



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년12월28일  
(11) 등록번호 10-1690812  
(24) 등록일자 2016년12월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/3065 (2006.01) H05H 1/24 (2006.01)  
H05H 1/36 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2011-7023462  
(22) 출원일자(국제) 2010년04월06일  
심사청구일자 2015년03월30일  
(85) 번역문제출일자 2011년10월05일  
(65) 공개번호 10-2012-0009441  
(43) 공개일자 2012년01월31일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/030019  
(87) 국제공개번호 WO 2010/117969  
국제공개일자 2010년10월14일  
(30) 우선권주장  
12/621,590 2009년11월19일 미국(US)  
61/166,987 2009년04월06일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP10041281 A\*  
JP2008235579 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
램 리써치 코퍼레이션  
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650  
(72) 발명자  
마라크타노브 알렉세이  
미국 94706 캘리포니아주 알바니 피어스 스트리트 555 아파트먼트 637  
허드슨 에릭  
미국 94707 캘리포니아주 버클리 카탈리나 애비뉴 1820  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인인벤투스

전체 청구항 수 : 총 18 항

심사관 : 이정은

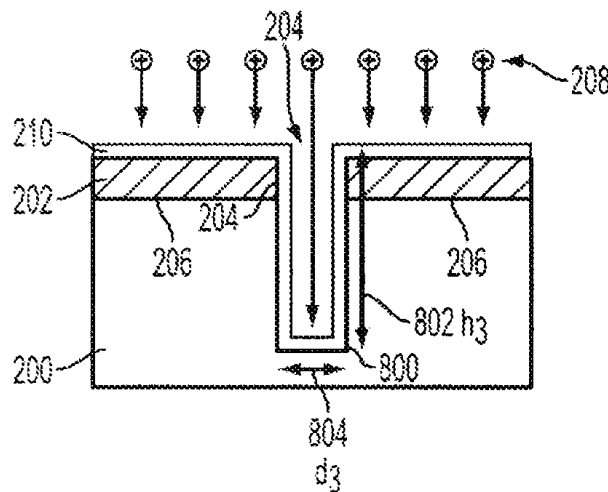
(54) 발명의 명칭 변조된 멀티-주파수 처리 방법

(57) 요약

가스 및 공간 내에 전자기장을 생성하도록 동작 가능한 전자기장 생성부를 수용하도록 내부에 배열된 상기 공간을 갖는 처리 시스템을 작동하는 방법이 제공된다. 본 방법은, 상기 공간에 가스를 제공하는 단계, 및 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하여 상기 공간 내에 전자기장을 생성하여 가스의 적어도 일부를 플라

(뒷면에 계속)

대표도 - 도8



즈마로 변환하는 단계를 포함한다. 시간의 함수로서의 상기 구동 전위는 제 1 전위 함수 부분 및 제 2 전위 함수 부분에 기초한다. 상기 제 1 전위 함수 부분은 제 1 진폭 및 제 1 주파수를 갖는 제 1 연속 주기부를 포함한다. 상기 제 2 전위 함수 부분은 최대 진폭 구간, 최소 진폭 구간 및 듀티 사이클을 갖는 제 2 주기부를 포함한다. 최대 진폭부는 최소 진폭부보다 더 큰 진폭이다. 듀티 사이클은 최대 진폭부의 지속기간 및 최소 진폭부의 지속기간의 합계에 대한 최대 진폭부의 지속기간의 비율이다. 제 2 주기부는 최대 진폭부 동안 제 2 주파수를 추가적으로 갖는다. 제 2 주기부의 진폭 변조는 제 1 연속 주기부에 위상 동기된다.

(72) 발명자

**딘드사 라진더**

미국 95148 캘리포니아주 샌호세 롤링사이드 드라이브 3670

**베일리 앤드류**

미국 94588 캘리포니아주 플레전트 세이지우드 코트 3363

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

가스를 수용하는 공간, 전극부 및 RF 드라이버를 갖는 처리 시스템을 작동하는 방법으로서,  
상기 RF 드라이버는 상기 전극부에 구동 신호를 제공하도록 동작 가능하고,  
상기 방법은,

상기 공간에 가스를 제공하는 단계;

상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계로서, 상기 구동 신호는 제 1 신호 부분 및 제 2 신호 부분에 기초하는, 상기 구동 신호를 제공하는 단계; 및

상기 가스로부터, 상기 공간에 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하고,  
상기 플라즈마는 플라즈마 쉬스 (plasma sheath) 를 갖고,  
상기 플라즈마 쉬스는 플라즈마 쉬스 전위를 갖고,  
상기 플라즈마 쉬스 전위는 상기 구동 신호에 기초하고,  
시간의 함수로서의 상기 플라즈마 쉬스 전위는 제 1 플라즈마 쉬스 전위 함수 부분 및 제 2 플라즈마 쉬스 전위 함수 부분에 기초하고,  
상기 제 1 플라즈마 쉬스 전위 함수 부분은 제 1 진폭 및 제 1 주파수를 갖는 연속적인 사인형 부분을 포함하고,  
상기 제 2 플라즈마 쉬스 전위 함수 부분은 최대 진폭 구간, 및 최소 진폭 구간과 듀티 사이클을 갖는 사인형 부분을 포함하고,  
상기 최대 진폭 구간은 제 2 주파수, 제 1 지속기간 및 제 1 구간 진폭을 갖고,  
상기 최소 진폭 구간은 제 2 지속기간 및 제 2 구간 진폭을 갖고,  
상기 제 1 구간 진폭은 상기 제 2 구간 진폭보다 크고,  
상기 듀티 사이클은 상기 제 1 지속기간과 상기 제 2 지속기간의 합계에 대한 상기 제 1 지속기간의 비율이고,  
상기 제 2 플라즈마 쉬스 전위 함수 부분은 상기 제 1 주파수의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조되고,  
상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계는, 상기 제1 플라즈마 쉬스 전위 함수 부분의 상기 제 1 진폭이 상기 제2 플라즈마 쉬스 전위 함수 부분의 상기 최대 진폭 구간의 상기 제 1 구간 진폭보다 크도록 상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,  
상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계는, 상기 제 1 지속기간이 상기 제 2 지속기간 이하가 되도록 상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서,  
상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계는, 상기 최대 진폭 구간이 최대 플라즈마 쉬스 전위에서 발생하

도록 상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계는, 상기 최대 진폭 구간이 최대 플라스마 쉬스 전위에서 발생하도록 상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계는, 상기 제 1 지속기간이 상기 제 2 지속기간 이하가 되도록 상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계는, 상기 최대 진폭 구간이 최대 플라스마 쉬스 전위에서 발생하도록 상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계는, 상기 최대 진폭 구간이 최대 플라스마 쉬스 전위에서 발생하도록 상기 전극부에 상기 구동 신호를 제공하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 고조파는 1차 고조파인, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 고조파는 2 차 이상의 고조파인, 처리 시스템을 작동하는 방법.

#### 청구항 11

가스를 수용하도록 배열된 공간 및 상기 공간 내에 전자기장을 생성하도록 동작 가능한 전자기장 생성부를 갖는 처리 시스템을 작동하는 방법으로서,

상기 방법은,

상기 공간에 가스를 제공하는 단계; 및

상기 가스의 적어도 일부를 플라스마로 변환하기 위해 상기 공간 내에 전자기장을 생성하도록 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계를 포함하고,

시간의 함수로서의 상기 구동 전위는 제 1 전위 함수 부분 및 제 2 전위 함수 부분에 기초하고,

상기 제 1 전위 함수 부분은 제 1 진폭 및 제 1 주파수를 갖는 제 1 연속 사인형 부분을 포함하고,

상기 제 2 전위 함수 부분은 최대 진폭 구간, 최소 진폭 구간 및 듀티 사이클을 갖는 제 2 사인형 부분을 포함하고,

상기 제 2 사인형 부분은 상기 최소 진폭 구간 동안 보다는 상기 최대 진폭 구간 동안에 더 높은 진폭을 갖고,

상기 듀티 사이클은 상기 최대 진폭 구간 및 상기 최소 진폭 구간의 합계에 대한 상기 최대 진폭 구간의 비율이고,

상기 제 2 사인형 부분은 제 2 주파수를 추가적으로 갖고,

상기 제 2 사인형 부분은 상기 제 1 주파수의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조되고,

구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계는, 상기 제1 전위 함수 부분의 상기 제 1 진폭이 상기 제2 전위 함수 부분의 상기 최대 진폭 구간의 진폭보다 크도록 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 청구항 12

삭제

## 청구항 13

제 11 항에 있어서,

구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계는, 최대 진폭의 지속기간이 최소 진폭의 지속기간 이하가 되도록 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 청구항 14

제 13 항에 있어서,

구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계는, 상기 최대 진폭 구간이 최대 플라스마 쉬스 전위 (plasma sheath potential) 에서 발생하도록 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 청구항 15

제 11 항에 있어서,

구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계는, 상기 최대 진폭 구간이 최대 플라스마 쉬스 전위에서 발생하도록 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 청구항 16

제 11 항에 있어서,

구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계는, 최대 진폭 구간의 지속기간이 최소 진폭 구간의 지속기간 이하가 되도록 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 청구항 17

제 16 항에 있어서,

구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계는, 상기 최대 진폭 구간이 최대 플라스마 쉬스 전위에서 발생하도록 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 청구항 18

제 11 항에 있어서,

구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계는, 상기 최대 진폭 구간이 최대 플라스마 쉬스 전위에서 발생하도록 구동 전위에 의해 상기 전자기장 생성부를 작동하는 단계를 포함하는, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 청구항 19

제 11 항에 있어서,

상기 고조파는 1 차 고조파인, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 청구항 20

제 11 항에 있어서,

상기 고조파는 2 차 이상의 고조파인, 처리 시스템을 작동하는 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본원은 Alexei Marakhtanov, Eric Hudson, Rajinder Dhindsa, 및 Andrew D. Bailey III 에 의해 발명되었다.

[0002] 본 출원은 그 전체의 개시 내용이 본 명세서에 참조로 통합되어 있는, 2009년 4월 6일에 제출된 미국 가출원 제 61/166,987호를 기초로 하여 우선권 주장한다.

### 배경 기술

[0003] 반도체 제조 산업에서, 플라즈마 에칭은 웨이퍼 처리에서 광범위하게 사용되고 있다. 플라즈마 에칭은, 통상적으로, 전기적 접촉들을 형성하기 위해 재료들에 콘택트 홀들 또는 트렌치들과 같은 피처들을 생성하는 데 사용되고 있다. 제조에 있어서 공간은 중요한 고려사항임을 고려할 때, 이들 콘택트 홀들을 가능한 한 협소하고 깊게 형성하는 것이 때때로 바람직하다. 이러한 협소하고 깊은 피처들의 에칭은, 플라즈마 에칭 공정 동안 일어나는 각종 복잡성 및 곤란성으로 인해, 많은 도전 과제들을 제기하고 있다.

[0004] 도 1 은 종래의 플라즈마 에칭 공정 동안에 종래의 웨이퍼 처리 시스템에 대한 좌측 단면도이다. 웨이퍼 처리 시스템 (100) 은 처리 챔버 (102), 상부 전극 (104), 정전척 (electro-static chuck; ESC) (106) 및 RF 드라이버 (110) 를 포함한다. 처리 챔버 (102), 상부 전극 (104) 및 ESC (106) 는 플라즈마-형성 공간 (108) 을 제공하도록 배열된다. RF 드라이버 (110) 는 ESC (106) 에 전기적으로 접속되는 한편, 상부 전극 (104) 은 접지에 전기적으로 접속된다.

[0005] 동작시에, 웨이퍼 (114) 는 정전기력을 통해 ESC (106) 상에 유지된다. 가스 소스 (미도시) 는 플라즈마 형성 공간 (108) 에 에칭 가스를 공급한다. RF 드라이버 (110) 는 ESC (106) 에 구동 신호를 제공하여, ESC (106) 및 상부 전극 (104) 사이에 전압 차 (voltage differential) 를 제공한다. 전압 차는 플라즈마 형성 공간 (108) 에 전자기장을 생성하며, 플라즈마 형성 공간 (108) 내의 가스는 이온화되고, 플라즈마 (112) 를 형성한다. 플라즈마 (112) 는 웨이퍼 (114) 의 표면을 에칭한다.

[0006] 이제, 도 2a 및 도 2b 를 참조하여, 웨이퍼를 에칭하는 예시적인 종래 공정을 이하에서 설명하기로 한다.

[0007] 도 2a 는 도 1 에 나타낸 바와 같은, 플라즈마 (112) 가 형성되기 전이라서 웨이퍼 (114) 상에 임의의 재료가 에칭되기 전인 웨이퍼 (114) 의 단면을 도시하고 있다. 도 2a 에서, 웨이퍼 (114) 는 기관 (200) 및 마스크 (202) 를 포함한다. 마스크 (202) 는 플라즈마 (112) 에 의해 에칭되는 기관 (200) 의 영역들을 정의하는 기능을 한다. 마스크 (202) 에 의해 덮이지 않은 기관 (200) 의 부분은 플라즈마 (112) 에 노출되므로, 에칭 처리 동안 에칭될 것이다. 반대로, 마스크 (202) 에 의해 덮인 기관 (200) 의 부분들 (마스크된 영역들 (206)) 은 플라즈마 (112) 에 의해 에칭되지 않으므로, 에칭 공정 동안 에칭되지 않을 것이다. 플라즈마 (112) 에 노출된 마스크 (202) 그 자체도 또한 다소 에칭되지만, 통상적으로, 마스크 (202) 의 에칭율이 기관 (200) 의 에칭율보다 훨씬 느리도록 (높은 선택도를 부여하는) 플라즈마 (112) 의 특성들이 선택되고, 이에 의해 마스크 (202) 를 거의 온전하게 박리시킨다.

[0008] 도 2b 는 플라즈마 (112) 가 형성되고 에칭 공정이 시작된 후의 웨이퍼 (114) 의 단면을 도시하고 있다. 에칭 공정 동안, 웨이퍼 (114) 의 표면은 플라즈마 (112) 로부터의 입사 플라즈마 이온들 (208) 에 의해 충격을 받는다 (bombarded). 마스크되지 않은 영역 (204) 에서, 입사 플라즈마 이온들 (208) 은 기관 (200) 의 일부를 에칭하여, 에칭된 홀 (212) 을 형성한다. 에칭 공정 동안, 입사 플라즈마 이온들 (208) 을 동반하는 플라즈마로부터의 중성종 (neutral species) 을 중합하는 입사 플럭스는 폴리머층 (210) 으로 하여금 노출된 웨이퍼 표면상 (대부분, 마스크 (202) 의 상면 상) 에 증착되게 한다. 폴리머층 (210) 의 빌드업은, 일반적으로, 마스크 (202) 에 대한 원하지 않은 에칭을 방지하는 기능을 하며, 이에 의해 기관 (200) 의 재료에 대한 에

칭 공정을 보다 선택적으로 하게 한다. 이와 달리, 입사 중성종 및 이온종은 마스크 (202) 의 에칭율을 감소시키는 역할을 할 수 있고, 이에 의해 기판 (200) 의 재료에 대한 에칭 공정을 보다 선택적으로 하게 할 수 있다.

[0009] 도 2b 에 나타난 바와 같이, 에칭된 콘택트 홀 (212) 은 ( $h_1$  으로 지시된) 홀 높이 (214) 및 ( $d_1$  으로 지시된) 홀 직경 (216) 을 갖는다. 종횡비 (aspect ratio) 는, 직경에 의해 분할된 높이로서 정의된다. 이 경우, 에칭된 홀 (212) 의 종횡비는  $h_1/d_1$  로서 정의된다. 종래에는, 에칭된 홀 (212) 과 같이 상대적으로 낮은 종횡비를 갖는 콘택트 홀들이, 이하에서 상세히 설명되는 바와 같이, 홀이 최소한의 왜곡을 갖도록 하면서 상대적으로 용이하게 에칭될 수 있다. 그러나, 몇몇 반도체 애플리케이션들에서는, 작은 직경을 가지면서 매우 깊은 홀들의 에칭을 포함하는, 높은 종횡비 콘택트들 (high aspect ratio contacts; HARC) 을 형성하는 것과 같은, 높은 종횡비 에칭을 제공하는 것에 대한 높은 요구가 존재한다. 종래의 방법에서는, 이제 도 3a 내지 도 5b 를 참조하여 설명되는 바와 같이, HARC 에칭 공정을 제공하기 위한 몇몇 도전 과제들이 존재한다.

[0010] 도 3a 및 도 3b 는 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호들을 시간의 함수로서 나타내는 그래프이다. 도 3c 및 도 3d 는 도 3a 및 도 3b 에 도시된 신호들의 이온 플럭스를 이온 에너지의 함수로서 각각 나타내는 각각의 그래프이다.

[0011] 도 3a 는 저주파 구동 신호인 함수 (300) 를 포함한다. 도 3b 는 저주파부 (low-frequency portion) 및 고주파부 (high-frequency portion) 로 이루어진 구동 신호인 함수 (302) 를 포함한다. 도 3c 는 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 구동 신호로서의 도 3a 에서의 함수 (300) 를 이용하는 것으로부터 기인하는 이온 에너지의 함수로서의 계측된 이온 플럭스인 함수 (304) 를 포함한다. 도 3d 는 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 구동 신호로서 도 3b 의 함수 (302) 를 구현하는 것으로부터 기인하는 예측된 이온 에너지 분포를 도시하는 함수 (308) 를 포함한다.

[0012] 도 3c 에 나타난 바와 같이, 함수 (304) 는 더 낮은 이온 에너지들에 대한 제 1 피크 (306) 및 더 높은 이온 에너지들에 대한 제 2 피크 (308) 를 나타내고 있다. 도면에 도시된 바와 같이, 제 1 피크 (306) 는 제 2 피크 (308) 보다 훨씬 더 크다. 따라서, 더 큰 제 1 피크 (306) 로 표현된 더 낮은 이온 에너지들은 프로세스 결과들에 영향을 미칠 것이다. 몇몇 공정 요건들에 있어서, 낮은 에너지 이온들의 더 높은 플럭스를 제공하는 것이 유리한 것으로 생각된다. 환언하면, 피크 (306) 는 가능한 한 가장 낮은 에너지에서 가능한 한 큰 것이 유리하다. 낮은 에너지 이온들은 2가지 이유들로 인해 유리한 것으로 생각된다. 첫째, 낮은 에너지 이온들은, 측벽들을 방전함으로써 에칭 공정 동안 피쳐 대전량을 감소시킬 수도 있다. 구체적으로, 포지티브 이온들은, 낮은 에너지를 갖기 때문에, 피쳐 표면상의 네거티브-대전된 영역들로 이끌리고, 이에 의해 피쳐 대전량을 감소시킬 수 있다. 둘째, 낮은 에너지 이온들은 에칭 공정 동안에 폴리머 증착에 기여하여 마스크를 보호할 수도 있다.

[0013] 함수 (304) 는 도 3d 에서 참조를 위해 점선으로서 나타낸다. 도 3d 에 나타난 바와 같이, 함수 (310) 는 함수 (304) 의 피크 (306) 로부터 더 높은 이온 에너지로 시프트되는 제 1 피크 (312) 를 포함한다. 또한, 함수 (310) 는 함수 (304) 의 피크 (308) 로부터 더 낮은 이온 에너지로 시프트되는 제 2 피크 (314) 를 포함한다. 유사하게, 도 3c 를 참조하여 설명한 바와 같이, 제 1 피크 (312) 로 표현되는 바와 같은 더 낮은 이온 에너지들은 공정 결과들에 상당한 영향을 미칠 것이다.

[0014] 도 3b 에 도시된 바와 같은 구동 신호에서의 고주파부의 추가는 플라스마 밀도에 있어서의 증가를 제공한다. 이와 같이, 도 3d 의 제 1 피크 (312) 의 이온 에너지에 대응하는 이온 플럭스의 양은 도 3c 의 제 1 피크 (306) 의 이온 에너지에 대응하는 이온 플럭스의 양보다 더 크다. 그러므로, (함수 (300) 로부터 함수 (302) 로부터 스위칭하는) 구동 신호에서의 고주파부의 도입은, 이온 에너지 분포를 시프트시키고, 플라스마 밀도 및 이온 플럭스에 있어서의 전반적인 증가를 제공한다.

[0015] 도 4 는, 도 3b 의 함수 (302) 가 RF 드라이버 (110) 에 의해 공급되는 구동 신호로서 구현되는 HARC 에칭을 제공하는 종래의 방법에서, 웨이퍼 (114) 에서의 플라스마 쉬스 전위 (plasma sheath potential) 를 도시하는 그래프이다. 이 그래프에서, x축은 초 단위의 시간인 반면, y축은 웨이퍼에서의 볼트 단위의 플라스마 쉬스 전위이다. 시간의 함수 (함수 (400)) 로서의 플라스마 쉬스 전위는, RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호에 관한 것이다. 이 예에서, RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호는, 도 3b 에 나타난 바와 같이, 연속적인 저주파부 및 연속적인 고주파부의 중첩을 포함한다. 그러므로, 도 4 에 나타난 바와 같이, 최종 플라스마 쉬스 전위 (함수 (400)) 는 또한, RF 플라스마 쉬스들에 대해 통상적으로 관찰되는 바와 같은 몇몇 왜곡을 갖는, 연속적인 저주파부 및 연속적인 고주파부의 중첩을 포함한다.

- [0016] 종래의 HARC 에칭 공정들은, RF 드라이버 (110) 에 의해 인가되는 바와 같은 연속적인 고주파 신호와 연속적인 저주파 신호의 조합을 이용할 수도 있다. 연속적인 고주파 신호들은, 높은 플라스마 밀도를 생성하여 높은 이온 플렉스를 생성하기 위해 이용된다. 연속적인 저주파 신호들은, 높은 플라스마 쉬스 전위를 생성하여 높은 이온 충격 에너지 (ion bombardment energy) 들을 생성하기 위해 이용된다.
- [0017] 종래의 HARC 에칭 공정들에서, RF 드라이버 (110) 는 제 1 전력에서의 연속적인 고주파부 및 제 2 전력에서의 연속적인 저주파부의 중첩을 포함하는 구동 신호를 ESC (110) 에 제공할 수도 있다 (이들테면, 도 3b 에서의 함수 (302)). 연속적인 고주파부의 전력과 연속적인 저주파부의 전력 사이의 비율을 조정함으로써, 다양한 플라스마 특성들을 조정할 수 있으므로, 플라스마의 에칭 특징들을 조정할 수 있다. 예를 들어, 구동 신호의 연속적인 고주파부의 전력은 상대적으로 크고 구동 신호의 저주파부의 전력은 상대적으로 작다면, 최종 플라스마는, 더 낮은 최대 이온 에너지와 조합하여, 더 높은 플라스마 밀도 및 이온 플렉스를 특징으로 할 것이다. 또한, 구동 신호의 연속적인 고주파부의 전력을 증가시키는 것은 중합 공정을 증가시킬 수도 있고, 이에 의해 더 높은 콘택트-마스크 에칭 선택도로 귀결될 수도 있지만, 에칭 정지로 이어질 수도 있다. 또한, 구동 신호의 연속적인 고주파부에 대한 상대적으로 큰 전력은, 통상적으로, 도 5a 를 참조하여 이하에서 논의되는 바와 같이, 에칭된 홀의 왜곡을 증가시킬 것이다.
- [0018] 도 5a 는 종래의 HARC 에칭 공정으로부터 기인할 수도 있는 웨이퍼 (114) 의 단면을 도시하고 있다. 이 예에서, RF 드라이버 (110) 로부터의 구동 신호는, 연속적인 고주파부 및 연속적인 저주파부를 포함하며, 구동 신호의 연속적인 고주파부의 전력은 상대적으로 크고 구동 신호의 연속적인 저주파부의 전력은 상대적으로 작다. 이 예에서, 구동 신호는 함수 (300) 에 의해 설명된 플라스마 쉬스 전위를 갖는 플라스마를 생성한다.
- [0019] 이 예에서, 에칭 공정 동안, 플라스마 (112) 로부터의 중성종의 입사 플렉스가 존재하는 입사 플라스마 이온들 (208) 은 웨이퍼 (114) 의 표면에 충격을 준다. 이것은 폴리머층 (210) 으로 하여금 노출된 웨이퍼 표면들의 일부에 증착되게 한다. 동시에, 입사 플라스마 이온들 (208) 의 충격은, 마스크되지 않은 영역 (204) 에서의 기판 (202) 의 일부로 하여금 에칭되게 하여, 에칭된 콘택트 홀 (500) 을 형성한다. 에칭된 홀 (500) 은 (h2 로서 지시되는) 홀 높이 (502) 및 (d2 로서 지시되는) 홀 직경 (504) 을 갖는다. 그러므로, 에칭된 홀 (500) 은 h2/d2 의 종횡비를 갖는다. 여기서,  $h2 \gg h1$  이다. 결과적으로, 에칭된 홀 (500) 의 종횡비는, 특히 도 2b 의 에칭된 홀 (212) 의 종횡비보다 더 높다.
- [0020] 그러나, 도 5a 에 나타난 바와 같이, 에칭된 홀 (500) 의 벽들은 완벽하게 수직인 것은 아니며 하부가 일 측으로 비틀려 있다. 정확한 메커니즘이 완전히 이해되지는 않지만, 이 비틀림 효과는 에칭된 홀 (500) 의 벽들 상에 축적된 전하에 의해 설명될 수도 있다. 도 5b 는, 폴리머층 (210) 에서의 이 축적된 전하를 도시하고 있는 에칭된 홀 (500) 의 하부 영역에 대한 확대도를 나타낸다. 포지티브 전하 차 (506) 및 네거티브 전하 차 (508) 의 존재는, 일 측을 향하는 하향 입사 플라스마 이온 (208) 을 반사시키는 기능을 하는 전기장을 발생시킨다. 여기서, 이온 궤적 (510) 은 우측을 향해 만곡되므로, 에칭은 에칭된 홀 (500) 의 하면을 향하는 대신에 우측 표면을 향하여 일어나는 것이 바람직하다. 그러므로, 이 효과는 에칭된 홀 (500) 로 하여금 왜곡되게 하거나 비틀리게 한다.
- [0021] 종래의 HARC 에칭 공정에서, RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호의 연속적인 고주파부의 전력을 감소시킴으로써, 에칭된 콘택트 홀들의 왜곡이 최소화될 수 있다. 그러나, 이 방법은 공정의 중합 특성들을 감소시키므로, 콘택트-마스크 에칭 선택도를 감소시킨다. 또한, 이 방법은 플라스마 밀도 및 이온 플렉스를 감소시키고, 이에 의해 에칭율을 늦춘다.
- [0022] 필요한 것은, 고 스루풋을 위해 높은 콘택트-마스크 선택도 및 고 에칭율을 유지함과 동시에 왜곡을 갖지 않게 하는 가장 우수한 HARC 에칭 공정을 제공하는 시스템 및 방법이다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0023] 본 발명의 목적은 고 스루풋을 위해 높은 콘택트-마스크 선택도 및 고 에칭율을 유지함과 동시에 왜곡을 갖지 않게 하는 우수한 HARC 에칭 공정을 산출하는 시스템 및 방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0024] 본 발명의 양태에 따르면, 가스, 전극부 및 RF 드라이버를 수용하는 공간을 갖는 처리 시스템을 작동하는 방법



이 제공된다. RF 드라이버는 전극부에 구동 신호를 제공할 수 있다. 본 방법은 공간에 가스를 제공하는 단계, 전극부에 구동 신호를 제공하는 단계로서 구동 신호는 제 1 신호 부분 및 제 2 신호 부분에 기초하는 상기 구동 신호를 제공하는 단계, 및 가스로부터 공간에 플라스마를 생성하는 단계를 포함한다. 플라스마는, 플라스마 쉬스 전위를 갖고 구동 신호에 기초하는 플라스마 쉬스 (plasma sheath) 를 갖는다. 시간의 함수로서의 플라스마 쉬스 전위는 제 1 플라스마 쉬스 전위 함수 부분 및 제 2 플라스마 쉬스 전위 함수 부분에 기초한다. 제 1 플라스마 쉬스 전위 함수 부분은 제 1 진폭 및 제 1 주파수를 갖는 연속적인 사인형 부분을 포함한다. 제 2 플라스마 쉬스 전위 함수 부분은 최대 진폭 구간, 및 최소 진폭 구간과 듀티 사이클 (duty cycle) 을 갖는 사인형 부분을 포함한다. 제 1 부는 제 2 주파수, 제 1 지속기간 (duration) 및 제 1 부 진폭을 갖는다. 제 2 부는 제 2 지속기간 및 제 2 부 진폭을 갖는다. 제 1 부 진폭은 제 2 부 진폭보다 크다. 듀티 사이클은 제 1 지속기간과 제 2 지속기간의 합계에 대한 제 1 지속기간의 비율이다. 제 2 플라스마 쉬스 전위 함수 부분의 진폭 변조는 제 1 플라스마 쉬스 전위 함수 부분의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조된다.

[0025] 본 발명의 양태에 따르면, 가스를 수용하도록 배열된 공간 및 공간 내에 전자기장을 생성하도록 동작 가능한 전자기장 생성부를 갖는 처리 시스템을 작동하는 방법이 제공된다. 본 방법은, 공간에 가스를 제공하는 단계, 및 구동 전위에 의해 전자기장 생성부를 작동하여 공간 내에 전자기장을 생성하여 가스의 적어도 일부를 플라스마로 변환하는 단계를 포함한다. 시간의 함수로서의 구동 전위는 제 1 전위 함수 부분 및 제 2 전위 함수 부분에 기초한다. 제 1 전위 함수 부분은 제 1 진폭 및 제 1 주파수를 갖는 제 1 연속 사인형 부분을 포함한다. 제 2 전위 함수 부분은 최대 진폭 구간, 최소 진폭 구간 및 듀티 사이클을 갖는 제 2 사인형 부분을 포함한다. 제 2 사인형 부분은 최소 진폭 구간 동안 보다는 최대 진폭 구간 동안에 더 높은 진폭을 갖는다. 듀티 사이클은 최대 진폭 구간 및 최소 진폭 구간의 합계에 대한 최대 진폭 구간의 비율이다. 제 2 사인형 부분은 제 2 주파수를 추가적으로 갖는다. 제 2 사인형 부분은 제 1 연속 사인형 부분의 제 1 주파수와 동일한 주파수로 진폭-변조된다. 진폭 변조와 제 1 연속 사인형 부분 사이의 상대적인 위상은 제어되며 변경 가능하다.

[0026] 본 발명에 대한 추가적인 목적들, 이점들 및 신규한 특징들은, 이하의 설명에 부분적으로 기재되어 있으며, 이하의 검토시에 당업자에게 부분적으로는 자명할 것이고, 또는 본 발명의 실시예에 의해 습득될 수도 있다. 본 발명의 목적들 및 이점들은 첨부된 청구범위에서 특별히 지시된 수단들 및 조합들에 의해 실현 및 달성될 수도 있다.

## 도면의 간단한 설명

[0027] 명세서에 통합되어 명세서의 일부를 형성하는 첨부 도면은, 본 발명의 원리를 설명하는 기능을 하는 설명과 함께 본 발명의 예시적인 실시형태를 도시하고 있다.

도 1 은 종래의 플라스마 에칭 공정 동안의 종래의 웨이퍼 처리 시스템의 좌측 단면을 나타낸다.

도 2a 는 플라스마가 형성되기 전이어서 웨이퍼 상에서 임의의 재료가 에칭되기 전인, 도 1 에 나타난 바와 같은 웨이퍼의 단면을 나타낸다.

도 2b 는 플라스마가 형성되고 에칭 공정이 시작된 후의 웨이퍼의 단면을 나타낸다.

도 3a 는 RF 드라이버에 의해 제공되는 신호들을 시간의 함수로서 표현하는 그래프이다.

도 3b 는 RF 드라이버에 의해 제공되는 신호들을 시간의 함수로서 표현하는 다른 그래프이다.

도 3c 는 도 3a 에 도시된 신호의 이온 플럭스를 이온 에너지의 함수로서 표현하는 그래프이다.

도 3d 는 도 3b 에 도시된 신호의 이온 플럭스를 이온 에너지의 함수로서 표현하는 그래프이다.

도 4 는 HARC 에칭을 제공하는 종래의 방법에서의 웨이퍼에서의 플라스마 쉬스 전위를 나타내는 그래프이다.

도 5a 는 종래의 HARC 에칭 공정으로부터 기인할 수도 있는 웨이퍼의 단면을 나타낸다.

도 5b 는 도 5a 의 에칭된 콘택트 홀의 하부 영역에 대한 확대도로서, 폴리머층에서의 이 축적된 전하를 나타낸다.

도 6 은 본 발명의 양태에 따라 HARC 에칭을 제공하는 예시적인 방법에서의 웨이퍼에서의 플라스마 쉬스 전위를 나타내는 그래프이다.

도 7a 는 RF 드라이버에 의해 제공되는 신호들을 시간의 함수로서 표현하는 그래프이다.

도 7b 는 본 발명의 양태에 따라 RF 드라이버에 의해 제공되는 신호들을 시간의 함수로서 표현하는 다른 그래프이다.

도 7c 는 도 7a 에 도시된 신호의 이온 플럭스를 이온 에너지의 함수로서 표현하는 그래프이다.

도 7d 는 도 7b 에 도시된 신호의 이온 플럭스를 이온 에너지의 함수로서 표현하는 그래프이다.

도 8 은 본 발명의 양태에 따라 예시적인 HARC 에칭 공정 후의 웨이퍼의 단면을 나타낸다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명의 양태에 따르면, 본 발명은, 고 스루풋을 위해 고 에칭율을 유지하면서 콘택트 홀 왜곡 없이 가장 우수한 HARC 에칭을 위한 시스템 및 방법을 제공한다. 보다 구체적으로, 본 발명의 양태에 따르면, 전자기장을 이용하여 가스에 영향을 미치는 것에 의해 플라스마를 생성하도록 동작 가능한 처리 시스템이, 저주파수 사인형 부분 (sinusoidal portion) 및 고주파수 사인형 부분에 기초하여 시간의 함수로서의 파라미터를 제어하는 특정 방식으로 동작된다. 고주파수 사인형 부분은 저주파수 사인형 부분의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조된다. 또한, 고주파수 사인형 부분은 높은 진폭 구간과 낮은 진폭 구간을 포함한다. 고주파수 사인형 부분의 듀티 사이클의 지속기간은, 높은 진폭 구간의 지속기간과 낮은 진폭 구간의 지속기간의 합계에 대한 높은 진폭 구간의 지속기간의 비율이다. 고주파수 사인형 부분의 높은 진폭 구간의 진폭; 고주파수 사인형 부분의 낮은 진폭 구간의 진폭; 고주파수 사인형 부분의 듀티 사이클의 지속기간; 및 고주파수 사인형 부분 및 저주파수 사인형 부분 사이의 상대적 위상 중 어느 하나를 조정함으로써, 처리 시스템의 처리 특징들이 정확히 제어될 수도 있다.

[0029] 예시적인 실시형태들에서, 시간의 함수로서의 파라미터는 저주파수 사인형 부분 및 고주파수 사인형 부분에 기초한 플라스마 쉬스 전위이다. 이들 예시적인 실시형태들에서, 시간의 함수로서의 플라스마 쉬스 전위의 고주파수 사인형 부분은 최대 진폭 구간, 최소 진폭 구간 및 듀티 사이클을 가지며, 시간의 함수로서의 플라스마 쉬스 전위는 최소 진폭 구간 동안 보다는 최대 진폭 구간 동안에 더 높은 진폭을 가지며, 듀티 사이클은 최대 진폭 구간과 최소 진폭 구간의 합계에 대한 최대 진폭 구간의 비율이다. 또한, 몇몇 예시적인 실시형태들에서, 고주파수 사인형 부분의 최대 진폭 구간이 저주파수 사인형 부분의 사이클의 최대 진폭에서 또는 그 최대 진폭의 근방에서 일어나도록, 그리고 고주파수 사인형 부분의 최소 진폭 구간이 저주파수 사인형 부분의 사이클의 최소 진폭에서 또는 그 최소 진폭의 근방에서 일어나도록, 시간의 함수로서의 플라스마 쉬스 전위의 고주파수 사인형 부분은 저주파수 사인형 부분의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조된다.

[0030] 다른 예시적인 실시형태들에서, 시간의 함수로서의 파라미터는 저주파수 사인형 부분 및 고주파수 사인형 부분에 기초한 구동 신호이다. 이들 예시적인 실시형태들에서, 고주파수 사인형 부분의 최대 진폭 구간이 저주파수 사인형 부분의 사이클의 최소 진폭에서 또는 그 최소 진폭의 근방에서 일어나도록, 그리고 고주파수 사인형 부분의 최소 진폭 구간이 저주파수 사인형 부분의 사이클의 최대 진폭에서 또는 그 최대 진폭의 근방에서 일어나도록, 구동 신호는, 저주파수 사인형 부분의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조되는 저주파수 사인형 부분 및 고주파수 사인형 부분의 측면에서 설명될 수도 있다.

[0031] 이제, 본 발명의 양태에 따른 예시적인 실시형태에 대해, 도 6 내지 도 8 을 참조하여 설명하기로 한다.

[0032] 도 6 은 본 발명의 양태에 따른 HARC 에칭을 제공하는 예시적인 방법에서 웨이퍼 (114) 에서의 플라스마 쉬스 전위를 나타내는 그래프이다. 이 그래프에서, x축은 시간인 반면, y축은 웨이퍼 표면에서의 볼트 단위의 플라스마 쉬스 전위이다. 시간의 함수 (함수 (600)) 로서의 플라스마 쉬스 전위는 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호에 관한 것이다. 이 예에서, RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호는 최종 플라스마 쉬스 전위 (함수 (600)) 가 연속적인 저주파부 (602) 와 고주파부 (604) 에 기초하도록 제공된다. 예시적인 실시형태들에서, 연속적인 저주파부 (602) 는 고주파부 (604) 의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조된다.

[0033] 연속적인 저주파부 (602) 는 주파수 및 진폭을 갖는다. 고주파부 (604) 는 최소 진폭 구간 및 최대 진폭 구간을 포함한다. 이 예에서, 고주파부 (604) 의 최소 진폭 구간은 0 (zero) 진폭을 가지며, 고주파부 (604) 는 "오프 (OFF)" 인 것으로 간주된다. 이 예에서, 고주파부 (604) 의 최대 진폭 구간은 연속적인 저주파부 (602) 의 진폭보다 작은 진폭을 갖는다. 최대 진폭 구간에서, 고주파부 (604) 는 "온 (ON)" 인 것으로 간주된다. 이와 같이, 고주파부 (604) 의 듀티 사이클은 최대 진폭 구간과 최소 진폭 구간의 합계에 대한 최대

진폭 구간의 비율이다.

[0034] 도면에 나타난 바와 같이, 고주파부 (604) 는 특정의 시간 기간 동안 단지 "온" 이다. 이 예에서, 저주파부 (602) 의 매 사이클마다, 온 기간 (606) 및 오프 기간 (608) 이 존재한다. 온 기간의 길이는  $t_{ON}$  로 지시되고, 오프 기간의 길이는  $t_{OFF}$  로 지시된다. 그러므로, 저주파부 (602) 의 사이클 또는 기간의 총 길이는,  $TLF = t_{ON} + t_{OFF}$  로 지시될 수 있다. 고주파부 (604) 가 그 사이클의 총 길이의 시간에 대해 온 상태에 있는 시간의 비율은 듀티 사이클로 지칭된다. 따라서, 듀티 사이클 (D) 은  $t_{ON}/TLF$ , 또는  $t_{ON}/(t_{ON} + t_{OFF})$  로 정의될 수도 있다.

[0035] 저주파부 (602) 에 대응하는 플라즈마 쉬스는 높은 플라즈마 쉬스 전위를 가지며, 높은 충격 에너지들을 제공하는다. 따라서, 도 6 에 나타난 바와 같이, 저주파부 (602) 는 고주파부 (604) 의 진폭보다 훨씬 더 큰, 매우 큰 진폭을 갖는다. 주어진 전극 갭에 있어서, 즉, 도 1 의 상부 전극 (104) 과 ESC (106) 사이의 거리, 그리고 주어진 가스 압력에 있어서, 플라즈마는 다른 요인들 중에서 2차 전자 방출에 의해 유지되도록, 저주파부 (602) 에 대응하는 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호가 선택된다. 2차 전자 방출은 입사하는 입자 (이들테면, 이온) 가 충분한 에너지를 갖는 재료에 충돌하는 경우에 재료의 표면으로부터 추가적인 전자들 (2차 전자들로 지칭됨) 이 방출되는 현상이다. 일단 이들 2차 전자들이 방출되면, 플라즈마로 되돌아 가속되어 플라즈마에서의 분자들을 이온화하는 기능을 한다.

[0036] 일 예시적인 실시형태에서, 저주파 쉬스 전위가 그 오실레이션에 있어서 최소치에 도달하고 고주파수가 "오프" 인 시간들 동안에는, 플라즈마 쉬스 전위는 매우 작으며, 웨이퍼 표면에 전위 장벽이 거의 존재하지 않는다. 이 상황에서, 플라즈마에 국한된 전자들은, 이제, 웨이퍼 표면으로 도피할 수도 있다. 이것은, 플라즈마 쉬스 전위가 큰 동안에는 빌드업될 수도 있었던 임의의 포지티브 전하들을 효과적으로 중화시킬 수도 있다. 따라서, 예를 들어 도 5a 및 도 5b 를 참조하여 전술한 바와 같이, 이러한 전하들에 대한 중화는 종래의 방법에서의 콘택트 홀 왜곡의 가능 원인 중 하나인 대전 효과 (charging effect) 를 회피하는 데 도움을 준다. 이 중화는, 고주파수가 변조되지 않는 종래의 경우에서보다 더 효율적일 수도 있다. 그러나, 제 1 신호와 제 2 신호에 기초한 RF 드라이버 (110), 또는 제 1 신호와 제 2 신호에 기초한 플라즈마 쉬스 전위를 생성하는 방식에 의해 제공되는 신호는, 본 발명에 따라, 다른 이유들을 위해 제공될 수도 있다.

[0037] 저주파수 및 고주파수 양방 모두가 변조 없이 연속적으로 공급되는 종래의 경우에, 고주파수의 효과는 몇몇 이익들을 갖는다. 플라즈마는 더 높은 밀도를 가지며, 더 높은 이온 플럭스 및 더 많은 중합을 제공하며, 더 빠른 에칭을 및 더 우수한 콘택트-마스크 에칭 선택도로 귀결되는 것으로 기대된다. 그러나, 고주파수 쉬스 컴포넌트의 연속적인 존재는, 이온들에 대한 상당한 플럭스가 매우 낮은 에너지에 있는 웨이퍼 표면에 도달하지 않도록, 플라즈마 쉬스의 완전한 붕괴 (collapse) 를 방지할 수도 있으며, (도 3d 에 항목 310 으로서 도시된 바와 같이) 웨이퍼에 도달하는 이온들의 이온 에너지 분포 함수에 대한 하한치로 귀결될 수도 있다. 이것은 매우 낮은 에너지 이온들의 유리한 효과들을 막을 수도 있다. 이와 달리, 고주파수 구동 함수는 사용되지 않고 저주파수 구동 함수만이 공급되는 종래의 경우를 고려하면, 전술한 바와 같이, 2차 전자 방출은 우선적으로 플라즈마를 유지하는 것이다. 웨이퍼에서의 플라즈마 쉬스 전위가 어떤 임계치 아래의 지점까지 감소됨에 따라, 플라즈마 쉬스는 "붕괴" 하기 시작한다. 플라즈마 쉬스 전위가 0 에 도달함에 따라, 이온은 매우 낮은 에너지들에 있는 웨이퍼 표면에 도달하고, 콘택트 홀 벽들의 표면들 상에서의 네거티브 전하 빌드업의 영역으로 이끌릴 수도 있다. 이것은, 증착된 폴리머층들 또는 기존의 유전체막들에서의 전하가 중화될 수 있게 하고, 이에 의해 에칭된 홀들의 왜곡을 발생시키는 대전 효과를 회피할 수 있게 한다. 이것은 저주파수 유일 체제의 유익을 조성한다. 그러나, 저주파수 유일 체제는, 통상적으로, 상대적으로 낮은 이온 플럭스 및 낮은 중합으로 인해 불리하며, 낮은 에칭율 및 콘택트-마스크 선택도를 초래한다. 따라서, 본 발명에 따른 양태들은, 파라미터들의 적합한 조합을 이용하여 적용될 때, 저주파수만일 경우의 전하-중화 이익들 및 고주파수일 경우의 고 에칭율, 높은 콘택트-마스크 선택도 이익들을 조합할 수도 있다.

[0038] "온" 기간 (606) 동안의 플라즈마는 높은 밀도를 가지며, 더 높은 이온 플럭스와 더 많은 중합을 제공하며, 이에 의해 더 빠른 에칭을 및 더 우수한 콘택트-마스크 에칭 선택도로 귀결되는 것으로 기대된다. 도 6 에 나타난 바와 같이, 온 기간 (606) 동안, 고주파부 (604) 의 진폭은 저주파부 (602) 의 진폭보다 훨씬 더 작다. 고주파부 (604) 에 대응하는 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호는, 웨이퍼에서의 플라즈마 쉬스 전위가 온 기간 (606) 동안에 충분한 RF 사이클들을 갖는 방식으로 선택되어, 플라즈마에서의 전자들에게 RF 전력을 전송하기 충분한 시간이 제공되고 플라즈마 밀도가 증가된다.

[0039] 요약하면, 온 기간 (606) 동안, 고주파부 (604) 는 온이므로, 플라즈마는 더 높은 플라즈마 밀도 및 더 높은 이

온 플렉스를 나타낸다. 따라서, 이 기간 동안, 에칭율은 더 빨라진다. 또한, 높은 플라스마 쉬스 전위로 인해, 이온 충격 에너지들은 매우 높다. 그 후, 오프 기간 (608) 이 시작함에 따라, RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호는 턴오프된 고주파부 (604) 에 대응한다. 이제 웨이퍼에서의 플라스마 쉬스 전위에는 저주파부 (602) 만이 존재하므로, 이온 플렉스는 더 낮으며, 에칭율은 더 느려진다. 그러나, 온 기간들에서 고주파수에 의해 생성된 더 높은 중합은 오프 기간 동안 어느 정도 지속되고, 이것은 더 우수한 콘택트-마스크 에칭 선택도로 귀결된다.

[0040] 이와 같이, 본 발명의 양태에 따라, RF 드라이버 (110) 로 하여금, 연속적인 저주파부 (602) 및 고주파부 (604) 에 기초한 플라스마 쉬스 전위로 귀결되는 신호를 제공할 수 있게 함으로써, (온 기간 (606) 의 효과들에 기여하는) 빠른 에칭율 및 우수한 선택도를 획득할 수 있는 한편, 또한 (오프 기간 (608) 의 효과들에 기여하는) 왜곡을 야기할 수도 있는 피쳐 대전량 (feature charge-up) 을 감소시킬 수도 있다.

[0041] 본 발명에 따라, 제 1 신호와 제 2 신호에 기초한 RF 드라이버 (110), 또는 제 1 신호와 제 2 신호에 기초한 플라스마 쉬스 전위를 생성하는 방식에 의해 제공되는 신호의 이익들의 증거를 제공하는 다른 메커니즘이 존재할 수도 있음에 유의해야 한다. 하나의 비한정적인 예시적인 메커니즘은 오프 기간 (608) 동안의 전자 가열은 온 기간 (606) 동안의 전자 가열과는 상당히 다르기 때문에, 온 기간 (606) 동안의 플라스마 화학물질이 오프 기간 (608) 동안의 플라스마 화학물질과는 다르다는 것이다. 따라서, 본 발명의 양태에 따르면, 제 1 신호와 제 2 신호에 기초한 RF 드라이버 (110) 에 의해서 제공된 신호, 또는 제 1 신호와 제 2 신호에 기초한 플라스마 쉬스 전위를 생성하는 방식이, 듀얼 주파수 구동 신호 조건의 높은 이온 플렉스와 함께, 저주파수 (유일) 구동 신호 조건에 근접하는 플라스마 화학물질을 획득하는 데 사용될 수도 있다.

[0042] 전술한 예에서, 도 6 을 참조하면, 고주파부 (604) 의 듀티 사이클은 1/2보다 작다. 보다 구체적으로, 고주파부 (604) 의 듀티 사이클이 대략 28% 가 되도록, 온 기간 (606) 은 135ns 인 반면, 오프 기간 (608) 은 대략 340ns이다. 다른 실시형태들에서, 고주파부 (604) 의 듀티 사이클은 1/2과 동일하거나 더 클 수도 있다. 듀티 사이클은, 요청된 에칭 파라미터들을 획득하도록 선택될 수도 있다. 예를 들어, 증가된 듀티 사이클은 더 빠른 에칭율을 제공할 수도 있다. 그러나, 증가된 듀티 사이클은 증착된 폴리머층들에서의 중화를 추가적으로 감소시켜서 왜곡을 촉진할 수도 있다. 그러므로, 선택된 듀티 사이클은 에칭율을 최적화하고 왜곡을 최소화할 수도 있다.

[0043] 도 6 을 참조하여 전술한 예에서, 시간의 함수로서의 플라스마 쉬스 전위는 RF 드라이버 (110) 에 의해 ESC (106) 에 제공된 RF 구동 신호의 특정 유형의 결과이다. 그 후, 이 유형의 RF 구동 신호는 도 7a 내지 도 7d 를 참조하여 이하에서 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0044] 도 7a 및 도 7b 는 시간의 함수로서의 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 신호들을 표현하는 그래프들이다. 도 7c 및 도 7d 는 도 7a 및 도 7b 에 도시된 신호들의 예측된 이온 플렉스를 이온 에너지의 함수로서 각각 표현하는 각각의 그래프이다.

[0045] 도 7a 는 저주파부 및 고주파부를 포함하는 구동 신호인 함수 (700) 를 포함한다. 함수 (700) 의 고주파부는, 온 부 (702) 는 저주파부의 최대 전위들에서 발생하는 반면 오프 부 (704) 는 저주파부의 최소 전위들에서 발생하도록, 저주파부의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조되는 "온" 부 (702) 및 "오프" 부 (704) 를 포함한다.

[0046] 도 7b 는 저주파부와 고주파부를 포함하는 구동 신호이기도 한 함수 (706) 를 포함한다. 함수 (706) 의 고주파부는, 온 부 (708) 는 저주파부의 최소 전위들에서 발생하는 반면 오프 부 (710) 는 저주파부의 최대 전위들에서 발생하도록, 저주파부의 고조파와 동일한 주파수에서 진폭-변조되는 "온" 부 (708) 및 "오프" 부 (710) 를 갖는다.

[0047] 도 7c 는, 도 7a 에서의 함수 (700) 을 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 구동 신호로서 이용하는 것으로부터 기인하는 이온 에너지의 함수로서의 예측된 이온 플렉스를 도시하는 함수 (712) 를 포함한다. 도 7c 에 도시된 바와 같이, 함수 (712) 는 더 낮은 이온 에너지들에 대한 제 1 피크 (714) 및 더 높은 이온 에너지들에 대한 제 2 피크 (716) 를 나타낸다. 도면에 도시된 바와 같이, 제 1 피크 (714) 는 제 2 피크 (716) 보다 훨씬 더 크다. 제 1 피크 (714) 로 표현되는 더 낮은 이온 에너지들은 공정 결과들에 특정 영향을 미칠 것인 반면, 더 작은 제 2 피크 (716) 로 표현되는 더 높은 이온 에너지들은 공정 결과들에 상이한 영향을 미칠 것이다. 본 발명에 따르면, 공정 결과들은 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 구동 신호의 제어를 통해 각 효과의 양을 제어함으로써 보다 정확하게 제어될 수도 있다.



- [0048] (저주파수 유일 구동 신호에 대응하는) 도 3c 의 함수 (304) 는 도 7c 에서 참조를 위해 점선으로서 나타낸다. 도 7c 에서, 제 1 피크 (714) 는 함수 (304) 의 제 1 피크 (306) 로부터 더 높은 이온 에너지로 시프트된다. 또한, 제 2 피크 (716) 는 함수 (304) 의 제 2 피크 (308) 로부터 더 낮은 이온 에너지로 시프트되는 것은 명확하다. 또한, 제 1 피크 (714) 의 이온 에너지에 대응하는 이온 플럭스의 양은 제 1 피크 (306) 의 이온 에너지에 대응하는 이온 플럭스의 양보다 크다는 점에 유의한다. 그러므로, 함수 (700) 를 구동 신호로서 사용하는 것은, 함수 (300) 를 구동 신호로서 사용하는 것에 비해, 플라스마 밀도 및 이온 플럭스에 있어서의 전반적인 증가를 제공할 것이다.
- [0049] 도 7d 는, RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 구동 신호로서 도 7b 의 함수 (706) 를 구현하는 것으로부터 기인할 수도 있는 예측된 이온 에너지 분포를 도시하고 있는 함수 (718) 를 포함한다. 함수 (304) 는 도 7d 에서 참조를 위해 점선으로서 나타낸다.
- [0050] 도면에 나타난 바와 같이, 함수 (718) 는 더 낮은 이온 에너지들에 대한 제 1 피크 (720) 및 더 높은 이온 에너지들에 대한 제 2 피크 (722) 를 포함한다. 더 큰 제 1 피크 (720) 로 표현되는 바와 같은 더 낮은 이온 에너지들은 공정 결과들에 특정 영향을 미칠 것인 반면, 더 작은 제 2 피크 (722) 로 표현되는 더 높은 이온 에너지들은 공정 결과들에 상이한 영향을 미칠 것이다. 본 발명에 따르면, 공정 결과들은 RF 드라이버 (110) 에 의해 제공되는 구동 신호의 제어를 통해 각 효과의 양을 제어함으로써 보다 정확하게 제어될 수도 있다.
- [0051] 제 1 피크 (720) 는 제 1 피크 (306) 의 이온 에너지와는 상이한 이온 에너지로 크게는 시프트되지 않는다. 제 2 피크 (722) 는 제 2 피크 (308) 의 이온 에너지로부터 더 낮은 이온 에너지로 시프트된다.
- [0052] 도 3d 및 도 7c 를 참조하여 전술한 상황들과 유사하게, 제 1 피크 (720) 의 이온 플럭스의 양은, 피크 (306) 의 이온 플럭스의 양보다 훨씬 더 크며, 플라스마 밀도에 있어서의 증가를 나타낸다. 그러나, 도 3d 및 도 7c 를 참조하여 전술한 상황들과는 상이하게, 제 1 피크 (720) 의 이온 플럭스는 함수 (304) 의 제 1 피크 (306) 의 이온 에너지와는 상이한 이온 에너지로 크게는 시프트되지 않는다. 함수 (706) 에 도시된 바와 같이, 본 발명의 양태에 따른 구동 신호는 플라스마 밀도 및 이온 플럭스에 있어서의 전반적인 증가를 제공하며, 동시에, 낮은 에너지 이온들의 존재를 유지한다. 이 이온 에너지 분포는, 연속적인 멀티-주파수 여기들을 조합함으로써 달성될 수 없으며, 본 발명의 고유한 결과이다. 이것은, HARC 에칭 공정들에 있어서 유리할 수도 있는바, 왜냐하면 낮은 에너지의 이온들의 존재는 트렌치 측벽들에서의 빌드업 전하를 방전하는 데 도움을 줌으로써 대전 효과를 감소시키는 데 도움을 줄 수도 있는 한편, 변조된 고주파수 신호에 의해 도입된 더 높은 이온 플럭스 및 더 중합성의 화학 물질은 에칭율 및 콘택트-마스크 선택도를 향상시키는 경향이 있을 것이기 때문이다.
- [0053] 그러므로, 본 발명의 양태에 따른 예시적인 실시형태는, 도 6 의 함수 (600) 의 형식을 갖는 플라스마 쉬스 전위가 획득될 수 있도록, 도 7b 의 함수 (706) 의 형식으로 RF 구동 신호를 구현하는 것이다. 전위들이 계속되는 방식으로 인해, 도 6 의 함수 (600) 와 연관된 최종 플라스마 쉬스 전위는 도 7b 의 함수 (706) 과 연관된 구동 신호의 전위에 비해 반대의 극성으로 되는 것에 유의한다.
- [0054] 도 6 및 도 7 을 참조하여 전술한 실시형태는, 도 1 의 웨이퍼 처리 시스템을 참조하여 추가적으로 논의된다. 그러나, 본 발명의 양태가 도 1 의 웨이퍼 처리 시스템에 한정되는 것은 아님에 유의해야 한다. 반대로, 본 발명의 양태가 전자기장을 통해 플라스마를 생성하도록 동작 가능한 임의의 웨이퍼 처리 시스템으로 사용될 수도 있다. 이것은, 용량성으로 커플링된 또는 유도성으로 커플링된 플라스마 처리 시스템들을 포함하지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 이 점에서, 플라스마를 생성하기 위해 전자기장을 인가하는 임의의 공지된 방법이 본 발명에 따라 이용될 수도 있다. 도 1 을 참조하여 전술한 예에서, 구동 신호는 단일의 전극부에 인가된다. 다른 실시형태들에서는, 복수의 활성화된 전극들이, 가스를 수용하도록 배열되는 플라스마 형성 공간 주변에 배치될 수도 있다. 이들 실시형태에서는, 가스로부터 플라스마를 생성하여 본 발명에 따른 플라스마 쉬스 전위를 획득하기 위해, 구동 신호들이 복수의 전극들에 제공되어 플라스마 형성 공간 내에 전자기장을 형성할 수도 있다.
- [0055] 도 6 및 도 7d 를 참조하여 전술한 실시형태에서, 최종 플라스마 쉬스 전위 (함수 (600)) 는 2개의 부분들, 즉, 연속적인 저주파부 (602) 및 고주파부 (604) 에 기초한다. 그러나, 다른 실시형태들은 2개보다 많은 부분들, 예컨대, 연속적인 저주파부 및 복수의 비연속적인 고주파부들에 기초한 최종 플라스마 쉬스 전위를 갖는 플라스마의 생성을 포함할 수도 있음에 유의해야 한다.
- [0056] 도 6 및 도 7 을 참조하여 전술한 실시형태에서, 연속적인 저주파부 (602) 는, 저주파부 (602) 의 최대 진폭 구

간들 주위에서 온 기간 (606) 이 중심에 오도록, 고주파부 (604) 의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조된다.

그러나, 다른 실시형태들에서는, 온 기간 (606) 이 저주파부 (602) 의 최대 진폭 구간들로부터 그 중심이 벗어나게 (off-center) 배치되도록, 연속적인 저주파부 (602) 는 고주파부 (604) 의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조될 수도 있다. 저주파부 (602) 의 최대 진폭 구간들의 중심에 대한 온 기간 (606) 의 특정 배치는, 원하는 대로 수정된 에칭 특성들을 제공할 것이다.

[0057] 이제, 본 발명의 양태의 이점에 대해, 도 8 을 참조하여 추가적으로 설명하기로 한다.

[0058] 도 8 은 본 발명의 양태에 따른 예시적인 HARC 에칭 공정 후의 웨이퍼 (114) 의 단면을 도시하고 있다.

[0059] 도면에 도시된 바와 같이, 입사 플라스마 이온들 (208) 은 웨이퍼 (114) 의 표면을 충격하고, 마스크되지 않은 영역 (204) 에서의 기판 (200) 의 일부를 에칭하여, 에칭된 홀 (800) 을 형성한다. 동시에, 중성종을 중합하는 입사 플렉스를 갖는 입사 플라스마 이온들 (208) 은 폴리머층 (210) 을 형성한다. 에칭된 홀 (800) 은  $h_3$  으로 지시된) 홀 높이 (802) 및  $d_3$  으로 지시된) 홀 직경을 갖는다. 그러므로, 에칭된 홀 (800) 은  $h_3/d_3$  의 종횡비를 갖는다. 여기서, 도 2b 를 참조하여 전술한 종래의 방법에 비해,  $h_3 \gg h_1$  이다. 결과적으로, 에칭된 홀 (800) 의 종횡비는 도 2b 의 에칭된 홀 (212) 의 종횡비보다 특히 더 높다.

[0060] 도 8 에 나타난 바와 같이, 이온 궤적 (806) 은 완전히 수직이고, 에칭된 홀 (800) 의 측벽들은 직선형이며, 왜곡 또는 비틀림을 나타나지 않는다. 이것은, 도 6 에 도시된 바와 같은 오프 기간들 동안에 폴리머층 (210) 에서의 전하들이 중화되어, 상당한 전하들이 폴리머층 (210) 에 축적하는 것을 방지하기 때문이다. 최소의 대전 효과가 존재하므로, 이온 궤적 (806) 을 편향시키는 전기장이 존재하지 않고, 이에 의해, 에칭된 홀 (800) 이 최소의 왜곡 또는 비틀림으로 형성될 수 있다.

[0061] 본 발명의 양태에 따르면, 왜곡 없이 고 에칭율 및 고 선택도를 갖는 가장 우수한 HARC 에칭 결과들을 제공하기 위해 웨이퍼 처리 시스템에 RF 파형들의 배열이 적용된다. 적용된 RF 신호 및 이에 따른 웨이퍼에서의 플라스마 쉬스 전위는 연속적인 저주파부 및 고주파부를 포함한다. RF 신호의 고주파부는 저주파수 사이클의 저전압 부분 동안에만 최대 진폭을 가지며, 모든 다른 시간들 동안에는 최소 진폭을 갖는다 (또는 턴-오프된다). 그러므로, 웨이퍼에서의 최종 플라스마 쉬스 전위는 저주파수 사이클의 고전압 부분 동안 (온 기간)에만 최대 진폭을 가지며 모든 다른 시간들 (오프 기간)에서는 최소 진폭을 갖는 고주파부를 포함한다. 따라서, 온 기간들 동안의 플라스마는 높은 플라스마 밀도 및 높은 이온 에너지를 나타내는 한편, 오프 기간들 동안의 플라스마는 펄스화된 DC 방전처럼 거동한다. 온 기간의 시간-평균화된 효과는 플라스마 화학 구조를 시프트시켜서 더 중합하므로, 우수한 선택도에 기여한다. 이 방식으로, 온 기간들은 빠른 에칭율 및 우수한 콘택트-마스크 선택도를 제공하는 한편, 오프 기간들은 콘택트 홀 측벽들에서의 전하 빌드업을 중화시키는 시간을 제공하고, 이에 의해 왜곡을 감소시킨다.

[0062] 전술한 바와 같이, 본 발명의 양태에 따르면, 전자기장을 이용하여 가스에 영향을 미치는 방식에 의해 플라스마를 생성하도록 동작 가능한 처리 시스템이 특정 방식으로 동작된다. 이 특정 방식은 저주파수 사인형 부분 및 고주파수 사인형 부분에 기초한 시간의 함수로서의 파라미터를 제어한다. 고주파수 사인형 부분은 저주파수 사인형 부분의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조된다.

[0063] 몇몇 실시형태들에서, 처리 시스템이 동작되는 특정 방식은, 고주파수 사인형 부분 및 저주파수 사인형 부분 사이의 위상을 조정하도록 유도되어, 처리 시스템 내에서 처리를 조정한다. 몇몇 실시형태들에서, 파라미터는 플라스마 쉬스 전위로 유도되는 반면, 다른 실시형태들에서는 파라미터가 구동 신호로 유도된다.

[0064] 또한, 본 발명의 양태에 따르면, 고주파수 사인형 부분은 높은 진폭 구간 및 낮은 진폭 구간을 포함한다. 몇몇 실시형태들에서, 처리 시스템이 동작되는 특정 방식은 높은 진폭 구간의 진폭 및 낮은 진폭 구간의 진폭 중 적어도 하나를 조정하도록 유도되어, 처리 시스템 내에서 처리를 조정한다. 몇몇 실시형태들에서, 파라미터는 플라스마 쉬스 전위로 유도되는 한편, 다른 실시형태들에서는 파라미터는 구동 신호로 유도된다.

[0065] 또한, 본 발명의 양태에 따르면, 고주파수 사인형 부분의 듀티 사이클의 지속기간은 높은 진폭 구간의 지속기간 및 낮은 진폭 구간의 지속기간의 합계에 대한 높은 진폭 구간의 지속기간의 비율이다. 몇몇 실시형태들에서, 처리 시스템이 동작되는 특정 방식은 고주파수 사인형 부분의 듀티 사이클의 지속기간을 조정하도록 유도되어, 처리 시스템 내에서의 처리를 조정한다. 몇몇 실시형태들에서, 파라미터는 플라스마 쉬스 전위로 유도되는 한편, 다른 실시형태들에서는 파라미터는 구동 신호로 유도된다.

[0066] 전술한 바와 같이, 본 발명의 양태는, 시간의 함수로서의 플라스마 쉬스 전위의 고주파수 사인형 부분이 저주파수 사인형 부분의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조되는 것이 유도된다. 전술한 예들 중 몇몇에서는, 시

간의 함수로서의 플라즈마 쉬스 전위의 고주파수 사인형 부분이 저주파수 사인형 부분의 1차 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조된다. 특정 예에서, 1차 고조파에서의 상대적인 위상차는, 저주파수 사인형 부분의 사이클의 최대 진폭에서 또는 그 최대 진폭의 근방에서의 고주파수 사인형 부분의 최대 진폭 구간, 및 저주파수 사인형 부분의 사이클의 최소 진폭에서 또는 그 최소 진폭의 근방에서의 고주파수 사인형 부분의 최소 진폭 구간을 제공한다. 다른 예들에서, 시간의 함수로서의 플라즈마 쉬스 전위의 고주파수 사인형 부분은, 저주파수 사인형 부분의  $n$ 차 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조되며, 여기서  $n$ 은 정수이다. 이러한 예들에서,  $n$ 개의 고주파수 사인형 부분들은 저주파수 사인형의 상이한 부분에서 일어날 수도 있다.

[0067] 전술한 바와 같이, 본 발명의 양태는 시간의 함수로서의 구동 신호의 고주파수 사인형 부분이 저주파수 사인형 부분의 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조되도록 유도된다. 전술한 예들 중 몇몇에서, 시간 함수로서의 구동 신호의 고주파수 사인형 부분은 저주파수 사인형 부분의 1차 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조된다. 특정 예에서, 1차 고조파에서의 상대적인 위상차는, 저주파수 사인형 부분의 사이클의 최소 진폭에서 또는 그 최소 진폭의 근방에서의 고주파수 사인형 부분의 최대 진폭 구간, 및 저주파수 사인형 부분의 사이클의 최대 진폭에서 또는 그 최대 진폭의 근방에서의 고주파수 사인형 부분의 최대 진폭 구간을 제공한다. 다른 예들에서, 시간의 함수로서의 플라즈마 쉬스 전위의 고주파수 사인형 부분은 저주파수 사인형 부분의  $n$ 차 고조파와 동일한 주파수로 진폭-변조되며, 여기서  $n$ 은 정수이다. 이러한 예들에서,  $n$ 개의 주파수 사인형 부분들은 저주파수 사인형 부분의 상이한 부분들에서 일어날 수도 있다.

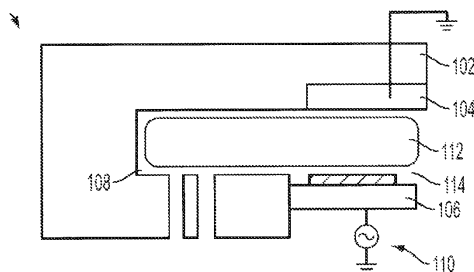
[0068] 전술한 예시적인 실시형태들은 예칭으로 유도된다. 그러나, 본 발명의 양태들은 예칭에 한정되는 것은 아니에 유의해야 한다. 반대로, 본 발명의 양태들은, 임의의 공정, 증착, 주입, 자동-세정 등을 포함하는 비한정적인 예들을 위해 인가된 전자기장을 통해 플라즈마를 생성하도록 동작 가능한 임의의 웨이퍼 처리 시스템으로 이용될 수도 있다.

[0069] 고주파수 사인형 부분의 높은 진폭 구간의 진폭; 고주파수 사인형 부분의 낮은 진폭 구간의 진폭; 고주파수 사인형 부분의 듀티 사이클의 지속기간; 고주파수 사인형 부분 및 저주파수 사인곡선부 사이의 위상; 및 고주파수 사인형 부분의 진폭 변조 고조파 중 어느 하나를 조정함으로써, 처리 시스템의 처리 특징들은 정확히 제어될 수도 있다.

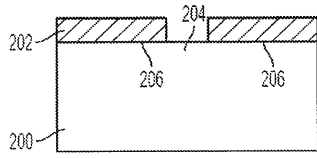
[0070] 본 발명의 각종 바람직한 실시형태들에 대한 상기 설명은 도시 및 설명의 목적으로 제시되었다. 본 발명을 정확히 그 형태들로 한정하거나 망라하는 것으로 의도된 것은 아니며, 상기 교시를 고려하여 많은 변형예들 및 수정예들이 명백히 가능하다. 예시적인 실시형태들은, 전술한 바와 같이 본 발명의 원리들 및 그 실제의 애플리케이션을 가장 양호하게 설명하기 위해 선택되고 설명되었고, 이에 의해 당업자가 각종 실시형태들에서 그 리고 예상되는 특정 사용에 적합한 바와 같은 각종 변형예들에 의해 본 발명을 활용할 수 있게 한다. 본 발명의 범위는 이하에 첨부된 청구범위에 의해 정의되는 것으로 의도된다.

## 도면

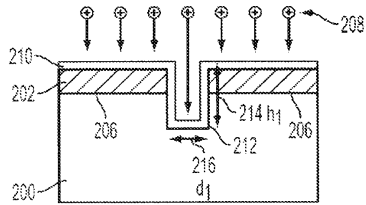
### 도면1



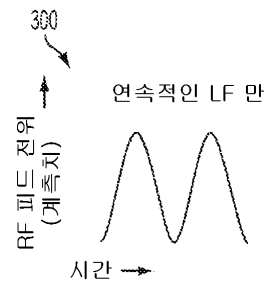
도면2a



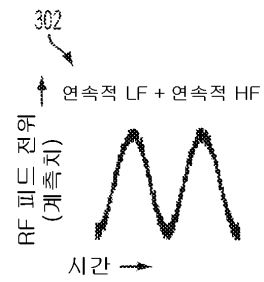
도면2b



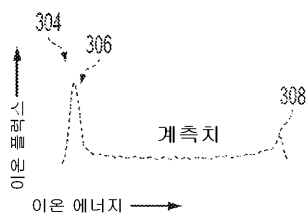
도면3a



도면3b

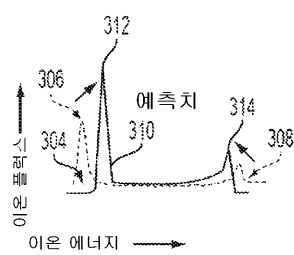


도면3c

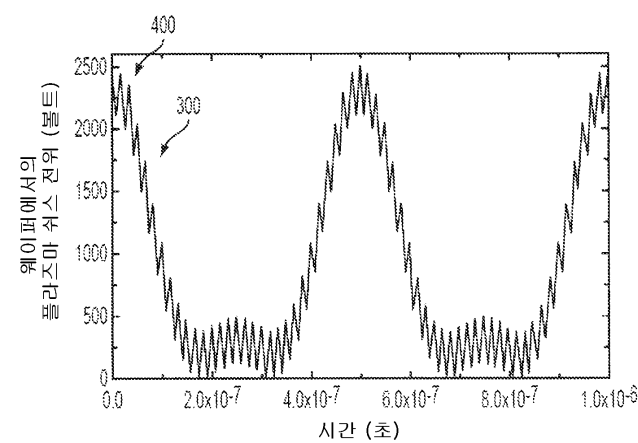




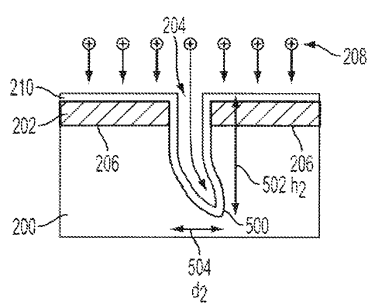
도면3d



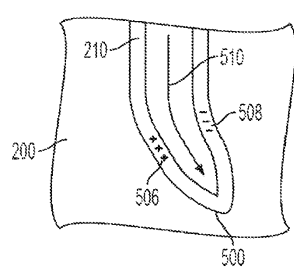
도면4



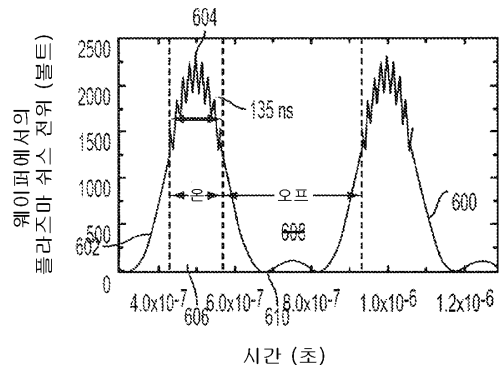
도면5a



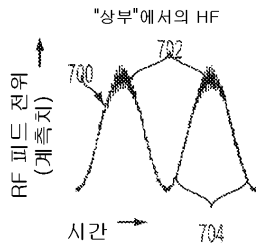
도면5b



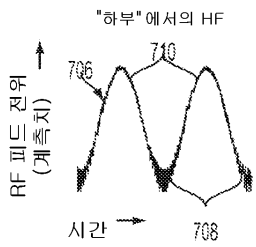
도면6



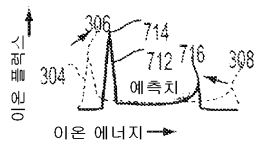
도면7a



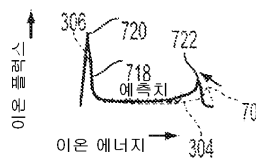
도면7b



도면7c



도면7d



도면8

