 펄싱 주파수에 종속하는 방식으로 변화할 수도 있다.
- [0014] 일 이상의 실시예에서, 주파수 처핑 (chirping) 이 채용될 수도 있다. 예를 들어, RF 신호는 임의의 펄싱 기간들의 페이즈 또는 페이즈의 부분 동안 (예컨대, 임의의 RF 신호 또는 가스 펄싱 기간들), 상이한 주파수 (예컨대, 60 MHz 대 13.56 MHz) 가 채용될 수도 있도록 주기적 또는 비주기적 방식으로 RF 신호의 기본 주파수를 변화시킬 수도 있다. 비슷하게, 가스 펄싱 주파수는 요구된다면 주기적 또는 비주기적 방식으로 시간에 따라 변화될 수도 있다.
- [0015] 일 이상의 실시예에서, 전술된 가스 및 소스 RF 펄싱은 (바이어스 RF 신호의 펄싱, 전극으로의 DC 바이어스의 펄싱, 상이한 펄싱 주파수들로의 복수의 RF 주파수들의 펄싱, 임의의 파라미터의 페이즈의 변화 등과 같은) 일 이상의 다른 파라미터의 펄싱 또는 변화와 결합될 수도 있다.
- [0016] 본 발명의 실시예들의 특징들 및 이점들은 이하의 도면 및 설명을 참고하여 더 충분히 이해될 수도 있다.
- [0017] 도 1은, 본 발명의 일 실시예에 따른, 상이한 펄싱 주파수들로 펄싱되나, (반응 가스 및/또는 불활성 가스와 같은) 투입 가스 및 소스 RF 신호가 둘 다 펄싱되는 예시적인 조합 펄싱 스킴을 도시한다. 도 1의 예시에서, 투입 가스 (102) 는 약 2 초/펄스 또는 2MHz 의 ( $T_{gp}$  가 가스 펄스의 주기인 경우,  $1/T_{gp}$  로 정의된) 가스 펄싱 레이트로 펄싱된다.
- [0018] 13.56 MHz 의 TCP 소스 RF 신호 (104) 는 ( $T_{rfp}$  가 RF 펄싱의 주기인 경우,  $1/T_{rfp}$  로 정의된) RF 펄싱 레이트로 펄싱된다. 본 명세서에서의 RF 펄싱의 개념을 명확히하기 위해, (13.56 MHz RF 신호와 같은) RF 신호는 기간 (120) 동안 온이고 RF 신호는 기간 (122) 동안 오프이다. 가스 펄싱 레이트 및 RF 펄싱 레이트 각각은 (총 펄싱 기간으로 계산된 (divided) 펄스 온-시간으로 정의되는) 그 자체의 둑티 사이클 (duty cycle) 을 가질 수도 있다. 둑티 사이클이 임의의 펄스 신호들에 대해 50% 이어야 하는 필요조건들은 존재하지 않고, 둑티 사이클은 특정한 처리에 필요한 바대로 변화할 수도 있다.
- [0019] 일 실시예에서, 가스 펄싱 및 RF 신호 펄싱은 동일한 둑티 사이클에 있다. 다른 실시예에서, 가스 펄싱 및 RF 신호 펄싱은 입상 제어 (granular control) 를 최대화하도록 독립적으로 제어가능한 (그리고 상이할 수도 있는) 둑티 사이클에 있다. 일 이상의 실시예에서, 가스 펄싱 신호 및 RF 펄싱 신호의 리딩 에지 및/또는 트레일링 (trailing) 에지는 동기일 수도 있다. 일 이상의 실시예에서, 가스 펄싱 신호 및 RF 펄싱 신호의 리딩 에지 및/또는 트레일링 에지는 비동기일 수도 있다.

- [0020] 도 2에서, 가스 투입 (gas input) (202) 은 그 자체의 가스 펄싱 주파수로 펄싱된다. 그러나, 소스 RF 신호 (204) 는 가스가 ( $T_{gp}$  가 가스 펄스의 주기인 경우,  $1/T_{gp}$  로 정의되는) 가스 자체의 가스 펄싱 주파수로 펄싱되는 동안 2개의 상이한 주파수들로 펄싱될 수도 있다. 예를 들어, RF 신호는 (도면으로부터  $1/T_{f1}$  로 정의되는) 주파수  $f_1$ 로 펄싱될 수도 있을 뿐만 아니라  $f_1$  펄싱의 온-페이즈 동안 상이하고 더 높은 주파수로 또한 펄싱될 수도 있다. 예를 들어, 이  $f_1$  펄싱의 온-페이즈 동안, RF 신호는 (도면으로부터  $1/T_{f2}$ 로 정의되는) 상이한 펄싱 주파수  $f_2$ 로 펄싱될 수도 있다.
- [0021] 도 3에서, 가스 투입 (302) 은 그 자체의 가스 펄싱 주파수로 펄싱된다. 그러나, 소스 RF 신호 (304) 는 가스가 가스 자체의 가스 펄싱 주파수로 펄싱되는 동안 3개의 상이한 주파수들로 펄싱될 수도 있다. 예를 들어, RF 신호는 (도면으로부터  $1/T_{f1}$ 로 정의되는) 주파수  $f_1$ 로 펄싱될 수도 있을 뿐만 아니라  $f_1$  펄싱의 온-페이즈 동안 상이하고 더 높은 주파수로 또한 펄싱될 수도 있다. 따라서, 이  $f_1$  펄싱의 온-페이즈 동안, RF 신호는 (도면으로부터  $1/T_{f2}$ 로 정의되는) 상이한 펄싱 주파수  $f_2$ 로 펄싱될 수도 있다.  $f_1$  펄싱의 오프-페이즈 동안, RF 신호는 (도면으로부터  $1/T_{f3}$  으로 정의되는) 상이한 펄싱 주파수  $f_3$ 으로 펄싱될 수도 있다.
- [0022] 추가적으로 또는 대안적으로, 듀티 사이클이 도 1 내지 도 3의 예시들에서 일정한 것으로 도시되었으나, 듀티 사이클은, 주기적 또는 비주기적인 방식으로 그리고 (가스 펄싱 신호, RF 펄싱 신호, 또는 다른 것인) 펄싱 신호들 중 하나의 페이즈들에 독립적으로 또는 종속적으로, 또한 변화할 수도 있다. 또한, 듀티 사이클의 변화는 (가스 펄싱 신호, RF 펄싱 신호, 또는 다른 것인) 펄싱 신호들 중 임의의 하나의 페이즈에 대하여 동기 또는 비동기일 수도 있다.
- [0023] 일 실시예에서, RF 펄싱의 듀티 사이클은 가스 펄스의 온-페이즈 동안 하나의 값이도록 (예컨대, 도 1의 154) 유리하게 설정되고, RF 펄싱의 듀티 사이클은 가스 펄스의 오프-페이즈 동안 다른 상이한 값이도록 (예컨대, 도 1의 156) 설정된다. 바람직한 실시예에서, RF 펄싱의 듀티 사이클은 가스 펄스의 온-페이즈 동안 하나의 값이도록 (예컨대, 도 1의 154) 유리하게 설정되고 RF 펄싱의 듀티 사이클은 가스 펄스의 오프-페이즈 동안 더 낮은 값이도록 (예컨대, 도 1의 156) 설정된다. 듀티 사이클이 가스 펄싱의 온 페이즈 동안 더 높고 가스 펄싱의 오프 페이즈 동안 더 낮은 이 RF 펄싱 듀티 사이클 실시예가 몇몇의 예칭들에 유리하다는 것이 고려된다. 듀티 사이클이 가스 펄싱의 온 페이즈 동안 더 낮고 가스 펄싱의 오프 페이즈 동안 더 높은 이 RF 펄싱 듀티 사이클 변화는 몇몇의 예칭들에 유리하다는 것이 고려된다. 용어는 본 명세서에 채용되는 한에서는, 신호가 펄싱된 경우, 듀티 사이클은 신호가 펄싱되는 시간 동안 100% 가 아니다 (즉, 펄싱과 "항상 온"은 2개의 상이한 개념들이다).
- [0024] 추가적으로 또는 대안적으로, 주파수 쳐핑은 (가스 펄싱 신호, RF 펄싱 신호, 또는 다른 것인) 임의의 펄싱 신호들에 채용될 수도 있다. 주파수 쳐핑은 이하의 도 4에서 RF 펄싱 신호와 관련하여 더 상세히 설명된다.
- [0025] 일 이상의 실시예에서, 가스는 가스 펄싱 온 페이즈 동안 반응 가스(들) 및 (아르곤, 헬륨, 제논, 크립톤, 네온 등과 같은) 불활성 가스(들)이 레시피에 의해 명시된 바대로 펄싱된다. 가스 펄싱 오프 페이즈 동안, 반응 가스(들) 및 불활성 가스(들) 둘 중 적어도 일부가 제거될 수도 있다. 다른 실시예에서, 반응 가스(들) 중 적어도 일부가 가스 펄싱 오프 페이즈 동안 불활성 가스(들)에 의해 제거되거나 교체된다. 유리한 실시예에서, 반응 가스(들) 중 적어도 일부가 챔버 압력을 실질적으로 동일하게 유지하도록 가스 펄싱 오프 페이즈 동안 불활성 가스(들)에 의해 제거되고 교체된다.
- [0026] 일 이상의 실시예에서, 가스 펄싱 오프 페이즈 동안, 챔버로 흘려지는 총 가스(들)에 대한 불활성 가스(들)의 백분율은 약 X% 내지 약 100%로 변화할 수도 있고, 여기서 X는 가스 펄싱 온 페이즈 동안 채용되는 총 가스 흐름에 대한 불활성 가스(들)의 백분율이다. 더 바람직한 실시예에서, 챔버로 흘려지는 총 가스(들)에 대한 불활성 가스(들)의 백분율은 약 1.1X% 내지 약 100%로 변화할 수도 있고, 여기서 X는 가스 펄싱 온 페이즈 동안 채용되는 총 가스 흐름에 대한 불활성 가스(들)의 백분율이다. 바람직한 실시예에서, 챔버로 흘려지는 총 가스(들)에 대한 불활성 가스(들)의 백분율은 약 1.5X% 내지 약 100%로 변화할 수도 있고, 여기서 X는 가스 펄싱 온 페이즈 동안 채용되는 총 가스 흐름에 대한 불활성 가스(들)의 백분율이다.
- [0027] 가스 펄싱 레이트는 챔버 내에서의 가스의 체류 시간 (residence time)에 의해 하이 엔드 (high end) (상한 주파수 (upper frequency limit))로 제한된다. 이 체류 시간 개념은 당업자에게 알려져 있고 챔버 설계에 따라 다양하다. 예를 들어, 체류 시간은 통상적으로 용량성 커플링된 챔버에 대해 수십 밀리초 내 범위에 있다. 다른 예시에서, 체류 시간은 통상적으로 유도성 커플링된 챔버에 대해 수십 밀리초 내지 수백 밀리초 내 범위에

있다.

[0028] 일 이상의 실시예에서, 가스 펄싱 기간은 10 밀리초 내지 50 초, 더 바람직 하게는 50 밀리초 내지 약 10 초, 그리고 바람직하게는 약 500 밀리초 내지 약 5 초 범위에 있을 수도 있다.

[0029] 소스 RF 펄싱 기간은 본 발명의 실시예들에 따른 가스 펄싱 기간 보다 더 낫다. RF 펄싱 주파수는 RF 신호의 주파수에 의해 상부 엔드 (upper end)로 제한된다 (예컨대, RF 주파수가 13.56 MHz 이면, 13.56 MHz는 RF 펄싱 주파수에 대한 상한을 확립할 것이다).

[0030] 도 4는, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 다른 가능한 조합들을 도시한다. 도 4에서, (바이어스 RF 또는 임의의 다른 주기적 파라미터와 같은) 다른 신호 (406)는 가스 펄싱 신호 (402) 및 (430 및 432로 도시되는 바와 같이 펄싱되는) 소스 RF 펄싱 신호 (404)를 따라 펄싱될 수도 있다. 신호 (406)의 펄싱은 시스템 내의 임의의 다른 신호들과 동기이거나 비동기될 수도 있다.

[0031] 대안적으로 또는 추가적으로, (DC 바이어스 또는 온도 또는 압력 또는 임의의 다른 비주기적 파라미터와 같은) 다른 신호 (408)는 가스 펄싱 신호 (402) 및 소스 RF 펄싱 신호 (404)를 따라 펄싱될 수도 있다. 신호 (408)의 펄싱은 시스템 내에서 임의의 다른 신호들과 동기이거나 비동기될 수도 있다.

[0032] 대안적으로 또는 추가적으로, (RF 소스 또는 RF 바이어스 또는 임의의 다른 비주기적 파라미터와 같은) 다른 신호 (410)는 가스 펄싱 신호 (402)를 따라 처핑되고 펄싱될 수도 있다. 예를 들어, 신호 (410)가 펄싱하는 동안, 신호 (410)의 주파수는 신호 (410) 또는 (가스 펄싱 신호와 같은) 다른 신호의 위상에 종속하여 변화할 수도 있고, 또는 툴 제어 컴퓨터로부터의 제어 신호에 대응하여 변화할 수도 있다. 도 1의 예시에서, 도면 부호 422는 도면 부호 420과 관련된 주파수 보다 더 높은 주파수의 영역을 가리킨다. 더 낮은 주파수 (422)의 예시는 27 MHz 일 수도 있고 더 높은 주파수 (420)의 예시는 60 MHz 일 수도 있다. 신호 (410)의 펄싱 및/또는 처핑은 시스템 내에서 임의의 다른 신호들과 동기이거나 비동기될 수도 있다.

[0033] 도 5는, 본 발명의 일 실시예에 따른, 조합 펄싱을 수행하기 위한 단계들을 도시한다. 도 5의 단계들은, 예를 들어, 일 이상의 컴퓨터들의 제어 하에 있는 소프트웨어를 통해 실행될 수도 있다. 소프트웨어는, 일 이상의 실시예에서 비일시적 컴퓨터 판독가능한 매체를 포함하는, 컴퓨터 판독가능한 매체 내에 저장될 수도 있다.

[0034] 단계 (502)에서, 기판은 플라즈마 처리 챔버 내에 제공된다. 단계 (504)에서, 기판은 RF 소스 및 투입 가스 양쪽을 펄싱하는 동안 처리된다. (RF 바이어스 또는 다른 신호와 같은) 일 이상의 다른 신호들의 선택적 펄싱은 단계 (506)에서 도시된다. 단계 (508)에서, 주파수, 듀티 사이클, 가스 백분율 등이 RF 소스 및 투입 가스를 펄싱하는 동안 선택적으로 변화될 수도 있다.

[0035] 일 이상의 실시예에서, 가스는, 주기적으로 반복되는 사이클들을 가지고, 적어도 사이클 당 2 개의 페이즈들이 존재하도록 펄싱된다. RF 소스 신호를 포함하는 여타의 파라미터들은 펄싱되지 않은채로 남겨질 수도 있다. 제1 페이즈 동안, (복수의 상이한 에칭 및/또는 폴리머-성형 가스들을 포함할 수도 있는) 반응 가스 대 (아르곤, 헬륨, 제논, 크립톤, 네온 등 중 일 이상과 같은) 불활성 가스 비율은 제1 비율에 있다. 제2 페이즈 동안, 반응 가스 대 불활성 가스 비율은 제1 비율과는 상이한 제2 비율에 있다. 만약 제2 페이즈 동안 챔버로의 총 가스 흐름에 대한 반응 가스 흐름의 비율이 감소되면 (즉, 챔버로의 총 가스 흐름에 대한 불활성 가스의 비율이 증가되면), 챔버는 제1 페이즈에서보다 제2 페이즈 동안 불활성 가스의 더 높은 백분율을 포함한다. 이러한 경우에, 플라즈마 이온 힘스가 에칭을 수행하기 위해 불활성 가스로 주로 형성되는 이온-우세 플라즈마 (ion-dominant plasma)가 발생한다.

[0036] 이것은 가스를 펄싱하도록 반응 가스가 부가되는 선행 기술 상황과는 다르다. 챔버로의 반응 가스 흐름을 증가시키지 않으면서 챔버 내의 불활성 가스의 백분율을 증가시킴으로써, 본 발명의 실시예들은 에칭 균일성, 방향성 및/또는 선택성을 개선시키는 이온-풍부 (ion-rich) 플라즈마를 달성한다.

[0037] 일 실시예에서, 상기 비율은 챔버로의 임의의 반응 (에친트 또는 폴리머-성형) 가스들을 부가시키는 것에 의한 것이 아니고, 반응 가스들 플로우 레이트를 감소시키는 것에 의해 변화되어, 반응 가스에 대한 불활성 가스의 흐름 백분율을 증가시킨다. 이 실시예에서, 챔버 압력은 제2 페이즈 동안 본질적으로 (inherently) 감소될 것이다.

[0038] 대안적으로 또는 추가적으로, 불활성 가스(들)에 대한 반응 가스(들)의 비율은, 챔버로의 반응 가스(들) 흐름을 일정하게 유지하거나 (챔버로의 반응 가스들 흐름을 증가시키지는 않지만) 반응 가스(들) 흐름을 감소시키면서 챔버로의 불활성 가스(들) 흐름을 증가시킴으로써 변화될 수도 있다. 일 실시예에서, 불활성 가스의 흐름은 반

응 가스의 흐름에서의 감소를 상쇄하도록 (offset) 증가된다. 이 실시예에서, 챔버 압력은 제1 페이즈 및 제2 페이즈 동안 실질적으로 동일하게 유지된다. 다른 실시예에서, 불활성 가스의 흐름은 증가되지만, 반응 가스의 흐름에서의 감소를 완전히 상쇄하기에는 불충분하다. 이 실시예에서, 챔버 압력은 제2 페이즈 동안 감소된다. 다른 실시예에서, 불활성 가스의 흐름은 반응 가스의 흐름에서의 감소를 상쇄하기에 충분한 것보다 더 많이 증가된다. 이 실시예에서, 챔버 압력은 제2 페이즈 동안 증가된다.

[0039] 언급된 바와 같이, 일 이상의 실시예들에서, 가스 펄싱 제2 페이즈 동안, 챔버로 흘려지는 총 가스(들)에 대한 불활성 가스(들)의 백분율은 약 X% 내지 약 100%로 변화할 수도 있고, 여기서 X는 플라즈마 챔버가 처리 동안 안정화된 때 존재하는 총 가스 흐름에 대한 불활성 가스(들)의 백분율이거나 제1 페이즈 동안 존재하는 총 가스 흐름에 대한 불활성 가스(들)의 백분율이다. 더 바람직한 실시예에서, 챔버로 흘려지는 총 가스(들)에 대한 불활성 가스(들)의 백분율은 약 1.1X% 내지 약 100%로 변화할 수도 있다. 바람직한 실시예에서, 챔버로 흘려지는 총 가스(들)에 대한 불활성 가스(들)의 백분율은 제2 페이즈 동안 약 1.5X% 내지 약 100%로 변화할 수도 있다.

[0040] 가스 펄싱 레이트는 챔버 내에서 가스의 체류 시간 (residence time)에 의해 하이 엔드 (high end) (상한 주파수 (upper frequency limit))로 제한된다. 언급된 바와 같이, 예를 들어, 체류 시간은 통상적으로 용량성 커플링된 챔버에 대해 수십 밀리초 내 범위에 있다. 다른 예시에서, 체류 시간은 통상적으로 유도성 커플링된 챔버에 대해 수십 밀리초 내지 수백 밀리초 내 범위에 있다. 또한 언급된 바와 같이, 일 이상의 실시예에서, 가스 펄싱 기간은 10 밀리초 내지 50 초, 더 바람직하게는 50 밀리초 내지 약 10 초, 그리고 바람직하게는 약 500 밀리초 내지 약 5 초 범위에 있을 수도 있다.

[0041] 일 이상의 실시예에서, 주기적 펄싱의 제2 페이즈 동안 추가된 불활성 가스는 동일한 불활성 가스이거나 상이한 화학적 조성을 가진 상이한 불활성 가스 및/또는 상이한 구성성분 가스들 (constituent gases) 일 수도 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 가스 펄싱 레이트의 드티 사이클은 1% 내지 99%로 변화할 수도 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 가스 펄싱 레이트는 처핑될 수도 있고, 즉 처리 동안 변화할 수도 있다. 예를 들어, 가스 펄싱은 40%의 드티 사이클로 5-초 가스 펄싱 기간을 가지고 행하여 질 수도 있고, 이후 동일한 40% 드티 사이클 또는 상이한 드티 사이클로 9-초 가스 펄싱 기간으로 스위칭될 수도 있다. 처핑은 처핑 주파수에 따라서 주기적으로 행하여질 수도 있다 (예컨대 20초 처핑 주파수, 여기서 가스 펄싱 주파수는 매 20초마다 변화될 수도 있음).

[0042] 도 6은, 본 발명의 일 이상의 실시예에 따른, 가스 펄싱을 수행하기 위한 단계들을 도시한다. 도 6의 단계들은 예를 들어, 일 이상의 컴퓨터들의 제어 하에 소프트웨어를 통해 수행될 수도 있다. 소프트웨어는, 일 이상의 실시예에서 비-일시적인 컴퓨터 판독가능한 매체를 포함하는 컴퓨터 판독가능한 매체에 저장될 수도 있다.

[0043] 단계 (602)에서, 기관은 플라즈마 처리 챔버에 제공된다. 단계 (604)에서, 플라즈마가 챔버 내에 생성되고, 반응 가스 흐름에 대한 불활성 가스 흐름의 기준 비율 (baseline ratio)로 안정화된다. 단계 (606)에서, 반응 가스 흐름에 대한 불활성 가스 흐름의 비율은 챔버로의 반응 가스 흐름을 증가시키지 않으면서 가스 펄싱의 일 페이즈에서 증가된다. 단계 (608)에서, 반응 가스 흐름에 대한 불활성 가스의 비율은, 챔버로의 반응 가스 흐름을 증가시키지 않으면서 가스 펄싱의 다른 페이즈에서, 단계 (606)의 반응 가스 흐름에 대한 불활성 가스 흐름의 비율에 대하여, 감소된다. 다양한 실시예들에서, 단계 (608)에서의 반응 가스 흐름에 대한 불활성 가스 흐름의 비율은 단계 (604) (안정화 플라즈마 단계)의 반응 가스 흐름에 대한 불활성 가스 흐름의 비율과 같거나 안정화 단계 (604)의 반응 가스 흐름에 대한 불활성 가스 흐름의 비율보다 더 높거나 더 낮을 수도 있다. 단계 (610)에서, 기관은 단계 (606) 및 단계 (608)의 상기 비율들로 주기적으로 변동하는 앞서 언급된 불활성 가스-대-반응 가스 흐름 비율을 가짐으로써 가스가 펄싱되면서 처리된다.

[0044] 도 7a 및 도 7b는, 본 발명의 실시예들에 따른, 도 6과 결합하여 논의되는 가스 펄싱 스킵의 상이한 예시적 변형들을 도시한다. 도 7a의 예시에서, 케이스 A, B, C 및 D는 반응 가스에 대한 불활성 가스의 다양한 비율을 나타낸다. 케이스 A에서, 반응 가스 (R)에 대한 불활성 가스 (I)의 비율은 예를 들어 3:7이다. 케이스 B에서, 반응 가스에 대한 불활성 가스의 비율은 예를 들어 8:1이다. 케이스 C에서, 반응 가스에 대한 불활성 가스의 비율은 예를 들어 1:9이다. 케이스 D에서, 챔버로의 가스 흐름은 본질적으로 (essentially) 모두 불활성이다. 예시적인 비율 값들이 주어지지만, 상기 비율들의 정확한 값들은 단지 예시적이며; 중요한 점은 이러한 케이스들 모두는 서로에 대하여 상이한 비율들을 가진다는 점이다.

[0045] 도 7b에서, 예시적인 펄싱 (702)은 바람직한 실시예에서 ADAD일 수도 있고, 여기서 가스 펄스는 도 7a의 케이스 A 및 케이스 D 간에 주기적으로 변동되고 반복될 수도 있다.

- [0046] 다른 예시적인 펄싱 (704)은 ABABAB/ADAD/ABABAB/ADAD일 수도 있고, 여기서 가스 펄스는 도 7a의 케이스 A 및 케이스 B 간에 주기적으로 변동되고, 이후 도 7a의 케이스 A 및 케이스 D 간에 주기적으로 변동되고, 이후 도 7a의 케이스 A 및 케이스 B로 돌아가고, 반복될 수도 있다.
- [0047] 다른 예시적인 펄싱 (706)은 ABABAB/ACAC/ABABAB/ACAC일 수도 있고, 여기서 가스 펄스는 도 7a의 케이스 A 및 케이스 B 간에 주기적으로 변동되고, 이후 도 7a의 케이스 A 및 케이스 C 간에 주기적으로 변동되고, 이후 도 7a의 케이스 A 및 케이스 B로 돌아가고, 반복될 수도 있다.
- [0048] 다른 예시적인 펄싱 (708)은 ABABAB/CDCD/ABABAB/CDCD일 수도 있고, 여기서 가스 펄스는 도 7a의 케이스 A 및 케이스 B 간에 주기적으로 변동되고, 이후 도 7a의 케이스 C 및 케이스 D 간에 주기적으로 변동되고, 이후 도 7a의 케이스 A 및 케이스 B로 돌아가고, 반복될 수도 있다.
- [0049] 다른 예시적인 펄싱 (710)은 ABABAB/CDCD/ADAD/ABABAB/CDCD/ADAD일 수도 있고, 여기서 가스 펄스는 도 7a의 케이스 A 및 케이스 B 간에 주기적으로 변동되고, 이후 도 7a의 케이스 C 및 케이스 D 간에 주기적으로 변동되고, 이후 도 7a의 케이스 A 및 케이스 B로 돌아가고, 반복될 수도 있다.
- [0050] 다른 예시들은 ABAB/CDCD/ADAD/ACAC와 같이 4개의 페이즈들을 포함할 수도 있고, 반복될 수도 있다. 복합 펄싱 (complex pulsing)은 예를 들어 인-시츄 에칭-후-세정 (in-situ etch-then-clean) 또는 다중-단계 에칭 등을 포함하는 프로세스들에 매우 유리하다.
- [0051] 다른 실시예에서, 도 6, 도 7a 및 도 7b의 가스 펄싱은 전력공급된 전극에 공급되는 RF 바이어스 신호의 비동기적인 또는 동기적인 펄싱과 결합될 수도 있다. 예시에서, 가스가 가스 펄싱 사이클의 일 페이즈에서 높은 불활성 가스 백분율 또는 100% 이거나 100%에 근접한 불활성 가스 백분율로 펄싱되는 경우, RF 바이어스 신호는 높게 펄싱된다. 가스가 가스 펄싱 사이클의 다른 페이즈에서 더 낮은 불활성 가스 백분율로 펄싱되는 경우, RF 바이어스 신호는 낮게 펄싱되거나 제로 (zero)이다. 다양한 실시예들에서, RF 바이어스 신호의 펄싱 주파수는 가스 펄싱의 펄싱 주파수와 비교하여 같거나 상이할 수도 있다. 다양한 실시예들에서, RF 바이어스 신호의 듀티 사이클은 가스 펄싱의 듀티 사이클과 비교하여 같거나 상이할 수도 있다. 처핑은 원한다면 RF 바이어스 신호 펄싱 및 가스 펄싱 양자 모두 또는 어느 하나로 채용될 수도 있다.
- [0052] 각각의 가스 펄싱 예시들에서, 펄싱 주파수, 펄스들의 수, 듀티 사이클 등은 에칭 동안 내내 일정하게 유지될 수도 있고, 요구되는 바와 같이 주기적으로 또는 비-주기적으로 변동될 수도 있다.
- [0053] 상술한 것으로부터 이해될 수 있는 바와 같이, 본 발명의 실시예들은 에칭 처리에 대한 처리 윈도우를 넓힐 수 있는 다른 제어 노브 (knob)를 제공한다. 다수의 현재의 플라즈마 챔버들은, 펄싱 벨브들 또는 펄싱 질량 흐름 제어기 (mass flow controller)들을 이미 제공받으므로, 필요로 하는 비싼 하드웨어 보강 (retrofitting) 없이 도 6, 도 7a 및 도 7b와 본 명세서의 논의에 따른 가스-펄싱의 실행이 달성될 수도 있다. 또한, 만약 RF 펄싱이 가스 펄싱과 함께 요구된다면, 많은 현재의 플라즈마 챔버들은 이미 펄스-가능한 RF 전력 공급부들과 함께 제공된다. 따라서, 가스/RF 전력 펄싱을 통한 더 넓은 처리 윈도우의 달성을 필요로 하는 비싼 하드웨어 보강없이 얻어질 수도 있다. 현재의 틀 소유자들은 작은 (minor) 소프트웨어 업그레이드 및/또는 작은 하드웨어 변화들로 향상된 에칭들을 달성하도록 기준의 (existing) 에칭 처리 시스템들에 영향을 줄 수도 있다. 또한, 이온-대-라디칼 플럭스 비율의 향상된 그리고/또는 더 나은 입상 제어를 가짐으로써, 선택성 및 균일성 및 역 RIE 지연 효과들 (reverse RIE lag effects)이 향상될 수도 있다. 예를 들어, 라디칼 플럭스에 대한 이온 플럭스를 증가시킴으로써 몇몇의 경우 기판상에서 다른 층에 대한 하나의 층의 선택성을 향상시킬 수도 있다. 그러한 이온-대-라디칼의 향상된 제어로, 원자 층 에칭 (ALE)이 더 효과적으로 달성될 수 있다.
- [0054] 일 이상의 실시예에서, 혼합 모드 펄싱 (MMP; mixed mode pulsing) 에칭이 개시되는데, 그래서 이 에칭은 다중-스텝 시퀀스 (multi-step sequence)를 반복하는 것을 수반하고, 각각의 시퀀스는 적어도 MMP 준비 (MMPP) 페이즈 및 MMP 반응 (MMPR) 페이즈를 수반한다. 혼합 모드 펄싱은, 생산 (production) 유도성 커플링된 플라즈마 (ICP, 또한 어떤 예시들에서 플라즈마 커플링된 트랜스포머 (transformer) 또는 TCP로 알려진) 챔버에서의 또는 용량성 커플링된 플라즈마 (CCP) 챔버에서 인 시츄로 (in situ) 일시적으로 (temporally) (즉, 시간에 맞춰 (in time)) 이온들 및 뉴트럴 라디칼 (neutral radical)들을 보다 완전히 분리하도록 구성된다.
- [0055] 명확화를 위해, MMP 에칭은, 예를 들어 원자 층 에칭 (ALE) 또는 선행 기술에서 다른 챔버 (예컨대, 빔-타입 (beam-type) 챔버)의 사용을 통상적으로 필요로 하는 종류의 매우 정교한 에칭을 달성하도록 생산 유도성 커플링된 플라즈마 (ICP) 챔버에서 실행된다. 창의적인 MMP 에칭이 이러한 원자 층 에칭 (ALE) 또는 생산 ICP 챔버

에서의 정교한 층마다의 (layer-by-layer) 에칭을 가능하게 한다는 사실은 본질적으로 (substantially) 전체적인 쓰루풋 (throughput) 을 개선시키며, 이는 ALE 또는 정교한 층마다의 에칭을 위해 생산 챔버로부터 다른 챔버로 기판을 이송시킬 필요가 없기 때문이다. 창의적인 MMP 에칭은 또한 전문화된 ALE 또는 층마다의 에칭 장비에 대한 필요를 제거시키고, 이에 따라 제조 비용을 감소시킨다. MMP 에칭은 또한 생산 ICP 챔버에서 채용되어 본 명세서에서 후에 논의될 바와 같이 높은 선택성 에칭 (high selectivity etching) 을 달성한다.

[0056] 명확화를 위해, 그것의 구조가 잘 알려진 ICP 챔버는, 유전체 원도우를 통하여 RF 에너지를 반응 가스들 및 여타의 가스들로부터 형성된 플라즈마 클라우드 (plasma cloud) 에 유도적으로 커플링하기 위한 적어도 하나의 RF-전력공급되는 유도 코일 (inductive coil) 의 사용을 수반한다. 플라즈마 클라우드는 유전체 원도우 아래에 배치되지만 기판 에칭을 위해 기판 위에 배치된다. 기판 그 자체는 워크 피스 홀더 (work piece holder) 상에 배치되는데, 통상적으로 예를 들어 ESC 척 위에 배치된다. 워크 피스 홀더에는 또한 요구된다면 그것 자신의 RF 신호(들)이 제공될 수도 있다. 워크 피스 홀더에 제공된 RF 에너지는 바이어스 전력으로 알려져있다. ICP 챔버들은 오늘날의 IC (integrated circuit) 가공 설비들에서 기판들을 생산하는데 공통적으로 채용되고, 높은 쓰루풋에 적합하다.

[0057] 일 이상의 실시예에서, MMP 준비 페이즈는 반응 가스들로부터 (또한 뉴트럴로 알려진) 라디칼들을 생성하는 플라즈마를 사용하는 것을 수반한다. 일 실시예에서 어떠한 바이어스 전력도 기판 워크 피스 홀더에 인가되지 않는다. 바이어스 전력의 제거 또는 최소한의 사용은 MMP 준비 페이즈동안의 이온들의 영향을 감소시키는데 중요하다.

[0058] 예시로서 실리콘 에칭을 사용하면, 반응 가스는 예를 들어 염소 ( $\text{Cl}_2$ ) 일 수도 있다. 에칭될 재료에 의존하면, 다른 반응 가스들은 예를 들어  $\text{C}_x\text{F}_y$  또는  $\text{CH}_x\text{F}_y$  (여기서, x 및 y는 정수들),  $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{BCL}_3$ ,  $\text{O}_2$  또는 여타의 기판 에칭을 위해 일반적으로 사용되는 반응 가스들일 수도 있다. MMP 준비 페이즈동안, 플라즈마는 반응 가스로부터 형성되고, 실리콘 기판의 노출된 상단 층으로 흡수하는 것이 허용된다. MMP 준비 페이즈는, 흡수가 일 실시예에서 실리콘의 적어도 하나의 원자 층을 관통하는 것을 허용하도록 시간이 맞춰지고 (timed), 만약 보다 강력한 에칭이 요구된다면 다른 실시예에서는 복수의 실리콘 층을 관통하는 것을 허용하도록 시간이 맞춰진다.

[0059] 챔버의 파라미터들은, MMP 준비 페이즈에서 흡수된  $\text{SiCl}$  층을 과도하게 제거하지 않으면서 흡수의 속도를 증가시키도록 최적화된다. 예를 들어, 유도 코일 RF 주파수는, 일 이상의 실시예에서 흡수를 증진시키도록 MMP 반응 페이즈과 관련하여 MMP 준비 페이즈 동안 상이할 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 예시로서, 기판 또는 기판 표면은 MMP 준비 페이즈 동안 가열될 (또는 냉각될) 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 예시로서, 유도 코일 RF 전력은, 이온 에너지를 감소시키고/감소시키거나 흡수를 촉진시키도록 (온 및 오프 사이클들의 지속 시간 (duration) 에 대해 대칭적이거나 비대칭적으로) 펄싱-온 (pulsing on) 그리고 펄싱-오프 (pulsing off) 될 수도 있다. 일 이상의 실시예에서, 유도 코일 RF 신호(들)은 단일 MMP 준비 페이즈 동안 상이한 RF 주파수들로 쳐핑될 수도 있다.

[0060] 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 예시로서, (가변적인 갭 (gap) 챔버의) 전극들 간의 챔버 갭은, 이온 에너지 레벨의 낮춤, 셀프-바이어스 (self-bias) 의 감소 및/또는 이온의 영향 감소를 위해 MMP 반응 페이즈에 비해 MMP 준비 페이즈 동안 더 크게 설정될 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 예시로서, 이온들이 부수적으로 (incidentally) 생성된다면, 파라미터들은 일 이상의 실시예에서 이온 에너지는 흡수된  $\text{SiCl}$  층을 에칭하는데 요구되는 레벨보다 낮도록 맞춰질 수도 있다. 예를 들어, 챔버 압력은 일 이상의 실시예에서 이온 에너지를 감소시키기 위해 MMP 준비 페이즈 동안 (예를 들어, 일 예시적인 에칭에서 40mT 이상으로) 높게 유지될 수도 있다.

[0061] 일 이상의 실시예에서, (아르곤과 같은) 어떤 비-반응 가스는 MMP 준비 페이즈 동안 허용될 수도 있다. 그러나, 허용된다면, MMP 준비 페이즈 동안의 이러한 비-반응 가스 흐름은 MMP 반응 페이즈 동안 일어나는 비-반응 가스 흐름의 총량보다 낮도록 설정된다. 동일한 비-반응 가스는 MMP 준비 페이즈 및 MMP 반응 페이즈 양자 모두에 채용될 수도 있고, 또는 상이한 비-반응 가스들이 채용될 수도 있다. 다른 실시예들에서, MMP 준비 페이즈는 단지 반응 가스들 (예컨대, 염소) 을 수반하고, MMP 준비 페이즈 동안 어떠한 비-반응 가스 (예컨대, 아르곤) 도 채용되지 않는다.

[0062] 일 이상의 실시예에서, 상이한 반응 가스들이 단일 MMP 준비 페이즈 동안 동시에 채용될 수도 있다. 대안적으로, 일 이상의 실시예에서, 상이한 반응 가스들이 MMP 준비 페이즈 동안 챔버 내로 순차적인 순서로 흘려질 수도 있다. 이것은 두 개의 또는 여타의 화합물들을 에칭하는데 유리할 수도 있다. 요구된다면, 챔버는 MMP 준

비 페이즈 동안 상이한 반응 가스들의 흐름 간에서 비-반응 가스 (예컨대, 아르곤)로 씻어내어질 수도 있다 (flushed).

[0063] 단일 원자 층 에칭이 요구되는 ALE 에칭 또는 작은 수의 원자 층들의 에칭이 요구되는 ALE 에칭을 위해, 어떠한 바이어스 전력도 MMP 준비 페이즈 동안 인가되지 않는 것이 바람직하다. 정확성을 유지하면서 보다 높은 쓰루 풋이 요구되는 어플리케이션들에서, (MMP 반응 페이즈 동안 인가되는 바이어스 전력에 비하여) 작은 양의 바이어스 전력이 반응성 종들 (reactive species)의 어느 정도의 주입 (some implantation)을 촉진시키기 위해 MMP 준비 페이즈 동안 인가될 수도 있다. 만약 작은 양의 바이어스 전력이 MMP 준비 페이즈 동안 인가된다면, 이러한 바이어스 전력은 MMP 준비 페이즈 동안 일정하게 유지될 수도 있거나 요구된다면 (유도 코일 RF 펄싱과 동기적으로 또는 비동기적으로) 펄싱될 수도 있다.

[0064] MMP 준비 페이즈 이후에, MMP 반응 페이즈가 존재하며 이 MMP 반응 페이즈 동안 반응 가스들이 챔버 내에 존재되도록 허용되지 않고, 플라즈마는 특정한 이온 에너지 윈도우를 가진 플라즈마를 형성하도록 비-반응 가스들 (예컨대, 불활성 가스들)로부터 생성된다. 상술한 실리콘 예시에서, 아르곤은 MMP 반응 페이즈 동안 비-반응 가스로 채용될 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 비-반응 가스(들)은 Xe, He, Ne 또는 이들의 임의의 클러스터들 (clusters) 일 수도 있다.

[0065] MMP 반응 페이즈에서, (반응 가스들의 부재 시 비-반응 가스들로부터 생성되는)  $\text{Ar}^+$  이온들의 이온 에너지는 흡수된  $\text{SiCl}$  층을 에칭하는데 필요한 임계치 (threshold) 위이지만, 비-흡수된 Si 기판 아래를 에칭하는데 필요한 임계치 아래이도록 요구된다. 예를 들어, 이온 에너지 윈도우는 일 실시예에서 실리콘을 에칭하기 위해 50eV 내지 70eV일 수도 있다. 이것은 에칭의 정확한 제어를 허용하여 흡수된 층이 모두 에칭되어 버린 경우에 에칭을 정지하게 하는 MMP 에칭의 일 실시예의 자기-제한 피쳐 (self-limiting feature)의 일 양태이다. MMP 에칭의 일 실시예의 자기-제한 피쳐의 다른 양태는 일 이상의 실시예에서 MMP 준비 페이즈 동안 흡수된  $\text{SiCl}$  층의 깊이를 제어하는 것이다. MMP 에칭의 일 실시예의 자기-제한 피쳐의 다른 양태는 단지 일부의 또는 모든 흡수된  $\text{SiCl}$  층이 제거되고 밑에 깔린 (underlying) Si 재료가 에칭되지 않는 것을 보장하는 MMP 반응 페이즈의 시간의 길이이다. MMP 에칭의 일 실시예의 자기-제한 피쳐의 다른 양태는 MMP 준비 페이즈의 시간의 길이이다.

[0066] 중요한 주목점은 MMP 반응 페이즈 동안 바이어스 전력이 켜진다는 (turn on) 사실이다 (이와는 반대로, MMP 준비 페이즈 동안 바이어스 전력은 바람직하게는 완전히 오프이고, 또는 이온 에너지가 흡수된 층의 이온-유도된 (ion-induced) 에칭을 위해 임계치 아래로 유지되는 것을 보장하는 것을 돋도록 MMP 반응 페이즈에서의 바이어스 전력 레벨 보다 더 낮은 레벨로 켜진다). 다른 챔버의 파라미터들은 비-반응 가스로부터 형성되는 플라즈마에 의해 흡수된  $\text{SiCl}$  층의 지향성 에칭 (directional etching)을 촉진시키도록 최적화될 수도 있다. 예를 들어, 챔버 압력은, 충돌 (collision)의 수를 감소시키기 위해, (MMP 준비 페이즈의 보다 높은 챔버 압력에 비하여) MMP 반응 페이즈에서 감소될 수도 있고, 이에 따라 이온들의 각 분포 (angle distribution)을 감소시키고, 보다 지향적인 에칭을 야기한다. 다른 예시로서, 바이어스 전력은 단일 MMP 반응 페이즈 동안 복수 번 펄스 온 및 펄스 오프될 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 예시로서, RF 유도 코일 전력은 단일 MMP 반응 페이즈 동안 복수 번 펄스 온 및 펄스 오프될 수도 있다.

[0067] 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 실시예로서, 바이어스 전력 및 RF 유도 코일 전력 양자 모두는 MMP 반응 페이즈 동안, 동기적이거나 다른 하나에 관하여 비동기적으로, 복수 번 펄싱될 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 예시로서, 유도 코일 RF 주파수는 MMP 준비 페이즈와 관련하여 MMP 반응 페이즈 동안 (이온 에너지 분포 기능을 증가시키도록 더 높은 바와 같이) 상이할 수도 있다. 일 예시에서, MMP 반응 페이즈는 유도 코일 RF 신호에 대해 60 MHz를 채용할 수도 있는 반면, MMP 준비 단계는 MMP 반응 페이즈 동안의 유도 코일 RF 신호에 대해 13.56 MHz를 채용할 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 예시로서, 바이어스 RF 및/또는 유도 코일 RF는 단일 MMP 반응 페이즈 동안 상이한 RF 주파수들로 처평될 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 맞춤의 (tailored) 바이어스 파형이 이온 에너지를 감소시키도록 MMP 반응 페이즈 동안 채용될 수도 있다. 더 자세히 설명하자면, 맞춤의 바이어스 파형은 이온 에너지를 최적화하거나 조절하기 위해 맞춤된 또는 형성된 (shaped) (예를 들어, 클립되거나 (clipped) 변형된) 파형을 가지는 RF 바이어스 신호이다.

[0068] MMP 준비 페이즈 및 이어지는 MMP 반응 페이즈는 사이클을 형성하고, 이 사이클은 에칭이 완전하다고 여겨질 때 까지 복수 번 반복될 수도 있다. MMP 반응 페이즈 이전에 챔버로부터 반응 가스의 완전한 또는 실질적으로 완전한 제거를 보장하기 위해, MMP 과도 (transition) 페이즈가, 예를 들어 반응 가스(들)의 보다 완벽한 제거를 가능하게 하거나/하고 MMP 반응 페이즈를 위한 챔버를 준비하도록 MMP 준비 페이즈 및 MMP 반응 페이즈 사이에 개재될 수도 있다 (하지만 MMP 과도 페이즈가 모든 케이스들에서 요구되는 것은 아님). 대안적으로 또는 부가

적으로, 다른 과도 페이즈가, 일 이상의 실시예에서, MMP 준비 페이즈를 위한 챔버를 안정화하거나/하고 준비하도록 이어지는 사이클 (proceeding cycle) 의 MMP 과도 페이즈 및 MMP 준비 페이즈 사이에 채용될 수도 있다.

[0069] 반응 가스들을 사용하지 않고 MMP 반응 페이즈를 수행하고자 하는 필요 때문에, 얼마나 빠른 에칭이 MMP 준비 페이즈 및 MMP 과도 페이즈 사이에 펼칠 수 있는지에 따라 한계치 (limit) 가 도입된다 (imposed). 챔버로부터 가스를 배기시키는데 얼마간의 한정된 양의 시간이 소요되기 때문에, MMP 준비 페이즈 및 MMP 반응 페이즈 간의 과도기는 일 실시예에서, 챔버의 가스 체류 시간 (residence time) 에 의해 한정되고, 이러한 가스 체류 시간은 손쉽게 통상의 기술자에 의해 계산될 수 있다. 언급된 바와 같이, MMP 과도 페이즈는, MMP 반응 페이즈를 위한 챔버를 준비하는 것을 돋도록 (예컨대, 일 실시예에서 모든 반응 가스들이 제거되는 것을 보장하도록, 또는 챔버를 안정화시키도록) MMP 준비 페이즈 및 MMP 반응 페이즈 사이에 채용될 수도 있다 (하지만 MMP 과도 페이즈가 모든 케이스들에서 요구되는 것은 아님).

[0070] 일 이상의 실시예에서, MMP 준비 페이즈는 약 0.01초 내지 약 5초일 수도 있고, 보다 바람직하게는 0.2초 내지 약 1초일 수도 있다. 일 이상의 실시예에서, MMP 반응 페이즈는 약 0.01초 내지 약 5초일 수도 있고, 보다 바람직하게는 0.05초 내지 약 1초일 수도 있다. 일 이상의 실시예에서, 스위칭 레이트 (switching rate) 는 1Hz 근방일 수도 있다. 이것은 가스 체류 시간을 고려하지 않는, 그리고또는 MMP 반응 페이즈 동안 챔버로부터의 반응 가스들의 제거를 수반하지 않는 TCP 및/또는 TCP/바이어스 전력의 동기적인 또는 비동기적인 펼성을 수반하는 기술들과의 차이점이다.

[0071] 일 이상의 실시예에서, 이온들을 기판 방향으로 가속시키는 그리드 (grid) 또는 어떤 다른 구조들의 사용이 필수적이지 않다는 점에 주목해야 한다. 또한, MMP 준비 페이즈 및 에칭 페이즈가, 다른 기판 처리 단계들을 위해 채용되는 동일한 ICP챔버에서 인 시츄로 (in situ) 완전하게 유리하도록 수행된다는 점을 주목해야 한다.

[0072] 일 이상의 실시예에서, MMP 반응 페이즈는 (예를 들어 광학적 방사 분광학 기술 (optical emission spectroscopy technique) 을 사용하여) 챔버 모니터링 (monitoring) 에 응답하여 시간이 맞춰지거나 (timed) 종료될 수도 있다. 일 이상의 실시예에서, MMP 반응 페이즈 동안의 반응성 에칭은 단지 하나의 원자 층 (ALE) 을 에칭하도록 허용된다. 이러한 예시에서, 흡수는, 흡수된 층이 하나의 원자 층 두께 근방이도록 제어될 수도 있다. 일 이상의 실시예에서, MMP 반응 페이즈 동안의 반응성 에칭은 흡수된 기판 표면의 복수의 원자 층들을 에칭하게 진행하도록 허용된다. 일 이상의 실시예에서, 챔버의 파라미터들은, 단일의 MMP 반응 페이즈 동안 대량의 (bulk) MMP 반응 에칭이 존재하고 이어서 보다 정확하지만 느린 단일층 (monolayer) MMP 반응 에칭이 존재하도록 조정될 수도 있다.

[0073] 일 이상의 실시예에서, MMP 에칭은 선택성을 개선하도록 채용된다. 지금까지, MMP 에칭 예시는 (상기 예시에서 실리콘과 같은) 단일 재료를 수반한다. 상술한 바와 같이, MMP 준비 페이즈 동안의 반응 가스의 선택은 실리콘을 에칭하기 위해 적합한 반응 가스 (예컨대, Cl<sub>2</sub>) 를 선택하는 것을 수반하고, MMP 반응 페이즈 동안 이온 에너지 레벨을 구성하는 것은 흡수된 SiCl 층을 에칭하지만 대량의 비-흡수된 Si 재료 아래를 에칭하지 않는 적합한 이온 에너지 레벨을 선택하는 것을 수반한다.

[0074] 기판을 에칭하는 때 두개의 재료들 간의 선택성을 개선시키기 위해, 반응 가스는, 반응 가스가 다른 하나의 재료에 우선하여 (over) 어느 하나의 재료 내로의 흡수를 돋는 플라즈마를 형성하도록 (MMP 준비 페이즈 동안의 사용을 위해) 선택될 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 선택된 가스는 양 재료들 상에 흡수되지만 다른 하나의 재료에 우선하여 어느 하나의 재료 상에 휘발성 화합물들을 형성하는 것을 도울 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 선택된 가스는 다른 재료 상에서 보다 어느 하나의 재료 상이 더 많은 퇴적물 (deposition) 을 야기시킬 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 선택된 가스는 다른 하나의 재료의 표면에서의 결합 강도 (bonding strength) 의 감소량 보다 더 큰 정도로 어느 하나의 재료의 표면에서의 결합 강도를 감소시킬 수도 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, MMP 반응 페이즈 동안의 이온 에너지는 다른 하나의 재료에 우선하여 어느 하나의 재료를 보다 공격적으로 에칭하도록 선택될 수도 있다. 이러한 MMP 선택성 에칭의 예시는 폴리실리콘을 에칭하는 것이지만, 옥사이드 (oxide) 를 에칭하는 것은 아니다. 이 케이스에서, 반응 가스는 MMP 준비 페이즈 동안 Cl<sub>2</sub> 이도록 선택될 수도 있고, 이것은 화학적 고려들 (chemistry considerations) 만에 기초하여 옥사이드를 에칭하기 쉽지 않고, MMP 반응 페이즈 동안의 이온 에너지 임계치는 예를 들어 폴리실리콘에 대해 70eV 이고, 옥사이드에 대해 80eV 일 수도 있다.

[0075] 도 8은, 본 발명의 일 실시예에 따른, 적어도 MMP 준비 페이즈 및 MMP 반응 페이즈를 수반하는 각각의 사이클을 가지는, (시간에 대한 종들 밀도 (species density) 를 보여주는) 실리콘 에칭 예시에 대한 개념적인 MMP 에칭

사이클들을 도시한다. 도 8을 참조하면, MMP 에칭 사이클 (802) 은 적어도 MMP 준비 페이즈 (804) 및 MMP 반응 페이즈 (806) 를 수반한다. MMP 준비 페이즈 (804) 및 MMP 반응 페이즈 (806) 의 각각에 대한 챔버 및 가스 조건들은 위에서 논의되었다. 중요한 주목점은, MMP 준비 페이즈 (804) 동안 높은 양의 라디칼들 및 실질적으로 제로인 이온들로 그리고 MMP 반응 페이즈 (806) 동안 높은 양의 이온들 및 실질적으로 제로의 라디칼들로, 라디칼들 및 이온들이 적시에 분리된다는 사실이다.

[0076] 도 9는, 본 발명의 일 실시예에 따른, 몇몇의 이온들이 MMP 준비 페이즈에서 존재하는 다른 개념적인 MMP 에칭 사이클들을 도시한다. 이온들은 플라즈마 생성의 의도되지 않은 부작용으로서 나타나지만 MMP 준비 페이즈 (904) 동안 흡수된 SiCl 표면을 에칭하는데 필요한 임계 이온 에너지 레벨 아래로 (챔버 파라미터들을 조종함으로써) 유지된다. 이온들은 또한 전술한 바와 같이 주입 (implantation) 을 촉진시키기 위해 어느 정도의 작은 양의 바이어스 전력을 채용함으로써 의도적으로 도입될 수도 있다. 그럼에도 불구하고, 이온 에너지는 MMP 준비 페이즈 동안 흡수된 표면을 에칭하는데 필요한 임계 이온 에너지 레벨 아래로 유지된다.

[0077] MMP 반응 페이즈 (906) 동안, 반응 가스는 챔버로부터 배제되고, 바람직하게는 MMP 반응 페이즈 (906) 동안 챔버 내에서 어떠한 반응물들 (reactants) 도 실질적으로 존재하지 않는다. MMP 준비 페이즈 (904) 및 MMP 반응 페이즈 (906) 의 각각에 대한 챔버 및 가스 조건들은 상술하였다. 전술한 바와 같이, 원한다면 MMP 파도 페이즈는 MMP 준비 페이즈 (904) 및 MMP 반응 페이즈 (906) 사이에 개재될 수 있다. 대안적으로 또는 부가적으로, 다른 MMP 파도 페이즈가 선행하는 MMP 반응 페이즈 (906) 및 다음의 MMP 사이클의 MMP 준비 페이즈 (908) 사이에 개재될 수도 있다.

[0078] 도 10은, 본 발명의 일 실시예에 따른, 생산 ICP 챔버에서 MMP 에칭을 수행하기 위한 방법을 도시한다. 단계 (1000) 에서, 기판은 인 시츄 MMP 에칭 (in situ MMP etch) 을 준비하기 위해 생산 ICP 챔버에 제공된다. 기판은 어느 정도의 시간 동안 챔버 내에 배치되어 있었을 수도 있고, 다른 처리 단계들 (예컨대, 별크 에칭) 이 MMP 에칭 전에 이미 수행되었을 수도 있다는 점이 이해되어야만 한다. 단계 (1002) 에서, 챔버는 MMP 준비 단계에서 동작하도록 구성된다. 이러한 MMP 준비 페이즈에서, 반응 가스가 플라즈마의 도움으로 기판 표면 내로 흡수되도록 허용된다. 흡수의 깊이는 (후속하는 MMP 반응 페이즈 동안 수행되기 위해) 자기-제한 에칭의 일 양태를 형성하도록 제어된다. MMP 준비 페이즈를 위한 다른 대안적인 또는 부가적인 챔버 조건들은 위에서 논의되었다.

[0079] 단계 (1004) 에서, 챔버는 MMP 반응 페이즈에서 기판을 에칭하도록 구성된다. 이러한 MMP 반응 페이즈에서, 반응 가스는 챔버로부터 배제되고, 바이어스 전력은 불활성 가스(들)로부터 형성되는 플라즈마를 사용한 흡수된 층(들) 의 플라즈마-지원 제거 (plasma-assisted removal) 를 촉진하도록 증가된다 (또는 켜진다). MMP 반응 페이즈 동안의 이온 에너지는 흡수된 층을 에칭하는데 필요한 레벨보다 더 높게 설정되지만, 비-흡수된 층 하부 (underneath) 를 에칭하는데 필요한 레벨보다는 더 낮게 설정되고, 이에 따라 실질적으로 에칭을 자기-제한한다 (self-limit). MMP 반응 페이즈에 대한 다른 대안적인 또는 부가적인 챔버 조건들은 상술되었다. 적어도 MMP 준비 페이즈 및 MMP 반응 페이즈를 포함하는 MMP 사이클은 완벽하다고 (1008) 판단될 때까지 (1006) 반복된다 (1012).

[0080] 앞선 기술로부터 이해될 수 있는 바와 같이, MMP 에칭의 실시예들은 ALE 에칭 또는 정확한 에칭들 (예컨대, 3-D 로직 또는 메모리 디바이스들 또는 MRAM 가공을 위한 에칭들) 또는 높은 선택성 에칭들에 상당히 적합하다. 또한, 본 발명의 실시예들은 기판 손상을 감소시키고, 편평한 에칭 앞면을 야기한다. MMP 에칭의 높은 선택성 및/또는 자기-제한 성질 (self-limiting nature) 는 에칭되지 않아야 하는 층(들) 또는 구조물(들)에 대한 구조적인 손상을 감소시키는데 도움을 준다. 어떤 케이스들에서, MMP 에칭의 자기-제한 성질은 에칭 정밀성 (etch precision) 및/또는 에칭 프로파일 (etch profile) 을 개선시키는데 도움을 주고/주거나 오버에칭 (overetching) 에 대한 필요를 감소시킬 수도 있다.

[0081] 본 발명이 몇몇의 바람직한 실시예에 관하여 설명되었으나, 본 발명의 범위 내에 들어가는 개조물, 치환물 (permutation), 및 균등물이 존재한다. 예를 들어, MMP 에칭이 ICP 챔버 예시를 사용하여 개시되었다 하더라도, 요구된다면 MMP 에칭은 용량성 커플링된 플라즈마 (CCP) 챔버에서 수행될 수도 있다. MMP 에칭에 대하여, 에칭이 용량성 커플링된 플라즈마 챔버에서 수행되는 경우, 공급되는 보다 높은 RF 주파수는 소스 RF로 고려되고, 공급되는 보다 낮은 RF 주파수는 바이어스 RF로 고려될 수도 있고, 어떠한 이러한 RF 신호들이 챔버의 단지 하나의 플레이트 또는 챔버의 플레이트들 중 분리된 (split up) 플레이트에 제공되는지는 불문한다.

[0082] 다른 예시로서, 도면들에서 논의된 펠싱 기법들은 특정한 처리의 요구에 적합하도록 임의의 조합으로 결합될 수도 있다. 예를 들어, 듀티 사이클의 변화는 도면들 중 임의의 하나 (또는 임의의 하나의 일부 또는 복수의 도

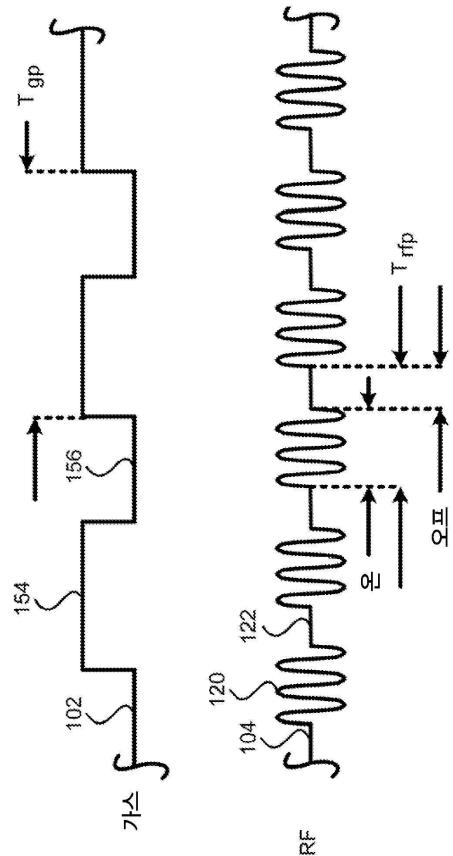
면들의 조합) 와 함께 설명된 기법으로 실시될 수도 있다. 비슷하게, 주파수 쳐핑은 도면 중 임의의 하나 (또는 임의의 하나의 일부 또는 복수의 도면들의 조합) 와 함께 설명된 기법으로 그리고/또는 듀티 사이를 변화로 실시될 수도 있다. 비슷하게, 불활성 가스 치환 (substitution) 은 도면 중 임의의 하나 (또는 임의의 하나의 일부 또는 복수의 도면들의 조합) 와 함께 설명된 기법으로 그리고/또는 듀티 사이를 변화로 그리고/또는 주파수 쳐핑으로 실시될 수도 있다. 기법들은 개별적으로 그리고/또는 구체적인 도면과 관련되어 설명되었으나, 다양한 기법들이 특정 처리를 수행하기 위해 임의의 조합으로 결합될 수 있다.

[0083]

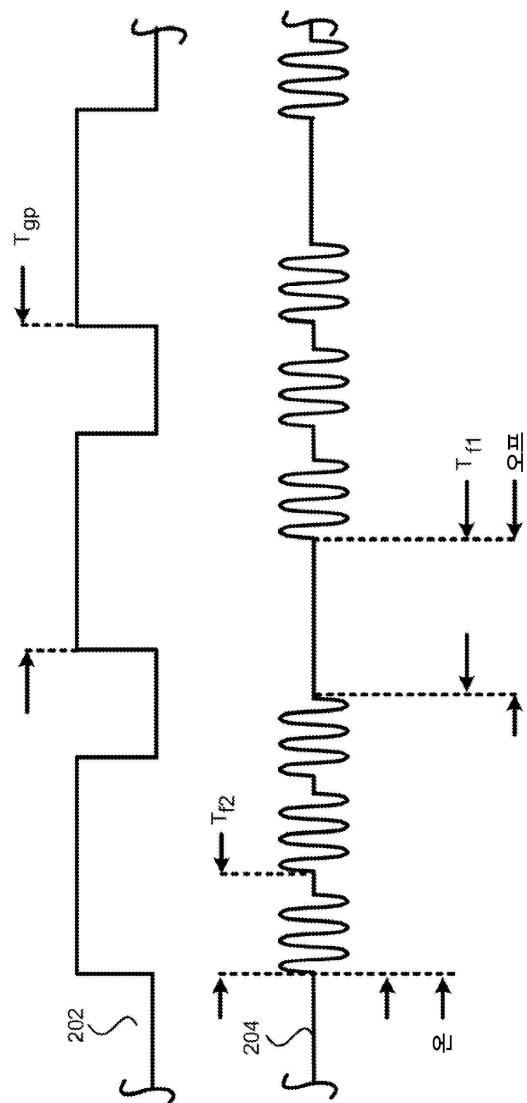
본 명세서에 다양한 예시들이 제공되었으나, 이 예시들은 본 발명에 관하여 제한하는 것이 아니라 설명적인 것으로 의도된다. 또한, 본 명세서에 명칭 및 요약이 편의를 위해 제공되나, 명칭 및 요약은 본 명세서에서 청구항의 범위를 해석하는데 이용되지 않아야 한다. 본 명세서에 용어 "세트 (set)"가 채용되면, 그러한 용어는 영의 (zero), 하나의, 또는 하나 이상의 원소를 커버하는 그것의 일반적으로 이해되는 수학적 의미를 갖는 것으로 의도된다. 또한 본 발명의 방법들 및 장치들을 구현하는 다수의 대체 방식들이 있다는 것이 주목되어야 한다.

## 도면

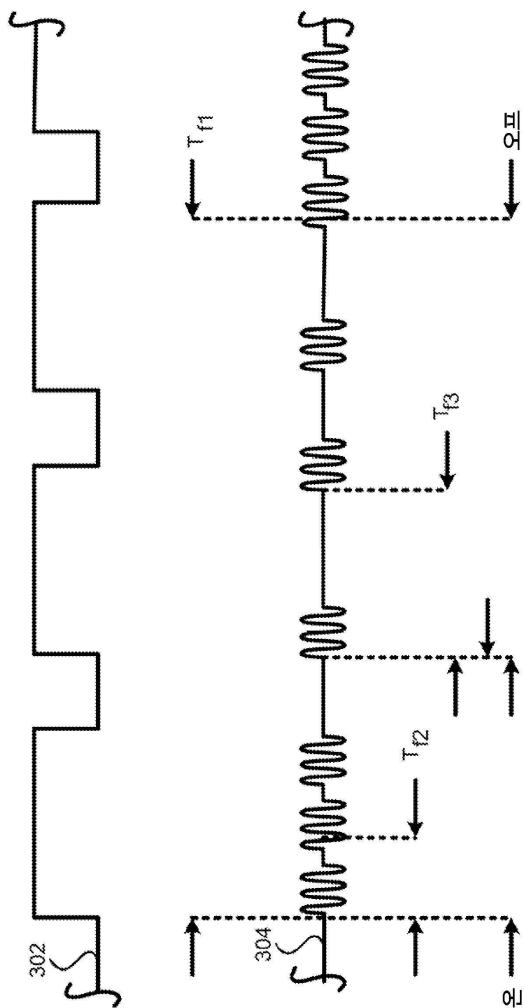
### 도면1



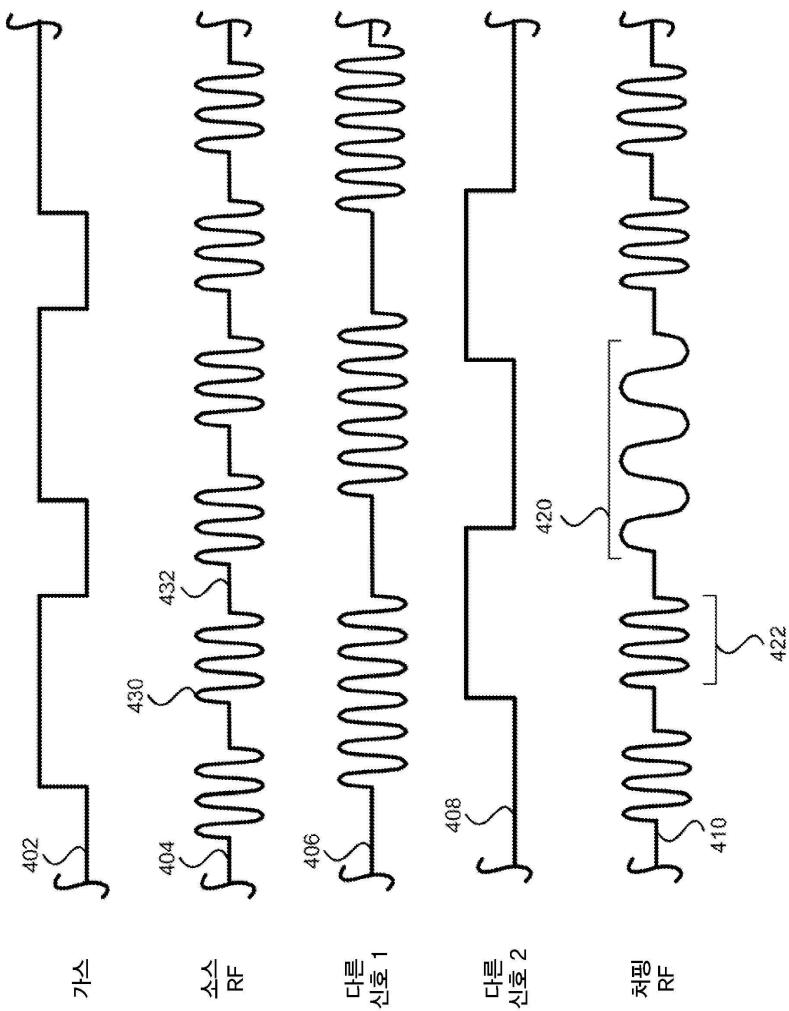
도면2



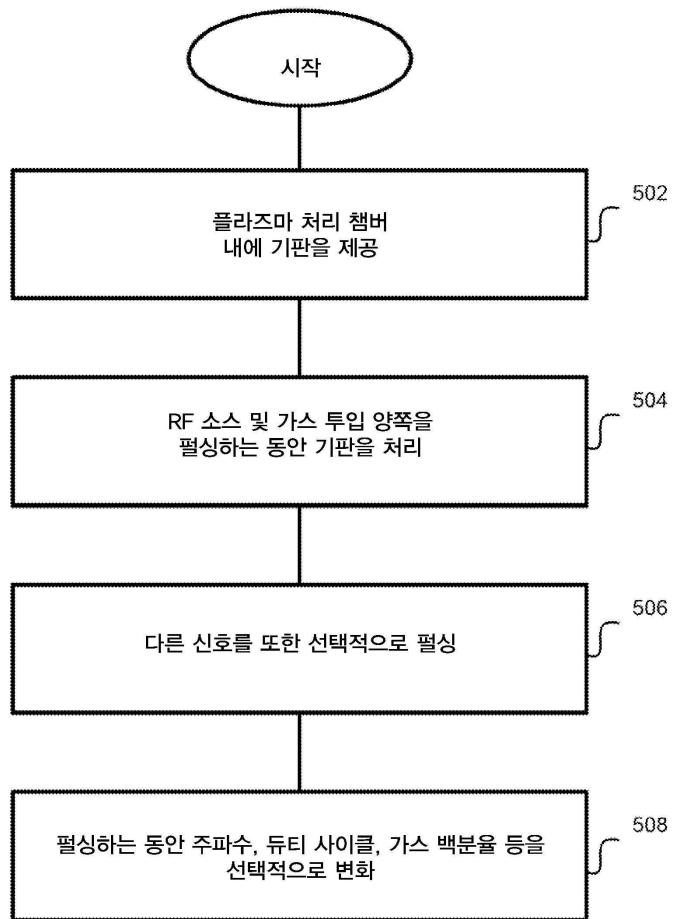
도면3



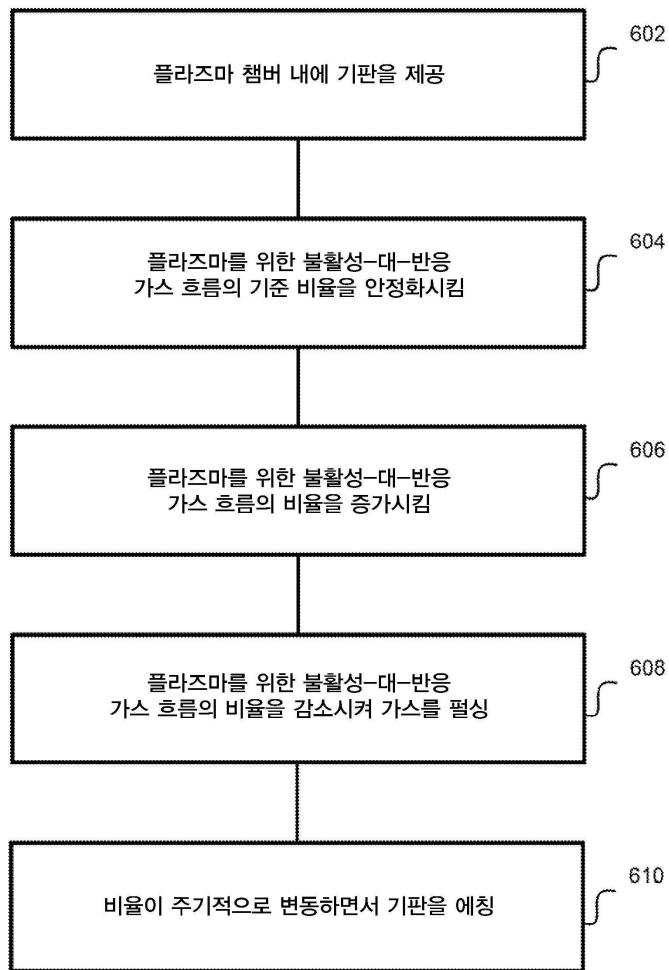
도면4



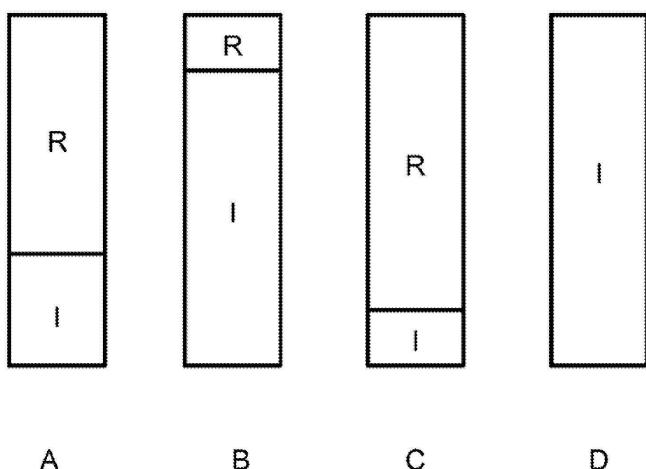
도면5



도면6



도면7a



도면7b

702 ↗ A D A D ..

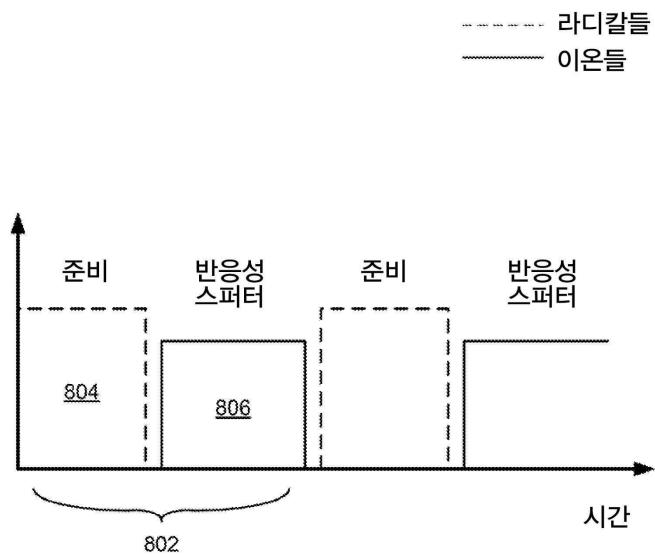
704 ↗ A B A B A B / A D A D / A B A B A B / A D A D

706 ↗ A B A B A B / A C A C / A B A B A B / A C A C

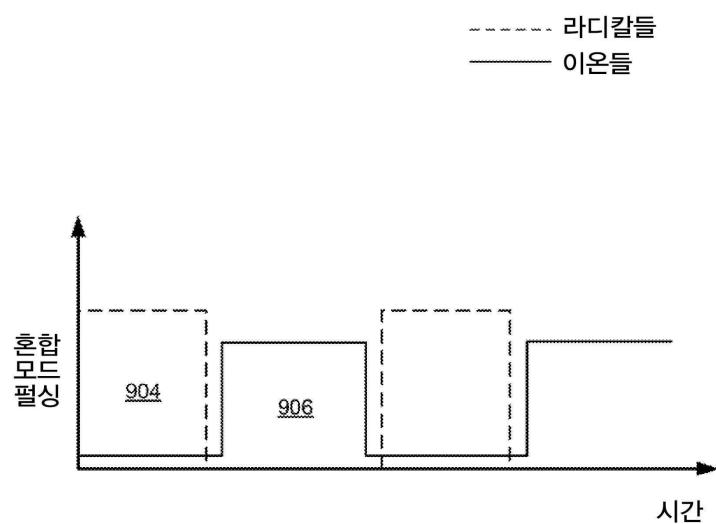
708 ↗ A B A B A B / C D C D / A B A B A B / C D C D

710 ↗ A B A B A B / C D C D / A D A D / A B A B A B / C D C D / A D A D

도면8



도면9



## 도면10

