



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월24일

(11) 등록번호 10-2181719

(24) 등록일자 2020년11월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
 H01L 21/3213 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7027495

(22) 출원일자(국제) 2013년02월27일

심사청구일자 2018년02월26일

(85) 번역문제출일자 2014년09월29일

(65) 공개번호 10-2014-0147094

(43) 공개일자 2014년12월29일

(86) 국제출원번호 PCT/GB2013/050481

(87) 국제공개번호 WO 2013/128181

국제공개일자 2013년09월06일

(30) 우선권주장

1203530.9 2012년02월29일 영국(GB)

(56) 선행기술조사문헌

JP08250479 A*

US20110207323 A1*

JP2002343766 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

옥스포드 인스트루먼트 나노테크놀로지 톨스 리미티드

영국 옥스포드셔 오엑스13 5큐엑스 애빙던 튜브니우즈

(72) 발명자

맥니, 마크 에드워드

영국, 브롬스그로브 비60 3이피, 스토크 로드 93

쿡, 마이클 조셉

영국, 브리스톨 비에스35 1제이제이, 손버리, 딘에비뉴 4

리, 레슬리 마이클

영국, 옥스포드셔 오엑스11 9제이유, 디스콧, 이스트 해그본, 16비 뉴 로드, 하이드어웨이

(74) 대리인

특허법인(유한) 대아

전체 청구항 수 : 총 15 항

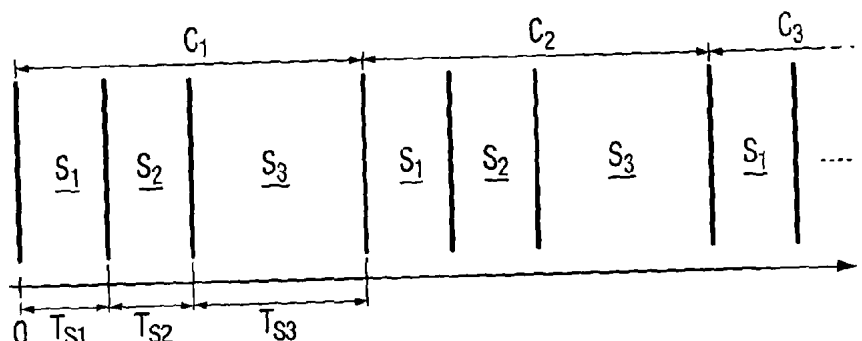
심사관 : 오순영

(54) 발명의 명칭 기관 상에 재료 증착 및/또는 에칭하는 방법 및 장치

(57) 요약

공정 챔버, 제어기 및 상기 챔버 내에서 공정 파라미터를 조절하기 위한 하나 이상의 장치를 갖는 표면 공정 도구에서, 기관 상에 재료를 증착 및/또는 기관으로부터 재료를 에칭하기 위한 방법을 개시한다. 상기 방법은 일련의 조절 스텝에 따른 하나 이상의 장치를 지시하는 제어기를 포함하고, 각 조절 스텝은 하나 이상의 장치가 수행되도록 지시되는 공정 파라미터의 정의된 서브셋을 특정하고, 상기 적어도 하나의 조절 스텝은, 상기 스텝의 지속 동안 일정한 공정 파라미터의 정의된 셋을 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하고, 상기 챔버를 통하는 적어도 챔버 압력 및 가스 흐름 속도를 포함하는 제어기를 포함하고, 상기 지속은 상기 스텝의 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만이다.

대표도 - 도3i



명세서

청구범위

청구항 1

공정 챔버, 제어기 및 상기 챔버 내에서 공정 파라미터를 조절하기 위한 하나 이상의 장치를 갖는 표면 공정 도구에서, 기판 상에 재료를 증착 또는 기판으로부터 재료를 에칭하기 위한 방법으로서, 상기 방법은 상기 제어기가 일련의 조절 스텝(step)에 따른 하나 이상의 장치를 지시하는 단계를 포함하고, 각각의 조절 스텝은 하나 이상의 장치가 수행되도록 지시되는 공정 파라미터의 정의된 서브세트를 특정하고, 상기 일련의 조절 스텝 중 적어도 하나의 조절 스텝은, 상기 제어기가 상기 스텝의 지속 동안, 상기 챔버를 통하는 적어도 챔버 압력 및 가스 흐름 속도를 포함하여, 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 단계를 포함하고, 상기 지속은 상기 스텝의 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만이고, 상기 가스 체류 시간은 다음과 같이 정의되고:

$$T_{gr} = \frac{pV}{Q}$$

여기에서: p 는 Pa의 단위로, 상기 챔버 압력이고;

V 는 m^3 의 단위로 공정 챔버의 부피이고;

Q는 $Pa \cdot m^3 \cdot s^{-1}$ 의 단위로 공정 챔버를 통하는 가스 흐름 속도이다,

하나 이상의 상기 일련의 조절 스텝의 제1 시퀀스 서브세트는, 상기 공정 파라미터가 기판 상에 패시베이션(passivation) 층을 증착하기 위해 선택되는 동안, 패시베이션 공정 단계(phase)를 구성하고, 하나 이상의 상기 일련의 조절 스텝의 제2 시퀀스 서브세트는, 상기 공정 파라미터가 기판을 에칭하기 위해 선택되는 동안, 에칭 공정 단계를 구성하고, 조절 스텝의 상기 제1 및 제2 시퀀스 서브세트들은 상기 패시베이션 공정 단계 및 에칭 공정 단계가 교대로 수행되도록 반복되도록 사이클을 형성하며, 상기 사이클의 총 지속은 2초 이하인, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

적어도 하나의 상기 조절 스텝을 위한 상기 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간은 0.1 내지 5초인, 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 각 조절 스텝은 상기 스텝의 지속 동안 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위한 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함하고, 상기 지속은 상기 스텝의 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만으로, 1초 미만의 지속을 가지는, 방법.

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 에칭 공정 단계를 구성하는 조절 스텝의 제2 시퀀스 서브세트는, 상기 공정 파라미터가 패시베이션 층 제거 공정 하위단계에서 상기 패시베이션 층의 부분적 제거를 위해 선택되는 동안 제1부분을 포함하고, 상기 공정

파라미터가 기관 에칭 공정 하위단계에서 상기 기관을 에칭하기 위해 선택되는 동안 제2 부분을 포함하는, 방법.

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

적어도 하나의 상기 공정 단계 및 하위단계는 코어 공정 스텝 이전 또는 이후에, 코어 공정 스텝 및 하나 이상의 중간 조절 스텝을 포함하고, 상기 각 중간 조절 스텝은 적어도 하나가 상기 코어 공정 스텝 및 선행 또는 후행 공정 단계 또는 하위단계에서 동일한 공정 파라미터 사이에 놓인 값을 가지는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 각 중간 조절 스텝은 하나 이상의 장치를 챔버 내에 제1 및 제2 종의 혼합물을 포함하는 유입 가스로 지시하는 것을 포함하고, 상기 코어 공정 스텝은 하나 이상의 장치를 챔버 내에 우세한 제1종의 유입 가스로 지시하는 것을 포함하고, 상기 선행 또는 후행 공정 단계 또는 하위단계는 챔버 내에 우세한 제2 종의 유입 가스로 지시하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 일련의 조절 스텝은 사이클에서 적어도 한 쌍의 인접한 코어 공정 스텝 사이의 다수의 중간 조절 스텝을 포함하고, 상기 각 중간 조절 스텝에 의해 수행된 공정 파라미터의 정의된 세트는 단일 중간 조절 스텝으로부터 그 다음까지 변하여 상기 인접한 코어 공정 스텝 쌍 사이의 공정 파라미터에서 점진적인 변화를 초래하는, 방법.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 공정 파라미터는: 적어도 하나의 유입 가스의 가스 흐름 속도, 상기 챔버 내의 압력, 배기 펌핑 속도, 웨이퍼 후면 가스 압력, 플라스마 소스 전력 또는 주파수, 기관 바이어스 전력 또는 주파수 및 임피던스 매칭 설정 중 어느 하나를 포함하는, 방법.

청구항 9

제4항에 있어서,

상기 패시베이션 층 제거 공정 하위단계를 구성하는 적어도 하나의 상기 조절 스텝 동안, 상기 하나 이상의 장치는 기관에 교대적 바이어스 전압을 적용하도록 지시되는, 방법.

청구항 10

제4항에 있어서,

상기 패시베이션 층 제거 공정 하위단계는 하나 이상의 장치의 도움으로 조절 스텝의 코어 시퀀스를 포함하고, 상기 하나 이상의 장치는, 하나의 조절 스텝 에서 제로 기관 바이어스 전력 또는 300 W/m^2 미만의 공칭 바이어스

전력 및 다음 조절 스텝에서 더 높은 기관 바이어스 전력을 수행하도록 교대로 지시되는, 방법.

청구항 11

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 하나 이상의 장치는 다수의 장치를 포함하고, 상기 일련의 조절 스텝은 하나 이상의 전이 조절 스텝을 포함하고, 상기 각 전이 조절 스텝에서 상기 장치의 하나 또는 서브세트는 해당 공정 파라미터에 변화를 초래하도록 지시되고, 상기 각 전이 조절 스텝의 타이밍은 지시된 장치(들)의 알려진 반응 시간과 관련이 있는, 방법.

청구항 12

제1항 또는 제2항에 있어서,

일련의 각 조절 스텝은 단계에서 공정 챔버의 상기 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만인 지속을 갖는, 방법.

청구항 13

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 일련의 조절 스텝의 전체적 효과는 기관으로부터 재료를 예칭하는 것이고, 상기 방법은 상기 예칭 진행에 따라 상기 기관을 모니터링하고, 상기 예칭이 사전 결정된 종점에 도달하는 때를 발견하고, 종점 신호를 출력하는 것을 포함하는, 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 종점 신호에 반응하여, 상기 일련의 조절 스텝을 정지시키는 것: 또는

제2의, 다른 일련의 조절 스텝을 시작하는 것을 추가로 포함하는, 방법.

청구항 15

기관으로부터 재료를 예칭하거나 또는 기관 상에 재료를 증착하는 표면 공정 도구로서, 사용시 상기 기관이 내부에 배치되는 공정 챔버, 상기 챔버 내에 상기 공정 파라미터를 조정하는 하나 이상의 장치 및 제1항 또는 제2항에 따른 방법에 따라 하나 이상의 장치를 조절하도록 조정되는 제어기를 포함하는 표면 공정 도구.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 표면 공정 도구에서 기판 상에 재료를 증착 및/또는 에칭하는 방법 및 이의 기구에 관한 것이다. 개시된 기술은 유리하게 실리콘 웨이퍼와 같이, 기판 내에 피처를 에칭하는 "보쉬 공정(Bosch process)"을 포함하여, 플라즈마 강화(plasma-enhanced)이거나 아닐 수 있는 임의의 증착 또는 에칭 공정에 적용된다.

배경 기술

- [0002] 재료 증착 또는 에칭과 같은 많은 표면 처리 공정은 일련의 다른 공정 스텝(step)을 수행하는 것과 관련이 있다. 예를 들어, 화학기상증착(chemical vapour deposition, CVD)공정은 하나 이상의 재료의 적층 구조를 형성하기 위해 순서대로 다른 재료의 증착과 종종 관련이 있다. 플라즈마 강화 CVD (PECVD) 및 다른 플라즈마 강화 표면 처리 방법에서, 일련의 스텝은 또한 초기에 플라즈마를 스트라이크(strike)하고, 그 후 후속 공정에서 사용을 위해 이를 안정화 하기 위해 수행될 수 있다.
- [0003] 다른 예는 DE-A- 4241045, US-A-5,501,893, 및 수정된 버전으로 EP-A-1 131847에 예시로 개시된 "보쉬 공정"이다. 이것은 실리콘 웨이퍼와 같은 기판 내에 피처를 에칭하는 방법이다. 마스크는 바람직한 피처의 측방향 수치를 정의하기 위해 웨이퍼의 표면에 적용된다. 웨이퍼는 그 후 여러 번 반복되는 일련의 교대적 패시베이션(증착) 및 에칭 스텝의 상태에 있다. 상기 패시베이션(passivation) 스텝에서, 폴리머의 층과 같은 패시베이션 재료는 에칭되는 영역 및 마스크를 포함하여 상기 웨이퍼의 모든 표면에 증착된다. 상기 에칭 스텝에서, 상기 웨이퍼는 우선적으로 피처의 베이스로부터 상기 패시베이션 층을 제거하는 선택적 에칭(공정에 방향성을 부여함으로써)상태에 있고, 코팅된 측벽을 (마스크 또는 예를 들어 가로방향인 피처 베이스와 같이 동일한 방향을 갖는 다른 표면상에 증착된 패시베이션 재료 또한 제거될 것이다) 남긴다. 계속되는 에칭은 그 후 노출된 기판 재료를 주로 등방성으로 에칭한다. 피처의 깊이가 증가함에 따라, 이러한 등방성 에칭은 또한 이들이 패시베이션 되어있지 않기 때문에 새로운 측벽으로부터 기판 재료를 제거한다.
- [0004] 교대적 패시베이션 및 에칭 스텝에 의해, 새로운 측벽이 빈번한 간격으로 패시베이션되기 때문에 측벽 에칭 양이 감소될 수 있어, 피처의 측면 증가를 감소시킨다. 이러한 방식으로, 에칭 피처의 측면 범위는 이의 전체 깊이에 걸쳐 보다 정확하게 조절될 수 있다. 그러나, 측벽은 여전히 측벽이 매우 매끄러워지는 것으로부터 방지하는 [일반적으로, "스캘롭(scallops)"이라 칭하는]오목패턴을 나타낼 것이고 따라서 벽의 위치 정밀도가 감소될 것이다. 또한 매끄러운 측벽은 예를 들어, 측벽 상에 재료를 증착하거나 에칭된 피처를 채우는 후속 공정에서 좋은 결과를 달성하기 위해 바람직하다. 예로서, 전기 접속 경로는, 도전성 재료에 의해 실리콘 관통 전극의 충전 이전에 절연층의 등각 증착에 의해 형성될 수 있다. 따라서 상기 스캘롭의 크기를 최소화하는 것이 바람직하다.
- [0005] 상기 교대적 패시베이션 및 에칭 메커니즘은 일련의 스텝에서 기판을 하우징(housing)하는 공정 챔버와 함께 공정 파라미터를 조절함으로써 구현된다. 관련 공정 파라미터는 다음을 포함할 수 있다: 챔버에 가스(들) 유입 타입(즉, 전구체 가스(들) 및/또는 캐리어 가스(들)), 유입된 가스(들)의 질량 흐름 속도(들), 챔버 압력, 온도 및, 사용되는 경우, 플라즈마 조건. DC 또는 AC 바이어스 전압은 또한 기판을 향한(즉, 방향성) 이온 흐름을 증진시키기 위해 기판에 적용될 수 있고, 이 경우 따라서 이것의 파라미터(예, 전력, 주파수)가 관련이 있을 수 있다. 어느 한 시점에서 함께, 챔버 내에 설치된 공정 파라미터의 세트는 그 시점에서 일어날 공정 스텝의 특성을 결정한다. 예를 들어, 보쉬 공정의 패시베이션 스텝에서, 상기 유입 가스는 패시베이션 가스(예, CF_4)이고 바람직하게는 기판에(즉, 방향성 없이) 이온 흐름이 거의 없거나 없다. 대조적으로, 에칭 스텝에서, 유입 가스는 에칭 가스(예, SF_6)이고 높은 방향성이 요구된다. 일반적으로 각 단계마다 다른 바람직한 챔버 압력이 있을 것이다.
- [0006] 상기 공정 파라미터는 공정 챔버 내의 조건을 조절하는 (하나 이상의)장치의 세트에 의해 조절된다. 이들은 예를 들어, 특정 속도에서 챔버로 가스를 하나 이상의 각각의 유입가스를 넣기 위한 하나 이상의 질량 흐름 제어기; ICP(유도 결합 플라즈마) 또는 CCP(용량 결합 플라즈마)와 같은 하나 이상의 플라즈마 소스; 기판 바이어스 전압 소스(DC 또는 AC); 배기 펌프, 압력 조절 밸브 및 기판 및/또는 공정 챔버의 온도를 조절하기 위한 하나 이상의 히터(들) 및/또는 냉각 시스템(들). 전형적으로 PLC(프로그램 가능 로직 제어기, programmable logic controller)와 같은 제어기는 프로그램된 루틴에 따라 네트워크 또는 버스에 걸쳐 장치에 명령을 제공하기 위해 제공된다.
- [0007] 상기 루틴의 각 스텝은 구현되는 상기 공정 스텝에 대한 챔버 내에 적절한 공정 파라미터를 설정하기 위해 장치를 지시하는 것과 관련이 있다. 챔버 내의 대기는 전이에 한정된 양의 시간이 걸리고 장치들 중 하나에 의해 조절을 반영할 것이기 때문에, 각 스텝에 대한 상기 챔버 내의 바람직한 조건을 설치하는데 고유의 지연이 있다. 따라서, 각 공정 스텝의 최소 지속은 통상적으로 장치의 출력을 변경한 후에, 다른 것에 의해 대체될 수 있는 챔버에 존재하는 한 가스 조건에서의 속도에 의해 제한되어 왔다. 이와 같이, 전형적인 공정 스텝은 몇 초 또는

그 이상의 지속을 갖는다. 예를 들어, US-A-5501893에서, 1분의 지속의 패시베이션 스텝이 개시되었고, 후속 에칭 공정은 6초 내지 1.5분의 지속을 가진다. EP-A-1 131847은 5 내지 12 초의 지속의 패시베이션 및 에칭 스텝을 개시한다. 이러한 지속은 바람직한 공정 파라미터(또는 그 근처)에서 각 공정 스텝을 위한 안정된 조건을 달성하기 위해 필요하다. 동일한 고려 사항은 다른 여러-스텝 증착 및/또는 에칭 공정에 적용된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008]

공정 챔버, 제어기 및 상기 챔버 내에서 공정 파라미터를 조절하기 위한 하나 이상의 장치를 갖는 표면 공정 도구에서, 기관 상에 재료를 증착 및/또는 기관으로부터 재료를 에칭하기 위한 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0009]

상기 방법은 일련의 조절 스텝에 따른 하나 이상의 장치를 지시하는 제어기를 포함하고, 각 조절 스텝은 하나 이상의 장치가 수행되도록 지시되는 공정 파라미터의 정의된 서브세트를 특정하고, 상기 적어도 하나의 조절 스텝은, 상기 스텝의 지속 동안 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하고, 상기 챔버를 통하는 적어도 챔버 압력 및 가스 흐름 속도를 포함하는 제어기를 포함하고, 상기 지속은 상기 스텝의 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만이다.

발명의 효과

[0010]

본 발명자들은 놀랍게도, 상기 해당 가스 체류 시간 미만의 지속을 갖는 짧은 조절 스텝이 챔버 내에서 수행되는 공정에 효과를 가지고, 스텝 동안 안정된 상태 조건에 당기에 상기 챔버를 위해 불충분한 시간임에도 불구하고 매우 효과적인 것을 발견했다. 이러한 종류의 짧은 조절 스텝의 사용은 하기에 더 자세히 논의되는 바와 같이, 상당한 공정 이득을 달성하는데 이용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011]

도 1은 현재 개시된 기술을 수행하도록 개조된 예시적인 표면 공정 도구를 개략적으로 도시하였다;

도 2는 도 1에 나타난 상기 표면 공정 도구의 다양한 기능적 구성요소 사이의 데이터 연결을 도시하는 개략적 네트워크 다이어그램이다;

도 3(i)은 본 발명의 제1 구현예에 따른 방법으로 수행되는 일련의 조절 스텝을 도시하고, 도 3(a), (b) 및 (c)는 각 조절 스텝 동안, 각각의 예시적인 값을 나타내는 세개의 선택된 공정 파라미터의 플롯이다;

도 4(a) 내지 4(g)는 제1 구현예의 선택된 스텝 동안 예시적인 기관을 나타내고, 도4(h)는 상기 구현예에 따라 형성된 에칭된 피처의 확대된 세부부를 보여준다;

도 5는 본 발명의 제2 구현예에 따른 방법으로 수행되는 일련의 조절 스텝을 도시한다;

도 6(i)는 본 발명의 제3 구현예에 따른 방법으로 수행되는 일련의 조절 스텝을 보여주고, 도 6(a), (b) 및 (c)는 각 스텝 동안, 세개의 선택된 공정 파라미터의 값을 나타내는 플롯이고, 도 6(d)는 도 6(c)의 확대된 세부부를 보여준다;

도 7(i)는 본 발명의 제4 구현예에 따른 방법으로 수행되는 일련의 조절 스텝을 보여주고, 도 7(a), (b) 및 (c)는 각 조절 스텝 동안, 세 개의 선택된 공정 파라미터의 값을 도시하는 플롯이다;

도 8(a)는 본 발명의 제5 구현예의 기관을 개략적으로 도시하고, 도8(b)는 "노칭"의 현상에 관하여 확대된 세부부를 보여준다;

도 9는 추가적 구현예에서 수행되는 일련의 조절 스텝에서 기관 바이어스 전압 소스의 지시된 출력 전력을 도시

하는 플롯이다;

도 10(a) 및 10(b)는 상기 구현예 중 어느 하나에 사용될 수 있는 종점 발견 장치의 두가지 예시를 도시한다; 및

도 11은 상기 구현예중 어느 하나에서 종점이 발견된 때, 상기 공정을 조절하기 위한 선택 사항을 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 본 발명의 제1 측면은 공정 챔버(processing chamber), 제어기 및 상기 챔버 내에서 공정 파라미터(processing parameter)를 조절하기 위한 하나 이상의 장치를 갖는 표면 공정 도구(surface processing tool)에서, 기판 상에 재료를 증착 및/또는 기판으로부터 재료를 에칭하기 위한 방법으로서, 상기 방법은: 일련의 조절 스텝(step)에 따른 하나 이상의 장치를 지시하는 제어기를 포함하고, 각 조절 스텝은 하나 이상의 장치가 수행되도록 지시되는 공정 파라미터의 정의된 서브세트를 특정하고, 상기 적어도 하나의 조절 스텝은, 상기 스텝의 지속 동안 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하고, 상기 챔버를 통하는 적어도 챔버 압력 및 가스 흐름 속도를 포함하는 제어기를 포함하고, 상기 지속은 상기 스텝의 공정 챔버의 해당(corresponding) 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만이고, 상기 가스 체류 시간은 다음과 같이 정의된다:

$$T_{gr} = \frac{pV}{Q}$$

[0013]

여기에서: p 는 Pa의 단위로, 상기 챔버 압력이고;

[0014]

V 는 m^3 의 단위로 공정 챔버의 부피이고;

[0015]

Q는 $Pa \cdot m^3 \cdot s^{-1}$ 의 단위로 공정 챔버를 통하는 가스 흐름 속도이다.

[0016]

챔버의 상기 가스 체류 시간은 얼마나 빠르게 챔버 내의 어떤 가스가 다른 것으로 변경될 수 있는지 즉, 특정 압력 및 흐름 속도 하에 얼마나 빨리 조건 중 하나의 세트가 다른 것으로 대체될 수 있는지에 대한 수치이다. 본 발명자들은 놀랍게도, 상기 해당 가스 체류 시간 미만의 지속을 갖는 짧은 조절 스텝이 챔버 내에서 수행되는 공정에 효과를 가지고, 스텝 동안 안정된 상태 조건에 당기에 상기 챔버를 위해 불충분한 시간임에도 불구하고 매우 효과적인 것을 발견했다. 이러한 종류의 짧은 조절 스텝의 사용은 하기에 더 자세히 논의되는 바와 같이, 상당한 공정 이득을 달성하는데 이용될 수 있다.

[0017]

본 명세서에 걸쳐 "기판"에 대한 참조는 다층 구조를 가질 수 있는 처리된 기판 뿐만 아니라 변성되지 않은 실리콘 또는 사파이어 웨이퍼와 같은 베이스 기판을 포함한다. 따라서, 기판으로부터 재료의 에칭은 베이스 재료 에칭 또는 기판상의 증착된 층을 에칭 또는 모두를 말한다.

[0018]

"지시"은 상기 제어기에 의해 장치(들)에 명령을 발행하는 것을 의미하고, 따라서 상기 각 조절 스텝에서 정의된 공정 파라미터는 상기 챔버 내의 실제 조건 보다 상기 장치가 수행되도록 지시되는 값을 의미한다. 각 공정 스텝은 연속적인 스텝에서 다르게 존재하는 적어도 하나의 지시된 공정 파라미터에 의해 다음과 구별된다. 다르게는, 각 공정 스텝의 시작과 끝 지점은 적어도 하나의 지시된 공정 파라미터에서 변화에 의해 특징되고, 바람직하게는 상기 변화의 파라미터는 챔버 내에서 다른 가스 조건을 발생시킨다(예. 가스 타입, 가스 흐름 속도, 압력 또는 배기 펌핑 속도).

[0019]

바람직한 구현예에서, 상기 조절 스텝의 적어도 하나를 위한 공정 챔버의 상기 해당 가스 체류 시간은 0.1 내지 5초이고, 바람직하게는 0.5 내지 2초이고, 보다 바람직하게는 약 1초이다. 유리하게는, 상기 조절 스텝의 적어도 하나는 1초 미만의 지속을 가지고, 보다 바람직하게는 750 밀리초(milliseconds) 이하, 보다 바람직하게는 500 밀리초 이하, 더욱 바람직하게는 100 밀리초, 보다 바람직하게는 50밀리초 이하, 보다 바람직하게는 5 내지 50 밀리초이다. 실제로는, 상기 일련의 조절 스텝은 전형적으로, 다른 지속의 스텝을 포함하고, 이의 일부 또는 모두는 상기 해당 가스 체류시간 미만일 것이다.

[0020]

개시된 기술은 보쉬-타입 공정에 유리하게 적용될 수 있다. 예를 들어, 바람직한 구현예에서, 일련의 조절 스텝의 하나 이상의 제1 서브세트(subsets)는 상기 공정 파라미터가 기판상의 패시베이션 층을 증착하기 위

[0021]

해 선택되는 동안 패시베이션 공정 단계(phase)를 구성하고, 일련의 조절 스텝의 하나 이상의 제2 시퀀스 서브 세트는 상기 공정 파라미터가 상기 기판을 에칭하기 위해 선택되는 동안 에칭 공정 단계를 구성하고, 상기 조절 스텝의 제1 및 제2 시퀀스 서브세트는 상기 패시베이션 공정 단계와 에칭 공정 단계가 교대로 수행되도록 반복되는 사이클을 형성한다. 상기 스텝의 하나 이상을 설정하여 상기 해당 가스 체류 시간 미만의 지속을 가짐으로써, 전반적인 사이클 시간은 통상적인 보쉬 공정과 비교하여 상당히 감소될 수 있다. 예시적인 구현예에서, 예를 들어, 사이클의 전체 지속은 10초 미만, 바람직하게는 5초 이하, 보다 바람직하게는 3초 이하, 보다 바람직하게는 2초 이하이다. 일정한 에칭 속도를 위해, 이것은 측벽에 형성되는 상기 "스캐럽"의 크기를 감소시킨다. 대안적으로, 짧은 사이클 시간은 스캐럽 크기와 무관하게 빠른 에칭 속도를 이용을 가능하게 하기 위해 사용될 수 있다.

[0022] 특히 바람직한 구현예에서, 상기 에칭 공정 단계를 구성하는 조절 스텝의 제2 시퀀스 서브세트는, 상기 공정 파라미터가 패시베이션 층 제거 공정 하위단계에서, 부분적 제거(예, 에칭되는 피처의 베이스와 같이, 특정 표면으로부터만 제거)를 위해 선택되는 동안의 제1 부분 및 기판 에칭 공정 하위단계(sub-phase)에서, 노출된 기판의 에칭을 위해 선택되는 동안의 제2 부분을 포함한다. 마스크 재료가 실질적으로 온전하도록 남겨둔 동안, 적어도 하나의 상기 피처의 베이스로부터 상기 패시베이션층을 제거하기에 충분한 상기 단계의 초기 부분에 이온 충격의 물리적 에칭 메커니즘을 설정함으로써, 이러한 방식으로 두 개의 분리된 부분으로 상기 에칭 단계를 분리하는 것은 마스크 선택성을 향상시킨다(즉, 에칭될 피처를 정의하는 마스크보다 상기 기판의 에칭을 촉진). 상기 스텝의 제2 부분 동안, 이온 충격은 상기 에칭 진행이 우세한 화학적 메커니즘을 거치도록, 에칭되는 노출된 재료가 감소하도록, 멈추거나 감소된다.

[0023] 또한 개시된 종류의 짧은 공정 스텝의 사용은 상기 기판 재료의 에칭이 수행되는 동안 사이클의 비율이 바람직하지 않은 긴 사이클 시간을 요구하지 않고 증가될 수 있기 때문에, 보쉬 공정의 효율 개선을 가능하게 한다. 유리하게는, 적어도 50%의 사이클의 총 지속이 상기 기판 에칭 공정 하위단계에 해당하고, 바람직하게는 적어도 60%, 보다 바람직하게는 적어도 70%, 더욱 바람직하게는 적어도 80 % 내지 99%, 가장 바람직하게는 80% 내지 90%이다.

[0024] 바람직한 구현예에서, 상기 패시베이션 공정 단계는 500 내지 1000 밀리초(milliseconds), 바람직하게는 50 내지 500 밀리초, 보다 바람직하게는, 50 내지 250초, 더욱 바람직하게는 100 내지 200밀리초의 지속을 가진다. 상기 패시베이션 층 제거 공정 하위단계는 바람직하게는 50 내지 1000 밀리초, 바람직하게는 50 내지 500 밀리초, 보다 바람직하게는, 50 내지 250 밀리초, 더욱 바람직하게는 100 내지 200 밀리초의 지속을 갖는다. 상기 언급된 이유 때문에, 상기 기판 에칭 공정 하위단계는 바람직하게는 긴, 100 밀리초 내지 2 초, 예를 들어, 바람직하게는 500 밀리초 내지 1.5초, 보다 바람직하게는 750 밀리초 내지 1.25 초의 지속을 가진다.

[0025] 실제 표면 공정 도구에서, 만약 상당히 다른 공정 조건이 공정의 인접 스텝에 바람직하다면, 이는 플라즈마 불안정성을 포함하여, 잠재적으로 플라즈마 소멸을 초래하는 어려움을 초래할 수 있다. 특히 바람직한 구현예에서, 코어 공정 스텝 이전 및/또는 이후에, 코어 공정 스텝 및 하나 이상의 중간 조절 스텝을 포함하는 이는 적어도 하나의 상기 공정 단계 및 하위단계에 의해 해결되고, 상기 또는 각 조절 스텝은 적어도 하나가 상기 코어 공정 스텝 및 선행 또는 후행 공정 단계 또는 하위단계에서 동일한 공정 파라미터 사이에 놓인 값을 가지는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함한다.

[0026] 다른 공정 조건을 필요로하는 공정 단계 사이의 이 종류의 중간 조절 스텝을 삽입함으로써, 상기 전환은 조절되어 제한된 기간에 걸쳐 일어나고, 그럼으로써 안정적인 플라즈마의 유지를 지지한다. 적어도 하나의 상기 중간 조절 스텝, 바람직하게는, 일부 또는 전부는 유리하게는 해당 가스 체류 시간 보다 짧은 지속으로, 사이클 시간 증가 또는 사이클 효율의 감소를 상당히 피한다. 상기 지시된 조건은 상기 조절 스텝의 지속 동안 일정하고, 상기 제어가 상기 장치들 각각을 통해 중앙 조절을 유지하는 것을 가능하게 한다(상기 스텝의 지속에 걸쳐 이들의 출력을 변화시키는 등의 장치를 지시함으로써 로컬 장치를 조절하는 것을 위임하는 것과 반대로).

[0027] 이 기술은 보쉬 타입 공정에서 공정 단계들(또는 하위단계)사이의 전이의 일부 또는 전부에 적용될 수 있다. 따라서, 바람직한 구현예에서, 조절 스텝들의 상기 제1 시퀀스 서브 세트는 상기 패시베이션 공정 단계가 코어 패시베이션 스텝 이전 및/또는 이후에, 코어 패시베이션 스텝 및 하나 이상의 중간 조절 스텝을 포함하는 것으로 구성되고, 상기 또는 각 중간 조절 스텝은 적어도 하나가 코어 패시베이션 스텝 및 에칭 공정 단계에서 동일한 공정 파라미터 사이에 값을 가지는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함한다.

[0028] 다른 바람직한 구현예에서, 조절 스텝들의 제2 시퀀스 서브세트는 상기 에칭 공정 단계가 코어 에칭 스텝 이전

및/또는 이후에, 코어 에칭 스텝 및 하나 이상의 중간 조절 스텝을 포함하는 것으로 구성되고, 상기 또는 각 중간 조절 스텝은 적어도 하나가 코어 에칭 스텝 및 패시베이션 공정 단계에서 동일한 공정 파라미터 사이에 놓인 값을 가지는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함한다.

[0029] 상기 언급된 종류의 수정된 보쉬 공정이 수행되는 경우, 조절 스텝들의 제2 시퀀스 서브세트의 상기 제1 부분은 상기 패시베이션 층 제거 공정 하위단계가 코어 패시베이션 층 제거 스텝 이전 및/또는 이후에, 코어 패시베이션 층 제거 스텝 및 하나 이상의 중간 조절 스텝을 포함하는 것으로 구성되고, 상기 또는 각 중간 조절 스텝은 적어도 하나가 코어 패시베이션 층 제거 스텝 및 패시베이션 공정 단계 또는 기판 에칭 공정 하위단계에서 동일한 공정 파라미터 사이에 놓인 값을 가지는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함한다. 유리하게는, 상기 패시베이션 층 제거 공정 하위단계 바람직하게는, 상기 코어 패시베이션 층 제거 단계를 구성하는 적어도 하나의 조절 스텝동안, 상기 공정 파라미터는 방향성, 이온 보조식 (ion-assisted) 에칭을 위해 설정된다.

[0030] 유사하게, 조절 스텝의 상기 제2 시퀀스 서브세트의 제2 부분은 상기 기판 에칭 공정 하위단계가 코어 기판 에칭 스텝 이전 및/또는 이후에, 코어 기판 에칭 스텝 및 하나 이상의 중간 조절 스텝을 포함하는 것으로 구성되고, 상기 또는 각 중간 조절 스텝은 적어도 하나가 코어 기판 에칭 스텝 및 패시베이션 층 제거 공정 하위단계 또는 상기 패시베이션 공정 단계에서 동일한 공정 파라미터 사이에 놓인 값을 가지는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함한다. 유리하게는, 상기 기판 에칭 공정 하위단계 바람직하게는, 상기 코어 기판 에칭 단계를 구성하는 적어도 하나의 조절 스텝동안, 상기 공정 파라미터는 등방성, 화학적 에칭을 위해 설정된다.

[0031] 각 스텝에서 정의된 공정 파라미터는 가스 흐름 속도, 바이어스 조건 등과 같은 파라미터 일부 또는 전부를 포함할 수 있다. 하나의 공정 단계로부터 다음 단계, 유리하게는 적어도 하나의 중간 조절 스텝에서 가스 형태의 변경이 있는 경우, 상기 하나 이상의 장치는 챔버 내에 제1 및 제2 종의 혼합물을 포함하는 유입 가스로 지시된다. 따라서, 특별히 바람직한 실시예에서, 상기 또는 각 중간 조절 스텝은 하나 이상의 장치를 챔버 내에 제1 및 제2 종의 혼합물을 포함하는 유입 가스로 지시하는 것을 포함하고, 상기 코어 공정 스텝은 챔버 내에 우세한 제1종의 유입 가스로 지시하는 것을 포함하고, 상기 선행 또는 후행 공정 단계 또는 하위단계는 챔버 내에 우세한 제2 종의 유입가스로 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함한다. 예를 들어, 적어도 하나의 중간 조절 스텝에서 제1 및 제2 종의 혼합물은 제2종에 대한 제1종의 분압비가 1:10 내지 10:1, 바람직하게는 1:3 내지 3:1, 보다 바람직하게는 1:2 내지 2:1, 가장 바람직하게는 약 1:1의 비율을 가질 수 있다. 이러한 가스 타입의 점진적인 변화는 다른 가스의 갑작스러운 유입으로 달리 일어날 수 있는 상기 플라즈마의 소멸을 방지하는데 특히 도움이 된다. 특히 바람직한 구현예에서, 다수의 연속적인 중간 조절 스텝에서, 하나 이상의 장치는 유입 가스로 지시되고, 상기 가스는 챔버 내에 제1 및 제2 종의 각각의 혼합물을 포함하고, 각 연속적인 혼합물에서 상기 제2종에 대한 제1종의 비는 변하고, 이로써 제1 종 가스로부터 제2종으로의 점진적인 전이가 초래된다.

[0032] 공정 사이의 단일 중간 조절 스텝은 유리한 효과를 가질 수 있다. 그러나 실제로, 상기 일련의 조절 스텝은 사이클에서 적어도 한 쌍의 인접한 코어 공정 스텝 사이의 다수의 중간 조절 스텝을 포함하고, 상기 각 중간 조절 스텝에 의해 수행된 공정 파라미터의 정의된 세트는 단일 중간 조절 스텝으로부터 그 다음까지 변하여 상기 인접한 코어 공정 스텝 쌍 사이의 공정 파라미터에서 점진적인 변화를 초래한다.

[0033] 특히 바람직한 구현예에서, 하나 이상의 장치가 일정한 중간 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하도록 지시되는 동안, 상기 또는 각 중간 공정 스텝의 지속은 상기 스텝에서 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만이다. 유리하게는, 사이클의 인접한 코어 공정 스텝 사이에 상기 또는 각 중간 공정 스텝의 지속(들)의 총합은 이들의 중간 공정 스텝의 평균 가스 체류(T_{gr}) 미만이다.

[0034] 각 조절 스텝에서 정의된 상기 공정 파라미터는 다음 중 어느 것을 포함할 수 있다: 적어도 하나의 유입 가스의 가스 흐름 속도, 챔버 내의 압력, 배기 펌핑 속도, 웨이퍼 후면 가스 압력, 플라즈마 소스 전력 또는 주파수, 기판 바이어스 전력 또는 주파수 및 임피던스 정합 설정(캐패시터(capacitor) 또는 인덕터(inductor) 값 또는 해당 변수의 설정 위치와 같은). 특히 바람직한 구현예에서, 상기 공정 챔버의 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만의 지속을 가지는 적어도 하나의 조절 스텝 동안 수행되는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트는, 선행 및/또는 후행 조절 스텝들에 대하여 상기 챔버 내에 다른 가스 조건(예, 가스 흐름 속도, 압력, 배기 펌핑 속도)을 야기하기 위해 선택되는 공정 파라미터를 포함한다. 물론, 상술한 바와 같이, 상기 스텝의 지속이 상기 가스 반응 시간

미만이기 때문에, 실제 챔버 조건의 관점에서, 동일한 스텝 동안 이 지시된 값들은 도달되지 않을 수 있다. 바이어스 전력 또는 플라스마 전력의 조절과 같은 다른 변화들은 상대적으로 빠르게 반응하고 따라서 도달될 수 있다.

[0035] 일반적인 관점에서, 높은 전체적 에칭 속도에 도달하기 위해 다음이 바람직하다:

[0036] 기관으로의 이온 흐름이 보통 거의 또는 전혀 없이(즉, 낮은 플라스마 전력 및 거의 또는 전혀 방향성 없이), 상대적으로 낮은 챔버 압력에서(예. 패시베이션 제거 하위단계의 동등 또는 그 이하, 기관 에칭 하위단계의 이하의) 패시베이션 단계를 작동한다. 낮은 압력에서 그러나 기관으로의 높은 이온 흐름(즉, 높은 기관 바이어스)과 함께 패시베이션 제거 하위단계를 다시 작동;하고 마스크 선택성을 증진하기 위해, 기관으로의 이온 흐름이 거의 또는 전혀 없이, 상당수의 반응성 중(예. 플루오린 라디칼)을 제조하기 위해 상대적으로 높은 압력에서 기관 에칭 하위단계를 작동한다. 따라서, 예시적인 구현예에서, 패시베이션 공정 단계를 구성하는 적어도 하나의 조절 스텝 동안, 바람직하게는 상기 코어 패시베이션 스텝, 상기 공정 파라미터는 다음을 포함한다:

[0037] 우세한 패시베이션 전구체 가스인 유입 가스;

[0038] 바람직하게는 3 내지 12Pa, 보다 바람직하게는 약 7Pa인 챔버 압력;

[0039] 1 내지 2.5kW, 보다 바람직하게는 1.5 내지 2kW인 플라스마 소스 전력; 및

[0040] 실질적으로 제로 기관 바이어스 전력 또는 1500 W/m^2 미만, 바람직하게는 150 W/m^2 이하인 바이어스 전력 밀도.

[0041] 본원에 사용된 상기 용어"패시베이션 전구체 가스"은 구현되는 공정 파라미터에서 기관을 패시베이션할 가스를 말한다. C_4F_8 와 같은 일부 가스는 공정 조건에 따라 에칭 또는 패시베이션 모두 가능하다. 마찬가지로, 하기에, 용어"에칭 전구체 가스"은, 주어진 특정 공정 파라미터에서 제거되는(즉, 패시베이션 재료 및/또는 기관) 재료를 에칭할 가스를 말한다. 따라서, "패시베이션 전구체 가스"(또는 간단히 "패시베이션 가스") 및 "에칭 전구체 가스"(또는 간단히 "에칭 가스")는 동일한 종일 수 있다. 대안적으로, SF_6 또는 NF_3 와 같은 다른 에칭 가스가 사용될 수 있다. 다른 에칭 가스는 또한 두 에칭 단계 각각 동안 사용될 수 있다.

[0042] 패시베이션 제거 하위단계의 조절 스텝에서, 방향성, 이온 보조식 에칭을 위해 설정된 상기 공정 파라미터는 바람직하게는 다음을 포함한다:

[0043] 우세한 에칭 가스인 유입 가스;

[0044] 바람직하게는 1 내지 10Pa, 보다 바람직하게는 약 3Pa인 챔버 압력;

[0045] 바람직하게는 1.5 내지 3kW, 보다 바람직하게는 2 내지 2.5kW인 플라스마 소스 전력; 및

[0046] 패시베이션 공정 단계 또는 기재 에칭 공정 하위단계 동안 구현되는 것보다 높은 기관 바이어스 전력 밀도, 바람직하게는 1500 내지 8000 W/m^2 , 보다 바람직하게는 3000 내지 6000 W/m^2 이다.

[0047] 상기 기관 에칭 하위단계의 조절 스텝에서, 실질적으로 등방성, 화학적 에칭을 위해 설정된 공정 파라미터는 바람직하게는 다음을 포함한다:

[0048] 우세한 에칭 가스인 유입 가스;

[0049] 바람직하게는 7 내지 30Pa, 보다 바람직하게는 약 10Pa인 챔버 압력;

[0050] 바람직하게는 3 내지 10kW, 보다 바람직하게는 3 내지 8kW인 플라스마 소스 전력; 및

[0051] 제로 기관 바이어스 전력 또는 300 W/m^2 미만, 바람직하게는 30 W/m^2 이하인 공칭(nominal) 바이어스 전력 밀도.

[0052] 기관에 적용된 상기 바이어스는 DC전원으로부터일 수 있다.

[0053] 그러나, 바람직한 실시예에서, 상기 패시베이션 층 제거 공정 하위단계, 바람직하게는 코어 패시베이션 층 제거 스텝 구성하는 적어도 하나의 상기 조절 스텝 동안, 하나 이상의 장치는 지시되어 기관에 교대적 바이어스 전압과 바람직하게는 적어도 50kHz인 주파수를 적용한다. 후술하는 바와 같이, 바이어스 주파수를 적용하는 것은(바람직하게는 낮거나 간헐적인 바이어스 주파수) 기관 내의 반도체성(또는 도전성) 및 절연 재료 사이의 인터페이스

스에서 달리 발생할 수 있는 측벽 노칭(notching)을 감소시키는 측면에서 이점이 있다.

- [0054] 특히 바람직한 구현예에서, 상기 패시베이션 층 제거 공정 하위단계는 하나 이상의 장치의 도움으로 조절 스텝의 코어 시퀀스를 포함한다. 상기 하나 이상의 장치는 하나의 조절 스텝에서 제로 기판 바이어스 전력 또는 300 W/m^2 미만, 바람직하게는 30 W/m^2 이하인 공칭 바이어스 전력 및 다음 조절 스텝에서 바람직하게는 1500 내지 8000 W/m^2 , 보다 바람직하게는 3000 내지 6000 W/m^2 인 더 높은 기판 바이어스 전력을 수행하도록 교대로 지시된다. 이러한 접근법의 이점은 하기에 설명된다.
- [0055] 패시베이션 층 제거 하위단계 외에 상기 공정 스텝 동안, 바이어스가 기판에 적용될 수 있는 것과, 추가로 후술한 바와 같이, 그러한 경우에 낮은 또는 간헐적 바이어스 진동수가 다시 바람직할 수 있는 것에 주목해야 한다. 예를 들어, 패시베이션 증착 단계 동안, 에칭될 피처의 베이스 표면 상에 증착되는 패시베이션 재료의 함량을 감소시키기 위해, 상기 기판에 바이어스를 적용하는 것은 유리할 수 있다.
- [0056] 실제로 표면 공정 도구에서 직면할 수 있는 다른 문제점은, 공정 챔버 내의 조건을 조절하는 다양한 장치의 다른 반응 시간이다. 일반적으로, 밸브와 같은 기계적 장치는 전력 공급장치와 같은 부동(no moving) 부분의 장치보다 명령을 실행하는데 시간이 더 오래 걸린다. 따라서, 작은 밸브는 명령을 넣어 효과가 있기 위해 수 100 밀리초가 요구될 수 있는 반면, 전력 공급장치의 출력 수준을 변경하는 것과 같은 일부 작동은 단 수십 밀리초에서 일어날 수 있다. 상기 결과는 상기 지시된 스텝의 효과적인 지속이 우연히 짧아지도록, 조절 스텝의 상당한 부분이 경과할 때까지, 출력의 바람직한 세트가 완전히 수행되지 않을 수 있다. 본 발명의 제1 측면과 관련된 상술한 바와 같이, 이것은 특히 상기 조절 스텝이 본질적으로 짧은 지속인 경우이다. 이 문제를 해결하기 위해, 특히 바람직한 구현예에서, 하나 이상의 장치는 복수의 장치를 포함하는 데, 일련의 조절 스텝은 하나 이상의 전이 조절 스텝을 포함하고, 상기 각 전이 조절 스텝에서 하나 또는 상기 장치의 서브 세트는 해당 공정 파라미터에 변화를 초래하도록 지시되고, 상기 또는 각 전이 조절 스텝의 타이밍은 지시된 장치(들)의 알려진 반응 시간과 관련이 있다. 이러한 경우, 개개의 장치들은(또는 장치의 그룹) 그들의 출력이 동시에 발생할 수 있도록 다른 시간에 지시된다. 예를 들어, 반응이 느린 장치는 제1 전이 조절 스텝에서 그것의 출력을 변경하도록 지시될 수 있고, 그 후 제2 전이 조절 스텝에서, 반응이 빠른 장치(들)은 명령을 발행할 수 있다. 이것은 바람직한 일련의 조절단계가 가능한 거의 동시 발생에 따라 수행되는 것을 보장한다.
- [0057] 문제의 장치에 따라, 단일 전이 조절 스텝은 충분할 수 있다. 그러나, 바람직하게는 일련의 조절 스텝은 전이 조절 스텝의 시퀀스를 포함하고, 이에 따르면 복수의 장치의 개개의 하나 또는 서브 세트는, 장치의 알려진 반응 시간에 따른 시퀀스에서 해당 공정 파라미터에서 변화를 초래하도록 지시되고, 그로 인해 상기 해당 공정 파라미터에 지시된 변화는 실질적으로 또 다른 하나와 동시 발생, 바람직하게는 실질적으로 동시에 영향을 받는다.
- [0058] 상기 전이 조절 스텝(들)은 유리하게는 상기 챔버의 해당 가스 반응 시간(들)보다 짧으나, 이는 필수적인 것은 아니다.
- [0059] 이미 논의된 바와 같이, 짧은 조절 스텝은 유리하고 바람직한 실시예에서, 일련의 각 조절 스텝은 단계에서 상기 스텝을 위한 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만인 지속을 가진다.
- [0060] 기판의 임의의 타입은 상기 개시된 방법에 사용될 수 있으나 유리하게는, 기판은 바람직하게는 예를 들어 실리콘 웨이퍼인 웨이퍼 상에 또는 웨이퍼를 형성하는, 반도체 층을 포함한다. 만약 피처가 기판 내에 에칭되면, 상기 반도체 층은 바람직하게는 마스크 층을 그 상부에[예, 포토레지스트(photoresist)] 운반하고, 상기 반도체 층 내에 에칭될 피처를 정의한다.
- [0061] 바람직한 구현예에서, 상기 방법은 피처가 바람직한 깊이 또는 다르게는 정의된 종점에 도달하는 때, 에칭을 정지시키는 스텝을 추가로 포함한다. 다양한 동작이 종점 신호에 반응하여 일어날 수 있다. 한 바람직한 구현예에서, 상기 방법은 종점 신호에 반응하여 정지된 일련의 조절 스텝(예, 완전히 공정을 정지)를 추가로 포함하여 더 이상의 에칭이 발생하지 않는다. 일부 경우에 상기 처리는, 종점 신호가 "과에칭"을 허용하기 위해 출력된 후에, 사전 설정된 지연 기간이 경과한 후 정지될 수 있다.
- [0062] 다른 바람직한 구현예에서, 종점 신호의 출력은 상기 적용된 공정에서 변화를 유발한다. 따라서, 상기 방법은 제 2의, 다른, 종점 신호에 반응하는 일련의 조절 스텝을, 바람직하게는 사전 결정된 지연 후에, 추가로 포함한다. 예를 들어, 제2 일련의 조절 스텝은 더 느린 에칭 속도를 달성하도록 조절된 공정 파라미터를 가질 수 있어, 과도한 에칭 동안(하기 설명된 노칭과 같은) 발생할 수 있는 손상을 최소화하거나, 바람직한 깊이에 도달

되지 않을 수 있는 웨이퍼의 영역 상에 에칭에 초점을 맞춘 파라미터를 조절한다. 제2 일련의 조절 스텝은 고정된 기간 지속 동안 수행될 수 있고 그 후, 처리를 완료하기 위해 정지될 수 있다.

[0063] 중점을 발견하기 위한 기관의 모니터링은 다양한 방식으로 수행될 수 있다. 바람직한 일 구현예에서, 이것은 바람직하게는 광학 간섭계를 사용하여, 에칭 깊이(즉, 에칭될 피처가 닿을 깊이)를 모니터링 하는 것을 포함하고, 상기 사전 결정된 중점은 사전 결정된 에칭 깊이이다. 대안적인 유리한 구현예에서, 상기 기관의 모니터링은 에칭되는 재료의 조성을 모니터링 하는 것을 포함하고, 상기 기관은 하부 및 에칭되는 층에 다른 조성의 정지층을 포함하고, 상기 중점 방향 신호는 조성의 변화가 발견되는 때 출력된다. 따라서, 바람직한 깊이 값과 제어기를 제공하기 보다는, 상기 기관 자체가 에칭이 정지되어야 하는 위치에서 상기 위치를 표시하는 정지층을 포함한다. 에칭되는 상기 재료의 조성은, 분광계 또는 관련된 원자 전이의 지시인 상기 플라즈마 내에서 방출되는 빛에서 특정 파장길이를 보여주는 필터를 사용함으로써 감지될 수 있다.

[0064] 특정 응용 분야에서, 상기 기관은 유리하게는 반도체 층 상부 또는 하부 절연층을 제공하거나 추가로 포함한다. 상기 절연층은 기관의 일체로 된 부분일 수 있거나 아닐 수 있다. 예를 들어, 상술한 바와 같이 실리콘 산화물과 같은 절연층은 특정 깊이를 넘어 진행된 에칭을 정지하는데 사용될 수 있다. 또한 절연층은 서로로부터 또는 절연된 섬(island) 피처를 형성하기 위해 고립된 반도체 장치에 사용될 수 있다. 그러나, 상술한 바와 같이 기관에 절연 재료의 존재는, 반도체(도체) 층과 절연층 사이의 인터페이스에서 측벽"노치(notches)"의 형성을 일으킬 수 있다. 이것은 이온 충격 동안 하전된 절연층의 결과이고, 상기 이온 충격은 측벽을 향해 반발되는 후속 이온을 일으키고, 이는 바람직하지 않은 측방향 에칭을 발생시킨다.

[0065] 상기 참조된, EP-A-1 131847는 측벽 노치를 감소시키는 기술을 개시하고, 이는 방향성 이온 충격을 유도하기 위해 기관에 적용되는 바이어스는 저주파 교대적 바이어스 또는 (낮거나 높은 주파수) 교대적 바이어스이고, 펄스 변조는 펄스 발생기에 의해 변조되는 신호를 출력하기 위해 로컬 전력 소스를 지시함에 의해 적용된다. US-A-6,926,844는 고주파 펄스 고주파 전력이 기관에 적용되고 저주파 변조와 제공되는 다른 시스템을 설명한다. ["유도 결합된 펄스 플라즈마" Banna et al, IEEE Transactions on Plasma Science Vol. 37, No. 9, Sept 2009]는 기관 바이어스 및 플라즈마 전력 모두를 펄싱을, 양 구성 요소를 위해 전력 공급장치를 변조하기 위해 동일한 펄스 신호 발생기를 사용함으로써, 개시한다. 이러한 기술은 바이어스가 낮거나 꺼지고 이로써 전하의 일부가 중화된 때, 상기 경우 동안 플라즈마로부터의 전자를 절연층 아래로 확산시키는 것을 가능하게 함으로써, 절연층 상의 전하의 감소를 달성한다. 결과적으로, 상기 후속 이온 상의 반발 힘은 또한 감소되고, 적은 편향을 일으키고 따라서 노치가 감소된다.

[0066] 표면 공정 도구에서 기관으로부터 재료를 에칭하는 방법으로, 기관은 상부 또는 하부 절연층을 구비하는 반도체성 또는 도전성 층을 포함하고, 상기 표면 공정 도구는 공정 챔버, 제어기 및 상기 챔버 내의 공정 파라미터를 조정하기 위한 하나 이상의 장치를 포함하고, 상기 공정 파라미터는 상기 기관에 바이어스 전압을 적용하기 위한 바이어스 전력 소스를 포함하고, 상기 방법은:

[0067] 하나 이상의 장치를 연이어 에칭 및 패시베이션 공정 단계가 수행되도록, 교대로 지시하는 상기 제어기, 및,

[0068] 적어도 하나의 상기 교대적 공정 단계의 적어도 하나의 부분 동안, 스텝의 시퀀스에서 상기 전력 소스를 조절하고, 제1 단계의 지속 동안 상대적으로 낮거나 제로 크기로 상기 전력 소스가 바이어스 전압을 출력하고, 그 후 제2 단계의 지속 동안 상대적으로 높은 크기의 바이어스 전압을 출력하도록 지시하는 상기 제어기를 교대로 포함하고,

[0069] 이로써 상기 반도체성 또는 도전성 층 및 절연층 사이의 인터페이스에서 측벽 노치의 형성을 감소시키는 것을 포함한다.

[0070] 상기 바이어스 전력 소스는 정적(DC) 또는 교대적(RF)일 수 있고 전압 또는 전류 공급장치일 수 있다. 일련의 단계에서 바이어스 소스를 지시함으로써, 상기 출력이 "켜짐(on)"(높은) 또는 "꺼짐(off)"(제로 또는 공칭 즉, 제로에 가까운) 동안, 바이어스 소스 자체 또는 펄스 신호 발생기에 상기 바이어스를 조절함을 위임하기 보다는, 본 발명의 제2측면은 바이어스의 상세한 조절을 가능하게 하여 상기 도구의 전체적 조절 내로 병합되게 하고, 제어기에 의해 실행된다. 교대적 바이어스 단계의 시퀀스는 따라서 최상의 전체적 공정 결과를 달성하도록 맞춰질 수 있다. 예를 들어, 일부 경우에는 바이어스 단계를 적어도 하나의 다른 공정 파라미터에 변화와 동시 발생시키는 것이 바람직하고, 따라서 바람직한 구현예에서, 하나 이상의 다른 장치(들)은 제1 및 제2 단계 사이에 해당 공정 파라미터(들)에서 변화를 초래하도록 지시된다. 다르게는, 상기 제어기는 바이어스에서 변화와 같이 동시에 적어도 하나의 다른 공정 파라미터에서 변화를 지시한다. 예를 들어, 상기 플라즈마 전력은 또

한 상기 바이어스가 "꺼짐"일 때, 상기 단계 동안 감소될 수 있다.

- [0071] 상기 제어기에 의한 기관 바이어스의 직접적 조절은 또한 보다 복잡한 일련의 바이어스 수준을 적용하는 것을 가능하게 한다. 예를 들어, 펄스 신호 발생기를 이용하는 통상적인 시스템에서, 적용된 바이어스는 높은 수준과 (제로일 수 있는) 낮은 수준에서 간단히 교차될 것이다. 본 발명의 바람직한 구현예에서, 에칭 및 패시베이션 공정 단계의 하나의 사이클 동안, 상기 제어기는 상기 전력 소스를 지시하여, 적어도 3개의 다른 크기(이 중 하나는 제로일 수 있는)에서, 상기 기관에 바이어스 전압이 출력되게 한다. 따라서, 일부 구현예에서, 하나 이상의 스텝에서(즉, 하나의 공정 단계 내에서) 바이어스 출력의 크기를 변경하는 것이 바람직 할 수 있다. 예를 들어, 각 제2스텝에서 지시된 상대적으로 높은 기관 바이어스 전력의 크기는 스텝의 상기 시퀀스에 따라 다양하고, 바람직하게는 상기 시퀀스의 말단을 향해 증가한다. 방향성 이온 충격이 시작될 때, 상기 바이어스가 낮게 유지될 수 있기 때문에, 이온의 에너지를 최소화하고 따라서 마스크를 보호하여 이것은 마스크 선택성을 개선 또는 유지하는데 도움이 된다. 에칭이 진행되고 상기 절연층 상의 전하가 증가함에 따라, 상기 바이어스는 증가되고, 이는 상기 방향성 이온의 에너지를 증가시키고, 그들의 제적상 전하의 효과를 감소시켜 노칭을 감소시킨다.
- [0072] 다른 구현예에서, 상기 적용된 바이어스는, 단일 공정 단계(에칭 또는 패시베이션) 동안 두 수준 사이에서 교대적일 수 있고, 적어도 세개의, 다른, 바이어스 수준은 다른 공정 단계 동안 적용된다.
- [0073] 특히 바람직한 구현예에서, 적어도 두개의 다른 비-제로 바이어스 전력 크기는 사이클 동안, 제로 또는 제로 근처 전력 수준 이외에도, 지시된다.
- [0074] 다른 바람직한 구현예에서, 상기 시퀀스의 각 제2스텝에서 지시된 상대적으로 높은 기관 바이어스 전력의 크기는 상기 시퀀스의 한 발생부터 그 다음까지 즉, 사이클 사이에서 변한다. 따라서, 어떤 하나의 공정 단계 내에서 각 제2 스텝의 크기는 일정할 것이지만, 바이어스가 적용되는 상기 다음 공정 단계에서는 증가하거나 감소될 것이다. 예를 들어, 각 대안적 에칭 단계 동안 스텝의 상기 시퀀스가 발생하는 경우, 상기 크기는 유리하게는, 제1사이클 동안 적용되는 것에 비교하여 제2사이클에서 증가할 것이다. 전체적 공정의 적어도 하나의 부분 동안, 이러한 방식으로 사이클로부터 사이클로 상기 바이어스 크기가 증가하는 것은, 상기 사이의 공정 스텝에도 불구하고, 일반적으로 이전 사이클로부터 일부 전하가 남기 때문에, 상기와 같은 이유로 노칭을 감소시키는 반면 마스크 선택성을 개선시키는 데에 도움이 된다. 각 제2 스텝에서 적용되는 상기 바이어스의 크기는 또한 각 사이클에서 변할 수 있기 때문에(예. 증가), 예를 들어, 각 스텝 및 사이클에서 사이클로부터 동안 증가할 수 있다. 만약 사이클 사이의 크기에서 변화가 수행되면, 이것은 상기 시퀀스의 모든 발생 사이에 일어날 필요가 없다. 예를 들어, 상기 시퀀스는 크기에서 변화가 지시되기 전에, 한 크기에서 여러 번 반복될 수 있다.
- [0075] 상기 암시된 바와 같이, 일부 경우 적어도 하나의 교대적 에칭 단계의 적어도 부분 동안, 상기 전력 소스는 스텝의 시퀀스에서 조절되는 것이 바람직하다. 그러나, 이점은 또한 상기 공정의 다른 단계 동안 상기 시퀀스를 실행함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 이미 언급된 바와 같이, 상기 패시베이션 단계 동안 스텝의 시퀀스에 따라 설명된 방식으로 상기 바이어스 소스를 조절하는 것은 유리할 수 있다. 상기 측벽상의 상기 증착에 미미한 효과를 가지는 것은 바이어스에 의해 도입된 방향성에 기인하는 반면, 이것은 에칭되는 피처의 베이스 상에 성공적으로 증착된 패시베이션 재료의 양을 감소시킬 것이다. 실제로 상기 패시베이션 재료가 상기 기관상에 상부층을 형성하는 전기적 절연체(예. PTFE 유사 재료)일 것이기 때문에 상기 설명된 "켜짐/꺼짐" 바이어스 스텝의 시퀀스는 상기 패시베이션 단계 동안, 이미 논의된바와 같은 이유로 유리하고, 따라서 에칭이 하부 절연층에 이르렀을 때, 경험된 바와 같이 유사한 충전 문제에 직면하기 쉽다. 이는 상기 기관이 추가적 절연층을 포함하든지 않든지 간에 수행될 수 있다.
- [0076] 만약 RF바이어스가 사용되면, 바람직하게는 상기 바이어스 전력은 주파수와 함께 교대적 전력(전압 또는 전류)이고, 상기 주파수는 상기 시퀀스의 스텝 동안 적어도 100 진동을 제공하고, 상기 주파수는 바람직하게는 50 kHz 내지 27 MHz, 보다 바람직하게는 300 kHz 내지 13.56 MHz이다.
- [0077] 유리하게는, 상기 스텝의 적어도 하나(바람직하게는 각각)는 상기 스텝 동안 상기 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr})이하인 지속을 가진다. 일반적으로, 상기 스텝 동안 해당 가스 체류 시간은 0.1 내지 5초, 바람직하게는 0.5 내지 2초, 더욱 바람직하게는 약 1초이다.
- [0078] 상기 시퀀스의 제1 스텝에서, 상기 바이어스 전력 소스는 유리하게는 제로 기관 바이어스 전력 또는 1500 W/m^2 이하, 바람직하게는 150 W/m^2 미만인 공칭 바이어스 전력을 수행하도록 지시된다. 제2스텝에서, 상대적으로 높은 기관 바이어스 전력은 1500 내지 8000 W/m^2 , 보다 바람직하게는 3000 내지 6000 W/m^2 일 수 있다.

- [0079] 특히 바람직한 구현예에서, 상기 시퀀스에서 각 스텝은 5 내지 100 밀리초의 지속을 가지고, 상기 시퀀스의 총 지속은 50 내지 4000 밀리초, 바람직하게는 50 내지 500 밀리초, 보다 바람직하게는 100 내지 200 밀리초이다. 일반적으로, 상기 바이어스 전력은 높은 바이어스가 적용되는 때(적어도 상기 공정의 패시베이션 제거 단계 동안)짧은 주기 사이에, 제로(또는 낮은 값)로 감소되는 때 상대적으로 긴 주기를 가지는 것이 바람직하다. 따라서 바람직한 실시예에서, 상기 낮은 바이어스 스텝의 지속은 바람직하게는 높은 바이어스 스텝의 지속 보다 길다.
- [0080] 상기 방법은 또한 본 발명의 제1 측면과 관련하여 상기 설명된 바와 같이, 다른 교대적 에칭 및 패시베이션 스텝의 새로운 사이클이 수행되도록, 사전 결정된 종점에 도달하는 에칭 깊이를 발견하고 후속적으로 상기 파라미터를 정지 처리 또는 조절 하기 위한 스텝을 포함할 수 있다.
- [0081] 본 발명은 또한 상기 기술된 어느 하나의 방법을 수행하기 위해 표면 공정 도구를 조절하는 명령을 포함하는 컴퓨터 프로그램 제품을 제공한다.
- [0082] 또한 제공되는 것은 기관으로부터 재료를 에칭 및/또는 기관 상에 재료를 증착하는 표면 공정 도구로, 기관이 사용에 배치된 공정 챔버, 상기 챔버 내에 상기 공정 파라미터를 조절하는 하나 이상의 장치 및 상기 개시된 방법에 따라 하나 이상의 장치를 조절하도록 조절되는 제어기를 포함한다. 바람직하게는, 하나 이상의 장치는 다음을 포함한다: 하나 이상의 질량 흐름 제어기, 하나 이상의 플라스마 소스 전력 공급장치, 기관 바이어스 전력 소스(들), 압력 조절 밸브 및 배기 펌프 시스템.
- [0083] 에칭 및/또는 증착 방법, 이의 장치의 실시예는 이제 첨부된 도면을 참조하여 설명된다:
- [0084] 하기의 설명은 상기 설명된 보쉬 공정의 방식으로, 교대적 에칭 및 패시베이션 스텝을 사용하여 기관 내로 피처를 에칭하는 방법의 예시에 초점을 맞출 것이다. 그러나, 이미 표시된 바와 같이, 현재 개시된 기술은 하나의 특정 공정에만 사용하도록 제한되지 않고, 유리하게는 여러 스텝을 필요로하는 증착 및/또는 에칭 과정에 적용될 수 있다. "에칭 공정"은 이로써 지시된 공정의 전체적 효과는 기관으로부터 재료를 제거하는 어떤 공정이고(그 재료가 기관 자체의 부분이나 거기에 적용된 층을 형성하는지), 또한 "에칭 스텝"은 지시된 공정 파라미터의 전체적 효과는 재료의 제거인 것이다. 대조적으로, "증착 공정"은 기관에 재료의 전체적 부가를 야기하는 지시된 공정 파라미터이고, "증착 스텝"은 재료의 전체적 부가를 일으키는 지시된 공정 파라미터이다. 패시베이션 공정/스텝은 하기의 설명의 목적을 위한 증착 공정/스텝의 예시이나, 실제로 상기 패시베이션 층의 형성은 예를 들어, 극저온의 실리콘 에칭 공정에서의 실리콘 옥시플루오라이드 벽 패시베이션인 상기 전구체 가스(들) 및 상기 기관 사이의 반응과 관련이 있다.
- [0085] 용어 "에칭 가스" 및 "패시베이션 가스"는 각각, 문제의 특정 공정 파라미터에서 에칭 및 패시베이션을 가능하게하는 가스를 말한다. 예를 들어, C_4F_8 와 같은 일부 가스는 수행되는 다른 공정 파라미터에 따라 에칭 또는 증착될 수 있다. SF_6 는, 반면에, 오직 에칭만 가능한 가스의 예시이다.
- [0086] 상기 지시된 공정 파라미터는 다른 요소뿐만 아니라 유한한 반응 시간을 갖는 챔버에 기인하여, 어느 시점에서 상기 공정 챔버 내에서 실제로 설치된 것들과 동일하지 않을 수 있다. 본원 명세서에 "공정 파라미터"이 언급된 어느 곳이든, 상기 언급은 상기 챔버 내에서 실제 조건보다는 지시된 값인 것을 주목해야 한다.
- [0087] 도 1은 현재 개시된 방법들을 수행하는 데 적합한 표면 공정 도구의 구현예를 보여준다. 상기 표면 공정 도구(1)은 사용 중에 기관(30)이 내부에 배치되는 공정 챔버(2)를 포함한다. 에칭 또는 증착을 수행하기 위해, 하나 이상의 유입 가스들이 상기 공정 챔버(2)에 도입되며 바람직한 증착 또는 에칭 메커니즘을 달성하기 위해 조건들이 조절된다. 용어 "유입 가스"는 필요한 경우 불활성 캐리어 기체뿐만 아니라, 전구체 기체를 포함한다. 상기 챔버 내의 공정 파라미터들은 조절되며 적어도 하나의(그러나 보다 일반적으로는 다수의) 장치(3)들의 세트에 의해 조절될 수 있으며, 이 예시들은 도 1에 개략적으로 도시된다. 이러한 예에서, 상기 도구(1)은 상기 공정 챔버(2)에 각각 제1 유입 가스(G_1) 및 제2 유입 가스(G_2)를 공급하는 두 개의 유입 가스 공급장치(4a, 4b)들을 구비한다. 상기 챔버(2)로 각 가스의 진입은 각각의 질량 흐름 제어기(6a, 6b)들에 의해 조절된다. 이들은 각 가스의 바람직한 흐름 속도에 따라 더 크거나 더 작은 범위로 개방될 수 있는 밸브를 포함한다. 미반응 유입 가스 및 모든 반응 생성물을 포함하는 배기 가스는 덕트(7) 및 결합된 펌프(8)를 통해 공정 챔버(2)로부터 제거되며, 상기 펌프(8)는 일반적으로 상기 챔버 내부의 압력을 진공 수준의 조건으로 감소시킬 수 있다. 상기

챔버 압력은 대부분 배기 펌프 시스템에 의해 결정될 것이며 특히 펌핑 속도 및 상기 챔버에서 상기 펌프까지의 펌핑 라인의 "전도도"(이는 펌핑 라인의 형상에 관한 요소이다)에 의해 결정될 것이다. 그러나 공정 동안, 플라즈마가 생성되고 및/또는 에칭 또는 증착이 발생하는 때에, 가스 종들은 상기 챔버 내에서 줄어들거나 생성될 수 있으며 그로 인해 압력에 영향을 미친다. 이러한 변화를 조절하기 위해, 바람직하게는, 당해 분야에 공지된 바와 같이 자동 압력 조절 밸브(8a)가 제공된다. 상기 밸브(8a)는 상기 펌핑 라인의 전도도를 변화시키고 그로 인해 플라즈마가 충돌하고 재료가 에칭되는 동안 상기 압력이 원하는 수준에서 실질적으로 일정하게 유지될 수 있도록 한다.

[0088] 이러한 예에서, 상기 표면 공정 도구(1)은 전기 방전에 의해 상기 공정 챔버 내부에 플라즈마를 발생시키는 플라즈마 소스를 구비한다. 여기에, 상기 플라즈마 소스는 챔버(2)를 둘러싸는 코일(9)을 포함하는 유도 결합 플라즈마 소스로 도시되며, 이는 RF 정합 유닛(11)(RF matching unit)을 통해 전력 공급장치(10)로부터 RF 전력을 공급받는다. 상기 RF 정합 유닛(11)은 상기 공급장치로부터 상기 플라즈마로의 전력 전달 효율을 극대화하기 위해 플라즈마 임피던스를 상기 RF 공급장치(10)의 그것과 정합시킨다. 바람직한 정합 유닛의 예는 WO-A-2010/073006에 개시된다. 용량 결합 플라즈마(CCP)와 같은 플라즈마 소스의 다른 유형들이 대신에 사용될 수 있다. 다르게는, 상기 공정의 플라즈마 강화가 없을 수 있으며 이런 이유로 플라즈마 소스가 생략될 수 있다. 플라즈마 소스가 제공되면, 임의의 공정 단계 또는 모든 공정 단계 동안 이용되거나 어느 공정 스텝에서도 이용되지 않을 수 있다.

[0089] 상기 기관(30)은 사용 중에 플레튼(14)(platen)에 장착된다. 후술하는 바와 같이, 특정 공정 단계들에서 상기 기관(30)에 바이어스 전압을 적용하는 것이 유리하며 이는 전압 소스(12)를 상기 플레튼(14)에 연결함으로써 달성된다. RF 전력 공급장치(12)가 사용되면, 바람직하게는, 상기 전력 공급장치(12)로부터 상기 웨이퍼 테이블(14)까지 전력의 우수한 커플링을 보장하기 위해 자동 임피던스 정합 유닛(AMU)이 제공될 수 있다. 상기 도구(1)은 상기 기관의 공정 온도를 조절하기 위한 히터 및/또는 냉각 시스템과 같은 온도 조절 유닛(16)을 더 포함할 수 있다(공정 조절을 보조하고 그리고/또는 장비 안정성을 유지하기 위해 상기 공정 챔버 및 플라즈마 소스의 가열 및 냉각을 위한 추가 장치들이 제공될 수 있다). 예를 들어, 에칭이 주로 수행되는 경우, 바람직하게는, 상기 기관은 상기 기관 온도의 바람직하지 않은 증가를 유발하는 이온 충격 및/또는 발열 화학 반응 동안 상당량의 에너지가 상기 기관으로 전달되는 것을 방지하기 위해 순환 냉각제를 사용하여 냉각된다.

[0090] 장치(3)들은 프로그램 로직 제어기(PLC) 또는 유사한 장치와 같은 제어기(20)로부터의 지시에 따라 작동한다. 몇몇 경우에, 하나보다 많은 제어기가 제공될 수 있고, 각각의 제어기는 하나의 장치 또는 장치들의 서브세트를 제어한다. 또한, 상기 제어기는 사용자로부터 입력을 수신하고 그리고/또는 출력을 반환하는 컴퓨터 워크스테이션(25)과 같은 사용자 인터페이스 장치에 연결된다. 도 1에서, 상기 여러 장치(3)들과 상기 제어기(20) 사이의 데이터 접속들이 점선으로 표시되어 있다. 실제로, 이는, 예를 들어, 도 2에서 도시되는 바와 같이 네트워크를 통해 수행될 수 있다. 여기에, CANbus 브릿지(22)에 연결되는 제어기(20)가 도시되며, 이는 사용자 인터페이스(25) 뿐만 아니라 상기 장치(3)들 각각으로의 연결들을 갖는다. 상기 버스(22)는 일반적으로 직렬 데이터 채널(예를 들어, RS485)들과 같은 하나 이상의 데이터 채널들과 선택적으로 하나 이상의 전력 채널들을 포함하는 다수의 네트워크 채널들을 포함한다. 상기 제어기(20)는 상기 버스(22)를 거쳐 명령들을 내리며, 이들 각각은 하나 이상의 상기 장치들의 보내지고 해당 장치가 수행해야 하는 하나 이상의 공정 파라미터들에 관한 지시들을 포함한다. 상기 장치들의 조절을 위한 명령들을 내리는데 사용될 수 있는 네트워크 프로토콜의 일 예는 WO-A-2010/100425에 제시된다. 물론, 당해 분야의 통상의 기술자에 의해 이해되는 바와 같은 많은 다른 구현들이 가능하다.

[0091] 상기 장치(3)는 일련의 조절 스텝에서 상기 제어기에 의해 조절되고, 각 스텝은 상기 장치(3)이 수행되도록 지시되는 공정 파라미터의 정의된 세트에 해당한다. 실제로, 임의의 한 스텝을 수행하기 위하여 여러 명령이 제어기(3)에 의해 장치(3)에 보내질 수 있다; 예를 들어, 제2 및 후속 명령이 질량 제어기 6(a) 및 상기 스텝에서 출력이 바뀔수 있는 임의의 다른 장치에 보내지는 동안 제1 명령이 제1 질량 흐름 제어기 6(a)에 보내질 수 있다. 따라서, 임의의 한 스텝을 위한 공정 파라미터의 완전한 세트를 수행하기 위해 필요한 모든 명령이 동시에 보내지거나 수신되지 않아도 되는 반면, 실제로 상기 네트워크 속도는 상기 스텝 타이밍과 비교하여 빠를 것이고 따라서 임의의 한 스텝을 위한 지시는 실질적으로 즉시 장치(3)에 발행되는 것이 고려될 수 있다. 대안적으로, WO-A-2010/100425에 개시된 것과 같은 기술은 적용될 수 있어 이로써, 각 장치를 위한 지시들은 각 개별적

장치와 관련 있는 인터페이스 모듈에 배달될 수 있고, 지시가 각 장치에 동시에 보내지는 지점에서 유발 메시지가 모든 관련있는 인터페이스 모듈에 발행될 때까지 저지된다.

[0092] 공정 파라미터의 한 정의된 세트는, 만약 공정 파라미터의 어느 하나가 두 세트 사이의 값에서 변하면, 다른 것과는 다른 것으로 고려된다. 문제의 상기 공정 파라미터는 수행되는 공정에 따르나 일반적으로 다음을 포함한다: 하나 이상의 유입 가스(예, 현재 실시예의 G_1 및 G_2)의 흐름 속도(들), 챔버 압력(배기 펌프 속도 및/또는 압력 밸브 설정에 의해 조절되는), 플라스마 소스 전력 및/또는 주파수, 기판에 적용되는 임의의 바이어스 전압의 전력 및/또는 주파수 및 웨이퍼 테이블 14 및 많은 경우에 공정 챔버(2).

[0093] 도 3(i)는 개략적으로 에칭/증착 방법의 제1 구현예에 따라 수행된 일련의 조절 스텝을 도시한다. 여기에서, 상기 일련의 스텝은 순차적 사이클 C_1 , C_2 , C_3 등으로 구성되고, 각각은 세개의 조절 스텝 S_1 , S_2 및 S_3 을 포함한다. 각 조절 스텝의 시작에서, 상기 장치(3)는 상기 스텝의 지속 동안, 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하도록 제어기(20)에 의해 지시된다. 특정 조절 스텝에서, 하나 이상의 파라미터 값은 상기 스텝의 지속에 걸쳐 다양하게 지시될 수 있다. 그러나, 각 사이클에서 상기 스텝의 적어도 하나, 바람직하게는 모두는 상기 스텝의 지속 동안 일정한 정의된 공정 파라미터의 지시와 관련이 있다.

[0094] 도 4를 참조하여 다음의 각 조절 스텝의 기능을 설명한다. 이 실시예에서, 상기 공정은 실리콘 웨이퍼(30)과 같은 기판 내로 피처를 에칭하는 수정된 보쉬 타입 공정이다. 도 4(a)에 도시된 바와 같이, 초기에 상기 기판(30)은 상기 공정 챔버(2)내의 플레이트(14)상에 배치된다. 상기 기판은 그 위에 적용된 마스크(32)와 함께 실리콘 웨이퍼(31)를 포함하고, 포토레지스트의 예시를 형성한다. 상기 마스크(32)는 실리콘 웨이퍼 내로 에칭되는 바람직한 피처 F의 측방향 범위를 정의한다. 조절 스텝 S_1 에 해당하는 제1 스텝에서, 상기 기판은 CF_4 와 같은 패시베이션 가스 G_1 에 노출되고, 상기 가스는 패시베이션 재료(33)의 층(폴리머와 같은)을 상기 기판의 전체적 표면에 걸쳐 증착한다. 스텝 S_2 및 S_3 은 일괄적으로 에칭을 수행한다: 이러한 방식으로 기존의 보쉬 타입 에칭 스텝을 둘로 나눔으로써, 마스크 선택성이 향상된다. 스텝 S_2 에서, SF_6 와 같은 에칭 가스 G_2 는 챔버내로 지시되고 상기 증착된 패시베이션 재료의 방향성 이온 보조식 에칭은 바이어스 전압이 플레이트(14)에 적용됨으로써 수행된다. 상기 바이어스 전압은 상기 가스 이온상에 거의 수직 방향성을 부여하는 전기장을 설치한다. 이러한 방식으로, 패시베이션 재료는 피처의 베이스로부터 또한 상기 마스크(32)의 상부표면으로부터 제거되고, 기판 재료(31)를 노출시킨다. 그러나, 상기 에칭되는 피처의 측벽은 패시베이션 범위(33)를 유지한다. 도 4(d)에 도시된 스텝 S_3 에서, 상기 에칭은 에칭 가스 G_2 와 기판 재료(31)사이의 화학적 반응의 방법에 의해 진행된다. 예를 들어, 상기 에칭 가스(G_2)가 SF_6 인 경우(또는 플루오린을 방출하는 다른 일반적인 에칭 가스), 플라스마로부터의 플루오린 라디칼은 노출된 실리콘과 반응하고, 휘발성 생성물을 형성한다. 상기 휘발성 생성물은 표면으로부터 탈리되어 등방성 방식으로 실리콘을 제거한다. 이러한 방식으로, 상기 피처(34)의 베이스 표면(34a)이 깊이는 증가한다. 그러나, 상기 깊이가 증가함에 따라, 새로운 측벽 영역(34b)이 형성되고 상기 기판 재료는 수직 방향(웨이퍼 아래로)뿐만 아니라 측방향으로 제거된다.

[0095] 도 4(e)는 S_1 가 반복되고, 이로써 패시베이션 재료(33)의 새로운 층을 적용하는 사이클 C_2 의 시작을 도시한다. 상기 에칭은 따라서 정지되고 상기 새로운 측벽 영역 및 피처(34)의 베이스 표면은 재코팅된다. 도 4(f) 및 4(g)에 도시된 바와 같이 상기 피처의 측방향 확장을 조절하는 동안, 후속적 에칭은 상기 피처의 베이스표면으로부터만 다시 패시베이션 재료를 제거하고, 계속 하방 에칭을 가능하게 한다. 여러 번 반복한 후, 상기 결과는 도 4(h)에 개략적으로 도시된 바와 같이, 거의 수직 측벽(34b) 정확하게는 마스크 피처와 정렬된 벽을 갖는 에칭 피처(34)이다. 그러나, 각 에칭 사이클은 조절될 필요가 있는 측벽(34b) 내에, 측벽의 위치 정밀도를 유지하기 위해 "스컬럽"(34c) 즉, 오목부를 제조할 것이다.

[0096] 상기 스텝 S_1 , S_2 , 및 S_3 각각의 상기 최적의 공정 파라미터는 매우 다양하다. 도 3에서 플롯(a), (b) 및 (c)는 세 개의 예시적인 공정 파라미터의 값을 도시하고, 일련의 스텝에 따른 그들의 변형을 도시한다(각 플롯의 y-축은 개략적이고 실제 규모가 아닌 것을 이해해야한다). 도 3(a)는 질량 흐름 제어기(6a)에 의해 조절되는, 공정 챔버 내의 패시베이션 가스 G_1 의 흐름 속도(Q)를 도시한다. 상기 실선 (i)은 상기 지시된 공정 파라미터 값을 나타내는 반면, 상기 점선(ii)은 하기에 설명되는 이유로, 어느 한 순간에 지시된 것들과는 상당히 다를 수 있는 챔버 내의 실제 조건을 개략적으로 나타낸다. 선(ii)은 순전히 개략적이고 챔버 조건을 정확히 나타내고자하는 것이 아니고, 지시된 것들과 다를 수 있다는 것을 강조하는 것임을 이해해야한다.

[0097] 도 (3b)는 에칭 가스 G₂의 유입을 위해 동일한 정보를 보여주는 플롯이다.

[0098] 도 3(c)는 상기 웨이퍼에 적용되는 지시된 전력 출력을 보여주는 플롯이다(즉, 상기 기관 바이어스). 일반적으로, 이는 상기 가스 조건에 영향을 주지 않기 때문에, 상기 실제 전력 출력은 지시된 것을 밀접하게 반영하고, 따라서 실제 조건을 나타내는 별도의 선이 주어지지 않는다.

[0099] 따라서, 패시베이션 스텝 S₁에서, 공정 파라미터의 해당 세트는 제1 유입 가스 G₁의 높은 흐름 속도, 제2 유입 가스 G₂의 제로(또는 공칭) 흐름속도 및 제로(또는 공칭) 바이어스 전압 전력을 포함한다. 에칭의 제1 부분에 해당하는 스텝 S₂에서, 제2유입가스 G₂의 것이 증가하고 상기 바이어스 전압 전력이 상기 기관으로의 높은 이온 플럭스를 보장하도록 켜진 동안, 상기 제1 유입 가스 G₁의 흐름 속도는 제로(또는 공칭 값)로 감소된다. 에칭의 제2부분에 해당하는 스텝 S₃에서, 상기 기관 바이어스 전력이 꺼진 동안, 가스 G₂의 질량 흐름 속도는 증가한다.

[0100] 도 3은 단지 선택된 공정 파라미터를 도시하고 실제로 추가적인 파라미터는 한 스텝으로부터 다음까지 조절 및/또는 변경된다는 것을 이해해야 한다. 특히, 높은 전체적 에칭 속도를 달성하기 위해, 상기 패시베이션 스텝 S₁은 일반적으로, 상당히 등각, 심지어는 피처의 모든 표면에 증착을 야기하는 패시베이션 재료의 균일한 증착을 위해 최적화된 조건에서 상대적으로 낮은 챔버 압력에서 작동되는 것이 바람직하다. 챔버 압력의 선택은 증착 속도에 영향 및/또는 상기 증착된 재료의 화학 양론(stoichiometry)을 조절하는데 사용될 수 있다. 에칭 스텝(S₂)는 이온 충돌을 감소시키고 실리콘 웨이퍼로의 이온 플럭스의 방향성을 증진시키기 위해, 바람직하게는 유사한 또는 더 낮은 압력에서 수행된다. 반대로, 에칭 스텝 S₃는 다수의 플루오린 라디칼을 형성하고 따라서 빠른 에칭 속도이기 위해 바람직하게는 높은 압력에서 작동된다.

[0101] 각 스텝에 대한 공정 파라미터의 예시적인 세트는 하기 표 1에서 설명된다. 여기에 주어진 예시적인 파라미터 및 여기에 주어진 모든 다른 실시예들은 직경 200mm까지 기관을 처리할 수 있는 장치에 적합하여야 한다. 숙련된 기술자는 다른 기관 크기에, 상기 파라미터는 적절한 크기 조절이 필요하다는 것을 이해할 것이다. 기관 바이어스 전력이 와트(Watts)로 주어진 경우(즉, 전력 밀도 보다 전력으로 적용된), 이들은 314 cm²의 기관영역을 가정한다(예. 200mm 직경 기관).

[0102] [표 1]

공정 파라미터												
시간 (ms)	단계	스텝	지속 (ms)	G1 (sccm)	G1 (Pa·m ³ /s)	G2 (sccm)	G2 (Pa·m ³ /s)	Pw (W/m ²)	압력 (mTorr)	압력 (Pa)	Pp (kW)	Tgr (mS)
0	1	1	250	200	0.338	10	0.0169	30	50	6.6661	1.5	845
500	2	2	300	10	0.0169	200	0.338	4750	25	3.33305	2	423
1100	3	3	550	10	0.0169	800	1.352	30	130	17.3319	5	570

[0103]

[0104] 시간은 S₁ 스텝의 시작으로부터 경과한 시간을 말한다; 지속은 각 스텝의 길이를 말한다; G₁은 가스 G₁의 질량 흐름 속도이다; G₂는 가스 G₂의 질량 흐름 속도이다(상기 질량 흐름 속도 값은 sccm 및 Pa.m³/s의 단위 모두로 주어진다); P_w는 다른 웨이퍼 크기를 설명하기 위해 전력 밀도에 관하여 주어진, 웨이퍼(즉, 기관 바이어스)에 적용된 전력밀도이다(예를 들어, 30W/m²의 전력 밀도는 200mm 직경 웨이퍼에 적용되는 약 1W에 해당한다); 압력은 챔버의 압력을 말한다; P_p는 플라즈마 전력이고 T_{gr}은 하기에 정의된 바와 같이, 가스 체류 시간이다.

[0105] 중요하게는, 통상적 공정과 비교하여, 각 조절 스텝의 지속은 매우 짧다. 예를 들어, 상기 주어진 실시예에서, 제1 에칭 스텝 S₂의 지속 T_{s2}이 약 300ms인 반면, 패시베이션 스텝 S₁의 지속 T_{s1}은 약 250ms 이고, 상기 제2에칭 스텝 S₃의 지속 T_{s3}은 약 550ms이고, 약 1.1초의 총 사이클 시간을 만든다. 이 종류의 스텝 지속은, 가스 조건에서 변화에 반응하기 위한 공정 챔버(2)에 의해 걸리는 시간에 비교하여 빠르다. 이는 상기 공정 챔버(2)의 "가스 체류 시간", T_{gr}, 으로 나타내고, 각 공정 스텝에서 다음과 같이 정의된다:

$$T_{gr} = \frac{pV}{Q}$$

[0106]

[0107] P는 챔버(2) 내의 압력이고, V는 상기 공정 챔버의 부피이고 Q는 챔버를 통하는 (총)가스 흐름 속도이다.

[0108] 플라즈마 소스, 공정 챔버 및 로컬 펌핑 덕트의 일반적인 설정을 위해, 이 실시예에서 상기 공정 챔버(2)의 부피는 약 45리터(0.045m^3)이다. 따라서, 테이블1에 주어진 예시적인 공정 파라미터를 위해, 스텝 S₁동안 상기 가스 체류 시간은 약 850ms, S₂동안 약 400ms 및 스텝 S₃동안 약 600ms이다. 이것은 공정 챔버 내에 포함된 가스의 부피가 또 다른 것으로 대체되기 위해 즉, 새로운 공정 파라미터에서 정상 상태에 도달하기 위해 요구되는 시간의 수치이다. 그러나, 본 구현예에서, 적어도 하나의 상기 조절 스텝의, 바람직하게는 여러 조절 스텝, 가장 바람직하게는 조절 스텝 각각의 지속은. 그 조절 스텝의 해당 가스 체류 시간 미만이다. 이러한 짧은 스텝이 작동적 효과가 없을 것이라고 예상되는 반면, 실제로, 본 발명자는 상기 공정챔버가 정상 상태 조건에 도달되지 않음에도 불구하고 매우 좋은 결과를 달성할 수 있음을 발견하였다. 이론에 구애됨이 없이, 공정 조건에서 조절 스텝의 시퀀스에 의해 도입된 주기적 변화는, 개개의 공정 파라미터의 세트가 챔버 내에 설치된 실제 조건에 관하여 또 다른 것로부터 명확하게 기술되지 않음에도 불구하고, 도 4에 도시된 다른 메커니즘의 바람직한 사이클에 영향을 주기에 충분하다.

[0109] 조절 스텝 지속이 상기 가스 체류 시간 미만인 것의 인식은 상당한 이점을 효과적으로 제공한다. 우선, 전반적인 사이클 시간 T_{cl}은 통상적인 공정에 비해 상당히 감소될 수 있다. 예를 들어, 상기 설명된 예시적인 구현예는, 통상적인 보쉬 공정 사이클이 일반적으로 대략 10초 이상인 것에 반해, 1.1초의 사이클 지속을 가진다. 사이클 시간을 감소시키는 것은 도 4의 고찰로부터 이해될 수 있는 바와 같이 상이 스킴(34c)의 측방향 범위를 감소시킨다. 개개의 화학적 에칭 스텝S₃가 짧고 보다 빈번한 간격으로 측벽이 패시베이션되기 때문에, 가능한 측방향 에칭의 정도가 감소될 것이다. 특정 에칭 깊이의 피처를 창조하기 위해 더 많은 사이클이 사용될수록, 개개의 스킴이 더 작아질 것이고 따라서 측벽(34b)는 매끄러운 표면에 더 근접할 것이다.

[0110] 이러한 개선은 또한 수행되는 증가된 에칭 속도를 상쇄하기 위해, 예를 들어, 스텝 S₃동안, 상기 공정 챔버에 도입된 에칭가스의 농도를 증가시킴으로써 사용된다. 상기 설명된 방식으로(또는 사이클 주파수를 증가시키는 것과 유사하게) 각 사이클의 주기를 감소시킴으로써, 상기 피처의 측벽이 보다 빈번하게 패시베이션될 것이고 따라서, 빠른 에칭의 해로운 영향을 부정하고, 따라서 측벽의 위치 정밀도를 유지하면서 단 시간에 달성되는 바람직한 에칭 깊이를 가능하게 한다.

[0111] 또 다른 장점은 상기 에칭 공정의 효율을 개선시킬 수 있는 가능성이다. 도 4에 도시된 바와 같이, 단지 에칭 스텝 S3동안 기관 재료는 실제로 제거되고 상기 피처의 깊이는 증가한다. 스텝 S₁ 및 S₂는 피처의 측방향 정확도를 보장하기 위해 필요하나 그 자체가 피처의 깊이를 증가시키는데 기여하지 않는다. 매우 짧은 패시베이션 및 패시베이션 제거 스텝(S₁ 및 S₂)의 사용은 기관 재료 그 자체(스텝 S3)의 에칭을 가능하게 하는 사이클 시간의 비율을 증가시킬 수 있다. 이러한 구현예의 실시예는 도 5에 도시되고, 상기 도 5는 제 2 구현예에서 수행될 수 있는 일련의 조절 스텝을 도시한다. 여기서, 참조 부호는 도3에 사용된 것과 해당한다. 스텝 S₁ 및 S₂는 에칭 스텝 S₃이 각 사이클 C₁, C₂ 등의 큰 부분을 형성하도록 상당히 짧은 것을 알 수 있다. 상기 에칭 스텝 S₃은 바람직하게는 상기 사이클 시간의 적어도 50%, 보다 바람직하게는 약 80% 동안 수행된다. 표 2는 해당 스텝 지속과 함께 각 조절 스텝에 지시될 수 있는 예시적인 공정 파라미터 세트를 제시한다.

[0112] [표 2]

시간 (ms)	단계	스텝	지속 (ms)	공정 파라미터							Pp (kW)	Tgr (mS)
				G1 (sccm)	G1 (Pa·m ³ /s)	G2 (sccm)	G2 (Pa·m ³ /s)	Pw (W/m ²)	압력 (mTorr)	압력 (Pa)		
0	1	1	125	200	0.338	10	0.0169	30	50	6.6661	1.5	845
250	2	2	150	10	0.0169	200	0.338	4750	25	3.33305	2	423
550	3	3	825	10	0.0169	800	1.352	30	130	17.3319	5	570

[0113]

[0114] 각 스텝에 선택된 예시적인 공정 파라미터 값은 제 1구현예의 것들과 동일하고 따라서 각 스텝의 가스 체류 시간은 변하지 않는 것을 알 수 있다: 스텝S₁에서 약 850ms, 스텝 S₂에서 약 400ms 및 스텝 S3에서 약 600ms. 따라서, 이 실시예에서, 스텝 S₁ 및 S₂는, 스텝 S₃의 지속이 긴 반면, 처리챔버의 해당 가스 체류 시간 이하인 지속을 가진다. 스텝 S₃이 수행되는 동안, 상기 기관 재료의 에칭이 시간의 큰 비중을 차지하기 때문에, 각 공정 사이클의 비율이 증가함으로써, 공정의 전체적인 효율이 증가된다. 이와 같이, 피처를 에칭하는 전체적인 속도

는 증가될 수 있다. 그러나, 스텝 S3의 증가된 지속은 증가된 스케럽 크기를 이끌 수 있다고 이해될 수 있고, 따라서 이에 직면하기 위해, 제2의 것과 조합하여 제1구현예의 원리를 적용하여, 전체적 사이클 시간을 추가로 감소시키는 것은 유리하다.

[0115] 제1 및 제2 구현예에서 상기 주어진 예시적인 공정 파라미터는 순전히 예시적인 것이고, 실제로 사용되는 가스 중 및 추가적 요구에 따라 변화된다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 상기 패시베이션 스텝 S₁은 일반적으로 3 내지 12 Pa, 바람직하게는 약 7Pa인 웨이퍼 상에 요구되는 프로 파일에 의존하는 압력의 범위에 걸쳐 수행될 수 있다. 동일한 스텝 동안 상기 가스 흐름은 전형적으로 100 내지 500 sccm의 범위, 보다 바람직하게는 200 내지 300 sccm이다. 전형적으로, 높은 압력이 사용되는 경우, 상기 흐름 속도는 일반적으로 증가될 수 있다. 상기 패시베이션 제거 스텝 S₂에서, 가스 흐름은 전형적으로 200 내지 500 sccm, 바람직하게는 300 내지 400 sccm의 범위일 것이고, 챔버 압력은 바람직하게는 1 내지 10 Pa, 보다 바람직하게는 약 3Pa이다. 기관 에칭 스텝 S3에서, 상기 압력은 일반적으로 7 내지 30 Pa, 바람직하게는 약 10Pa일 것이나, 가스 흐름 속도는 전형적으로 요구 사항에 따라 600 내지 1000 sccm으로 다양하다. 파라미터의 바람직한 선택은 일반적으로 약 2초 이하의 각 스텝에 대한 가스 체류 시간을 제공하고, 보다 바람직한 구현예에서, 상기 파라미터는 평균적으로 1초 이하의 가스 체류 시간을 제공하기 위해 선택된다.

[0116] 상술된 바와 같이, 각 각의 연속적인 공정을 위한 최적의 공정 파라미터는 현저하게 다르다. 예를 들어, 스텝 S₂ 및 S₃ 사이의, 가스 G₂의 흐름 속도는 3 이상의 요소에 의해 증가되는 동안 스텝 S₁ 및 S₂사이의, 제1 가스 G₁의 흐름은 정지되고, 제2 유입 가스 G₂의 유사한 흐름 가스로 대체될 것이다. 마찬가지로, 챔버 압력에서, 또한 상기 웨이퍼 또는 다른 기관(P_w) 및 상기 플라즈마 소스(P_p)에 적용되는 전력 수준에서, 다양한 변화가 있다.

[0117] 실제로, 이 크기의 공정 조건의 급격한 변화는 어려움의 번호(number of difficulties)를 야기한다. 예를 들어, 하나의 가스 타입에서 다른 것으로의 갑작스러운 전이는 플라즈마를 불안정하게 할 수 있고, 잠재적으로 이 것의 소멸을 야기한다. 마찬가지로, 가스 타입이 변화되지 않을 때 압력 또는 가스 흐름 속도에서 갑작스러운 큰 변화는 불안정한 효과를 가질 수 있다. 게다가, 만일 이러한 경우가 너무 급격한 경우, 공정 파라미터의 변화가 플라즈마 임피던스 변화를 야기시킬 것이고, 모듈(11)과 같은 RF 정합 시스템은 상기 변화를 따르기에 충분히 빠르지 않을 수 있고, 열악한 전력 전송을 야기한다. 이 것은 상대적으로 느리게 반응하는 하나 이상의 기계적 구성요소와 일반적으로 관련이 있는 RF 정합 시스템 때문이다. 가스 흐름(예. 한 유입 가스에서 다른 것으로의 변화 또는 한 가스의 흐름 속도의 상당한 변화)에서 갑작스러운 큰 변화는 또한 압력 조절 밸브 (8a)를 열악한 압력 조절로 이끄는 이것의 적절한 위치인 "오버슈트(overshoot)"으로 야기할 수 있고, 이는 플라즈마-강화 이든 아니든 처리를 방해할 수 있다.

[0118] 본 발명의 제3구현예에서 해결된 것과 같은 문제들은 도 6에 도시되었다. 다시, 상기 기술은 수정된 보쉬-타입 에칭 공정을 참조하여 기술되나, 여러 스텝에서 요구되는 임의의 증착 또는 에칭 공정에 적용될 수 있다.

[0119] 도 6(i)는 도 1에 도시된 것과 같은 표면 공정 도구에 의해 수행되는 일련의 조절 스텝을 도시한다. 이전과 같이, 각 조절 스텝 S₁, S₂, S₃ 등등은, 지속 동안 제어기(20)가 장치(3)의 세트가 출력되도록 지시하는 공정 파라미터의 정의된 세트와 연관이 있다. 다시, 반복되는 사이클을 형성하는 공정에 대한 세가지 주요 항목이 있다: 패시베이션 증 제거 공정 하위단계 P₂ 및 기관 에칭 공정 하위단계 P3를 포함하는 패시베이션 공정 단계 및 에칭 공정 단계. 이들은 구현예 하나 및 둘에서 설명된 세개의 순차적 조절 스텝 S₁, S₂ 및 S₃에 광범위하게 해당한다. 그러나, 본 발명의 구현예에서, 각 공정 단계(또는 하위단계)는 하나의 조절 스텝 이상으로 구성된다. 도 6(i)에서 상기 공정 단계 및 하위단계는, 상기 조절 스텝은 파선으로 둘러싸인 임의의 한 공정 단계 또는 하위단계를 포함하는 반면, 실선을 사용하여 한 다른 것으로부터 묘사된다. 그러나, 실제로는, 일련의 조절 스텝 동안 임의의 지점에서, 어떤 한 공정 단계 및 그들의 끝 또는 시작에서 조절 스텝 사이의 이러한 차이가 없을 것이다: 이 표기법은 단지 명확성을 위해서 사용된다.

[0120] 도 6(a), (b) 및 (c)는 세개의 예시적인 공정 파라미터의 값을 도시하고, 장치의 세트를 위해 제어기에 의해 행해지는 지시에 관하여, 한 조절 스텝에서 다음으로 그들의 변화를 보여준다(명확성을 위해, 상기 공정 챔버 내에서 실제 조건을 대표하지 않는다). 이전과 같이, 세가지 부분(a), (b) 및 (c)는 각각, 제1가스 G₁의 가스 흐름 속도, 제2 유입 가스 G₂의 가스 흐름 속도 및 기관에 적용되는 전력 수준(P_w)을 도시한다. 조절 스텝의 시

퀀스는 다른 공정 단계에서 요구되는 극한의 파라미터 값 사이의 점진적인 전이를 달성하기 위해, 다수의 중간 조절 스텝을 이제 포함하는 것을 알 수 있다.

[0121] 원하는 출력 효과를 위해 "최적의" 공정 조건에 가장 가깝게 해당하는 각 공정 단계 또는 하위단계 내의 상기 조절 스텝은 공정 단계 또는 하위단계를 위한 "코어" 공정 스텝으로 지칭될 수 있다. 예를 들어, 본 구현예에서, 패시베이션 공정 단계P1은 코어 공정 스텝 등의 상태를 나타내기 위해 도 6에 별표로 강조표시하는 코어 패시베이션 스텝 S_2 를 포함한다. 스텝 S_2 동안, 상기 장치는 패시베이션 가스 G_1 의 최대 가스 흐름 속도, 에칭 가스 G_2 의 최소 또는 제로의 가스 흐름 속도 및 제로 또는 공칭 웨이퍼 바이어스가 출력되도록 지시한다. 패시베이션 제거 공정 하위단계P2내에 점진적인 전이에 영향을 주기 위해, 패시베이션 가스 G_1 의 질량 흐름 속도가 감소되고 반면 에칭 가스 G_2 의 그것이 바람직한 패시베이션 제거 조건이 코어 패시베이션 제거 스텝 S_7 에서 달성될 때까지 증가되는 동안, 패시베이션 공정 단계 P1의 끝은 두 중간 조절 스텝 S_3 및 S_4 를 포함한다.

[0122] 각각의 중간 조절 스텝에서, 상기 공정 파라미터의 정의된 세트는 선행 및 후행 스텝의 것들의 사이에 놓인 상기 제어기로부터 장치(3)의 세트로 출력한다. 예를 들어, 스텝 S_3 에서, 패시베이션 가스 G_1 의 지시된 질량 흐름 속도는, 에칭 가스 G_2 의 질량 흐름 속도는 선행 스텝 S_2 의 것 이상이고 후행 스텝 S_4 의 것 이하인 반면, 선행 스텝 S_2 에서의 것 이하이나, 후행 중간 조절 스텝 S_4 의 것 이상이다. 모든 공정 파라미터가 중간 조절 스텝을 구성하는 스텝을 위한 중간값으로 변경해야 할 필요가 있는 것은 아님을 주목해야 한다; 오히려, 임의의 하나 이상의 공정 파라미터가 중간 값으로 변경될 것이다. 그러나, 가스 타입의 변화가 있는 경우(예. 패시베이션 가스 G_1 으로부터 에칭 가스 G_2 로), 일반적으로 적어도 하나의 중간 조절 스텝에서 두 가스의 질량 흐름은 두 가스가 상기 스텝의 지속 동안 흐르기 위해 지시되도록, 선행 및 후행 스텝에 대하여 중간일 것이다. 예를 들어, 중간 스텝 동안, 가스 혼합물은 대 제2종(예. G_2)에 대한 제1종(예. G_1)의 비가 1:10 내지 10 :1, 바람직하게는 1:3 내지 3:1, 보다 바람직하게는 1:2 내지 2:1, 가장 바람직하게는 약 1:1의 비율을 가질 수 있다. 이것은 상기 코어 공정 스텝 동안, 상기 필요한 에칭 및 패시베이션 가스가 크게 지배되는 동안의 바람직한 가스 유입과 상반되어야 한다(예. 임의의 제2 가스에 대한 우세한 가스의 비가 10:1 이상, 보다 바람직하게는 약100대1이다).

[0123] 이러한 방식으로 하나 이상의 중간 조절 스텝의 사용은 한정된 기간 동안 한 극한의 공정 파라미터의 세트에서 다른 것으로의 전이를 조절하기 위해 사용될 수 있고, 이로써 플라즈마 안정성을 유지하는데 도움이 되고 RF 정합 시스템이 따를 수 있는 것과 같은 느린 구성요소의 속도에서 전이가 일어나는 것을 보장한다.

[0124] 도 6의 예시에서, 여러 중간 조절 스텝이 각 인접한 코어 조절 스텝의 쌍 사이에 도입되는 동안(예. 다음 사이클에서 스텝 S_2 및 S_7 사이, 스텝 S_7 및 S_{12} 사이, 스텝 S_{12} 및 S_2 사이), 실제로 두개의 다른 공정 스텝 사이의 단일 전이 스텝도 도움이 될 수 있다. 또한, 중간 조절 스텝은 공정 단계 사이의 모든 전이에서 배치될 필요는 없지만, 일반적으로 적어도 하나의 중간 공정 스텝은 각 사이클에 사용된다.

[0125] 상기 주어진 실시예에서, 상기 조절 스텝은, 각 스텝에서 지시된 공정 파라미터의 전체적 효과에 따른 각각의 공정 단계 P_2 및 P_3 에 기여한다: 만일 전체적 효과가 없다면, 상기 조절 스텝은 인접한 공정 단계 또는 다른 것을 형성하기 위해, 중간, 공정 단계의 부분으로 고려될 수 있다.

[0126] 제3구현예에서, 상기 조절 스텝은 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간보다 길거나 짧은 지속으로 수행될 수 있다. 그러나, 상기 해당 가스 체류 시간 이하의 지속의 짧은 조절 스텝의 사용이 논의된 모든 이유에서 제1 및 제2구현예와 관련하여 바람직하다. 특히, 적어도 하나의 중간 조절 스텝은 바람직하게는, 상기 챔버의 해당 가스 체류 시간 이하인 지속을 가지며, 보다 바람직하게는 각 중간 조절 스텝은 이 조건을 공유한다.

[0127] 표 3은 제3구현예에 도시된 각 14 스텝에서 공정 파라미터에 대한 예시적인 값 및 해당 가스 체류 시간(T_{gr})을 제시한다.

[0128] [표 3]

시간 (ms)	단계	스텝	지속 (ms)	공정 파라미터							Pp (kW)	Tgr (mS)
				G1 (sccm)	G1 (Pa.m ³ /s)	G2 (sccm)	G2 (Pa.m ³ /s)	Pw (W/m ²)	압력 (mTorr)	압력 (Pa)		
0	1	1	10	150	0.2535	50	0.0845	30	60	7.99932	2	1065
10		2*	235	200	0.338	10	0.0169	30	50	6.6661	1.5	845
245		3	5	175	0.29575	50	0.0845	30	50	6.6661	1.5	789
250		4	5	125	0.21125	100	0.169	2375	45	5.99949	1.5	710
255	2	5	5	75	0.12675	150	0.2535	3950	35	4.66627	2	552
260		6	5	10	0.0169	200	0.338	4750	30	3.99966	2	507
265		7*	250	10	0.0169	200	0.338	4750	25	3.33305	2	423
515		8	40	10	0.0169	400	0.676	4750	30	3.99966	2	260
555	3	9	5	10	0.0169	500	0.845	3950	50	6.6661	3	348
560		10	5	10	0.0169	600	1.014	2375	80	10.6658	4	466
565		11	10	10	0.0169	700	1.183	30	100	13.3322	5	500
575		12*	500	10	0.0169	800	1.352	30	130	17.3319	5	570
1075	3	13	15	50	0.0845	500	0.845	30	100	13.3322	4	645
1090		14	10	100	0.169	150	0.2535	30	80	10.6658	3	1136

[0129]

[0130]

[0131]

도 8 및 9를 참조하여 더 자세히 논의될 것임에 따라, 더욱 바람직한 구현에에서, 상기 패시베이션 층 제거 공정 단계 P2는 유리하게는 도 6(i)에 도시되지 않은, 한층 더 조절 스텝으로 서브-분할될 수 있다. 도 6(d)는, 웨이퍼에 적용되는 전력이 제로(또는 공칭 값) 및 방향성 이온 에칭에 영향을 주기에 충분히 높은 값 사이에서 교대하는, 코어 패시베이션 층 제거 단계 S7가 매우 짧은 조절 단계(예. 5 ms 이하)의 시퀀스를 형성하는 도 6(c)의 확대된 영역을 도시한다. 이러한 방식으로 높고 낮은 수준 사이에서 교대하도록 전력의 조절은 기관 내의 절연층 상에 전하의 빌드 업을 감소시키고, 이로써 하기 설명될 바와 같이 노칭을 감소시킨다. 각 개별적 스텝 S7a, S7b, S7c등등은 이미 설명된 다른 조절 스텝들과 같은 방식으로 제어기에 의해 지시된다.

[0132]

이제, 증착 및/또는 에칭 공정에서 짧은 조절 스텝들의 또 다른 유리한 응용이 도 7을 참조하여 기술될 것이다. 도 7(i)는 본 발명의 제4 실시예에서 주기적으로 수행되는 일련의 조절 스텝들을 도시한다. 다시, 수정된 보쉬-타입 에칭 공정이 예로서 사용된다. 상기 도 6의 실시예와 같이, 각각의 사이클은 패시베이션 공정 단계(P1), 패시베이션 층 제거 공정 하위단계(P2), 및 기관 에칭 공정 하위단계(P3)에 대응하는 세 부분들로 나뉜다. 각각의 공정 단계 / 하위단계는 복수의 조절 스텝(S_1 내지 S_8)들을 포함한다. 별표로 강조된 조절 스텝들은 다시 코어 조절 스텝들을 나타내며, 이 동안 지시된 공정들은 바람직한 공정 메커니즘을 구현하기 위해 최적화된다. 따라서, S_1 은 코어 패시베이션 스텝이며, S_4 는 코어 패시베이션 층 제거 스텝이고, S_7 은 코어 기관 에칭 스텝이다. 여기서, 코어 스텝들 사이의 상기 개재 공정 스텝들은 조건들의 한 세트로부터 또 다른 세트로 점진적인 전이를 가져오도록 사용되지 않고 장비 반응 시간에 의해 유발되는 지연을 고려하도록 사용된다.

[0133]

실제 표면 공정 도구들에서, 상기 기구의 상이한 장치들은 필요한 기능을 수행하기 위해 상이한 시간을 요구할 것이다. 예를 들어, 밸브[예를 들어, 질량 흐름 제어기(6a, 6b)들에 포함됨]와 같은 기계 장치는 폐쇄된 또는 거의 폐쇄된 구조로부터 그 특정 수준으로 개방되거나 개방 배치로부터 폐쇄 구조를 취하도록 요구될 수 있다. 필요한 변화를 수행하기 위해 일정 시간은 상기 기계 장치를 요구할 것이다. 상기 장치가 전력 공급장치(DC 또는 RF)인 경우, 일정 시간은 출력부를 켜고 꺼진 상태로부터 선택된 수준으로 설정하기 위해 요구될 것이며, 그 역 또한 같다. 그러나, 일반적으로 요구되는 상기 시간은 어떠한 기계 장치에 의해 요구되는 것보다 더 적을 것이다. 하나의 장치로부터 다른 장치로 반응 시간의 편차는, 실질적으로 순간적으로 공정 파라미터들의 일정 세트를 채택하도록 장치들의 세트들에 명령들을 발행하는 상기 제어기에도 불구하고, 실제로 동시에 모든 변화들이 상기 장치들에 의해 출력이 되지는 않는다는 것을 의미한다. 이는, 모든 바람직한 출력들이 일치하는 시간이 의도한 것보다 더 짧을 수 있도록, 공정 파라미터들의 바람직한 세트가 어떠한 공정 스텝에서 비교적 늦은 단계까지 상기 장치들에 의해 채택되지 않을 것이라는 점을 의미한다.

[0134]

상기 실시예에서, 이는 상기 장치의 공지된 반응 시간들에 의존하는 상이한 시간에서 개개의 장치들(또는 그들의 서브세트들)에 명령들을 발행하기 위해 짧은 전이 조절 스텝들을 이용하여 처리된다. 예를 들어, 반응하는데 더 느린 장치들은 더 빠른 반응 시간들을 갖는 것들보다 더 이른 조절 스텝동안 새로운 출력 밸브를 채택하

도록 지시될 수 있다. 예로서, 도 7(a), 도 7(b) 및 도 7(c)는 세 개의 공정 파라미터들 및 도시된 일련의 스텝들 동안 그들의 지시된 값들을 도시한다. 도 7(a)는 패시베이션 가스(G_1)의 질량 흐름 속도의 지시된 값 [(i)로 표시된 실선]과 질량 흐름 제어기(6a)에 의해 상기 지시에 대해 상기 지연된 반응을 나타내는 (ii)로 표시된 점선을 도시한다. 유사하게, 도 7(b)는 상기 에칭 가스(G_2)의 지시된 질량 흐름 속도[실선 (i)], 및 실제 반응의 표현[점선(ii)]을 도시한다. 도 7(c)는 상기 지시된 웨이퍼 바이어스 전력[실선(i)] 및 실제 출력의 표현[점선(ii)]을 도시한다. 도 7(a), 도 7(b) 및 도 7(c)에서 점선들은 공정 챔버에서 전체 조건들을 나타내는 것이 아니며(도 3과 관련하여 위에서 논의됨), 각각의 장치의 반응을 나타낸다.

[0135] 코어 패시베이션 스텝(S_1)에서, 패시베이션 가스(G_1)의 질량 흐름 속도는 패시베이션을 위한 그 최적의 최대 수준에 있으며, 반면에 에칭 가스(G_2)의 흐름 속도는 제로(또는 공칭 값)이고, 적용된 웨이퍼 바이어스가 없다. 조절 스텝(S_2)에서, 상기 제어기는 상기 질량 흐름 제어기들이 상기 패시베이션 가스(G_1)의 입력을 끄고 에칭 가스(G_2)의 입력을 패시베이션 제거에 적합한 제1 수준으로 켜도록 지시한다. 스텝(S_2)의 기간은 상기 질량 흐름 제어기(ΔTG_1 , ΔTG_2)의 반응 시간의 인식을 기반으로 하며, 상기 스텝은 각각의 질량 흐름 제어기로부터 상기 바람직한 출력이 일 순간에 개시되어 코어 패시베이션 층 제거 스텝(S_4)의 개시와 일치하도록 달성될 것이다. 한편, 전이 조절 스텝(S_3)에서, 상기 질량 흐름 제어기들로의 지시들은 상기 기관으로 전력을 공급하는 전력 소스가 켜지는 동안 변하지 않는다. 다시, 상기 스텝(S_3)의 기간은 상기 전력 소스(ΔTP_w)의 반응 시간의 이해를 기반으로 선택되며, 이는 일반적으로 상기 질량 흐름 제어기들의 그것보다 더 짧을 것이다. 상기 스텝(S_3)은 바람직한 전력 출력이 바람직한 가스 출력들, 즉, 스텝(S_4)의 시작과 일치하기 위해 달성되도록 선택된 순간에 개시된다.

[0136] 유사한 전이 스텝들은 필요에 따라 상기 사이클의 나머지 전체에 걸쳐 이루어질 수 있다. 전이 조절 스텝(S_5)는 패시베이션 층 제거 수준으로부터 기관 에칭 수준으로 에칭 가스(G_2)의 가스 흐름 속도의 변화를 개시하기 위해 구현되며, 스텝(S_6)에서, 상기 기관 바이어스 전력 소스는 상기 바람직한 출력들이 기관 에칭 스텝(S_7)의 시작에서 동시에 달성되도록 켜진다. 마찬가지로, 기관 에칭 공정 하위단계(P_3)의 끝을 향하여, 전이 조절 스텝(S_8)은 에칭 가스(G_2)의 입력부를 끄고 패시베이션 가스(G_1)의 입력부를 켜도록 이루어진다.

[0137] 일반적으로, 상기 또는 각 전이 조절 스텝은 해당 공정 조건에서 상기 챔버의 가스 체류 시간 이하의 지속을 가질 것이다. 예를 들어, 작은 밸브가 수백초에서 작동할 수 있는 반면, 상기 전력 공급장치의 출력 수준을 바꾸는 것과 같은 일부 작동은 수십 밀리초를 요구할 수 있다. 두 경우 모두에서, 이러한 지속은 일반적으로 약 1 또는 2초의 가스 체류 시간보다 훨씬 작을 것이다.

[0138] 표 4는 제4 구현예에서 도시된 각 14 스텝에서 공정 파라미터에 대한 예시적인 값 및 해당 가스 체류 시간(T_{gr})을 아래에 제시한다.

[0139] [표 4]

시간 (ms)	단계	스텝	지속 (ms)	공정 파라미터							Pp (kW)	Tgr (ms)
				G1 (sccm)	G1 (Pa.m ³ /s)	G2 (sccm)	G2 (Pa.m ³ /s)	Pw (W/m ²)	압력 (mTorr)	압력 (Pa)		
0	1	1	225	200	0.338	10	0.0169	30	50	6.6661	1.5	845
225		2	20	10	0.0169	200	0.338	30	50	6.6661	1.5	845
245		3	5	10	0.0169	200	0.338	4750	50	6.6661	1.5	845
250	2	4	275	10	0.0169	200	0.338	4750	25	3.33305	2	423
525		5	20	10	0.0169	800	1.352	4750	25	3.33305	2	110
545		6	5	10	0.0169	800	1.352	30	25	3.33305	2	110
550	3	7	525	10	0.0169	800	1.352	30	130	17.3319	5	570
1075		8	25	200	0.338	10	0.0169	30	130	17.3319	5	2198

[0141] 가장 바람직한 구현예에서, 도 6 및 7 실시예의 원리들은 서로 조합하여 사용될 것이다. 즉, 상기 중간 조절 스텝은 각 장치의 반응 시간에서의 지연을 고려하여 추가적으로 설정되어, 전술한 바와 같이 이로써 추가적 이점을 달성할 것이다.

- [0142] 상술한 바와 같이, 특정 추가적인 문제는 에칭 기관이 절연층을 포함하는 때 직면할 수 있다. 특히, 에칭이 도 전성 또는 실리콘과 같은 반도체성 층을 통해 매물 산화 층과 같은 절연성 정지 층까지 내려가는 때, 측면 "노 칭"은 두 물질 사이의 인터페이스에서 형성될 수 있다. 도 8(a) 및 8 (b)는 이러한 현상 뒤의 메커니즘을 도시 한다. 도 8(a)는 예를 들어, 실리콘 또는 실리콘 산화물과 같은 하부 절연층 (35)를 갖는 다른 반도체 층(31)을 포함하는 예시적인 기관(30)을 도시한다. 피처는 상기 기술된 방식으로 반도체층(31)로 에칭도니다. 에칭이 상 기 절연층(35)에 도달하였을 때, 웨이퍼의 다른 영역에서 절연층에 도달되지 않았기 때문에(웨이퍼에 걸쳐 에칭 속도의 변화 및/또는 에칭되는 층의 두께가 다양하기 때문에), 공정은 일반적으로 즉시 멈출 수 없다. 따라서, "과에칭"의 정도는 웨이퍼에 걸쳐 이러한 변화에 대응하는 것이 필요하다. 그러나, 상기 절연층(35)가 노출됨에 따라, 방향성 이온 에칭 패시베이션 층 제거 스텝 동안 상기 절연층에 도달하기 위해 플라스마로부터의 제 1이 온은 충전되기 위해 이것을 발생시킬 수 있다. 이것은 상기 피처의 측면을 향해 (동일한 전하 신호를 가질)다음 이온의 편향에 이르게 하고, 이는 증착된 패시베이션 재료(33)의 로컬 제거를 초래할 수 있고, 그 후 화학적 에 칭에 영향을 받는 기관 재료(예. 실리콘)를 노출시킨다. 이는 측면에서 바람직하지 않은 "노칭"(도 8에서 표시 된 36)을 야기한다.
- [0143] 전하는 절연층(35)상에 축적되고 따라서 상기 노칭의 정도는 상기 (도 8(b)에서 -v로 표시된)기관에 적용되는 바이어스의 수준을 감소시킴으로써 감소될 수 있다. 그러나, 이는 또한 에칭 공정상에 부과되는 방향성의 정도 및 이온이 기관에 충돌하는 에너지를 감소시킨다. EP-A-1 131847 및 US-A-6,926,844에 개시된 것과 같이 일부 통상적인 공정에서, 만약 적용된 바이어스가 낮은 주파수 또는 바람직하게는 펄스 바이어스라면, 여전히 적절한 에칭을 달성하는 동안 절연층(35)에 축적된 전하의 수준은 감소될 것이다. 이는 교대적 바이어스의 간격 동안 기관상의 전압이 제로(또는 거의 제로)일 때, 플라스마로부터의 일부 전하는 절연층(35)에 도달할 수 있고 양전 하의 일부를 취소할 수 있기 때문이다. 다른 접근으로, 높은 주파수 바이어스는, 전력 소스의 조절하에 높은 주 파수 바이어스의 펄스를 창조하기 위해 낮은 주파수에서 그 후 수정된 웨이퍼 테이블에 적용된다. 상기 바이어 스의 주파수는 플라스마에 대해 너무 빨라서 반응하기 어렵고 따라서 바이어스 그자체의 교대적 특성은 축적된 전하의 감소를 달성하지 못한다. 그러나, 낮은 주파수 펄스는, 상기 설명된 동일한 방식으로 플라스마로부터 일 부 전하에 절연층에 도달하고 일부 양전하를 취소하는 기회를 제공한다.
- [0144] 본 발명의 추가적인 구현예에서, 제어기(20)에 의해 지시되는 장치의 세트에 따른 조절 스텝의 시퀀스는 이러한 인터페이스 노칭의 발생을 감소시키도록 개조된다. 특히, 패시베이션 제거 공정 단계동안, 조절 스텝의 시퀀스 는 스텝 S7A, S7B, S7C 등과 같이 도 6(d)에 도시된 바와 같이 수행될 수 있다. 교대적 스텝 동안, 상기 웨이퍼 바이어스는 제로 또는 공칭 값(예. 30 W/m^2) 및 바람직한 방향성의 정도를 달성하기에 충분한 높은 "켜짐" 값 (예. 4750 W/m^2)사이에서 전환된다. 상기 웨이퍼 바이어스가 "켜짐"인 각 조절 스텝에서, 없거나 공칭 바이어스 가 적용되는 동안의 시간의 교대적인 주기에서, 전하가 절연층 상에 양 전하를 취소시키기 위해 아래쪽으로 확 산될 수 있는 반면, 상기 바이어스는 이온을 끌어당겨, 방향성을 달성하고 상기 피처의 베이스로부터 증착된 폴 리머를 제거한다. 이전의 방법과는 대조적으로, 본원의 웨이퍼 바이어스의 조절은, 전력 소스는 세트 또는 전력 소스의 임의의 로컬 펄스 변조인, 주파수가 아닌 제어기(20)에 의해 달성된다. 이것은 높은 조절의 정도를 가능 하게 하고 원하는 경우 다른 공정 파라미터에 대한 변경으로 개별적 스텝을 동시 발생 가능하게 한다. 예를 들 어, 일부 구현예에서, 상기 플라스마 소서 전력의 변경과 함께 교대적 웨이퍼 바이어스 수준이 동시 발생하는 것이 바람직할 수 있다.
- [0145] 기관 바이어스가 적용되는 임의의 공정 스텝은 상기 기술된 방식으로 "켜짐" 및 "꺼짐"스텝의 시퀀스를 사용하 여 수행될 수 있다. 예를 들어 도시된 도 6(d)에 도시된, 스텝 S4 및 S5/6은 기관에 적용되는 일정한 전력을 가 지고, 실제로는 이들은 전하의 축적을 막기 위해 여러 "켜짐/꺼짐" 스텝으로서 수행될 수 있다. 그러나, 상기 스텝이 충분히 짧다면, 이는 불필요할 수 있다.
- [0146] 도 6(d)에서, 상기 "켜짐" 및 "꺼짐" 스텝은 실질적으로 동일한 지속을 갖는 것으로 도시된다(즉, 50% 의 "마크:스페이스" 비율). 그러나, 실제로는 축적된 전하를 중화하기 위한 더 많은 시간을 허용하도록 "켜짐"스텝 사이에 긴 간격을 제공하는 것이 종종 바람직하다. 따라서, 바람직하게는, 상기 마크:스페이스 비율은 5 내지 20%이다. 예를 들어, 상기 바이어스 켜짐 시간은 5ms(예. 스텝 S7a)일 수 있고 상기 바이어스 꺼짐 시간은 50ms(예. 스텝 S7B)일 수 있고, 10%의 마크:스페이스 비율을 제공한다. 일반적으로, 상기 바이어스 전력은 높은 바이어스가 적용되는 때(적어도 상기 공정의 패시베이션 제거 단계 동안)짧은 주기 사이에, 제로(또는 낮은 값)로 감소되는 때 상대적으로 긴 주기를 가지는 것이 바람직하다.

- [0147] 일반적으로 S_{7A} 내지 S_{7Z} 시퀀스에서 각 스텝의 지속은 1 내지 100 밀리초 사이 일 것이다: 플라즈마가 반응하도록 허용하는데 충분히 긴 반면, 빈번한 간격에서 축적된 전하를 중화하는데 충분히 짧다. 각 "켜짐"스텝 동안 적용되는 바이어스는 DC 또는 RF 바이어스일 수 있다. RF(교대적)바이어스의 경우에, 상기 바이어스의 빈도는 스텝 지속에 비교하여 일반적으로 빠르다(예. 13.56 메가헤르츠).
- [0148] 가능한 조절의 높은 정도는 또한 여러 다른 바이어스 수준을 선택하고 적용하는 것을 가능하게 하고 바람직한 실시예에서, 적어도 세개의 다른 바이어스 수준이 각 패시베이션/에칭 사이클 동안 적용된다(이중 하나는 제로일 수 있다).
- [0149] 예를 들어, 다른 구현예에서, 추가적 이점은 만약 상기 패시베이션 층 제거 공정동안 상기 웨이퍼 바이어스의 크기가 변한다면 달성될 수 있다. 이러한 구현예의 한 실시예가 도 9에 도시되었고, 이는 코어 패시베이션 제거 층 스텝 s7을 총괄적으로 형성하는 일련의 조절 스텝 S_{7A} 내지 S_{7Z} 에 걸쳐 예시적인 웨이퍼 바이어스 전력을 보여준다. 이 실시예에서, 상기 웨이퍼 바이어스 전력은 제로 또는 공칭 값 및 패시베이션 층 제거 공정의 발달을 향해 증가하는 높은 "켜짐" 크기 사이에서 교대적이다. 예를 들어, 이 실시예에서, 상기 웨이퍼 바이어스가 "켜짐"인 동안, 스텝 S_{7J} 내지 S_{7Z} 스텝의 크기가 증가하는 반면, 제1 스텝 S_{7A} 및 후속적 4개의 조절 스텝은 제1 수준으로 설정된다. 예를 들어, 스텝 S_{7X} 내지 S_{7Z} 의 것들이 약 4750 W/m^2 의 전력을 가질 수 있는 반면, 스텝 S_{7A} , S_{7C} , S_{7E} 등은 약 1600 W/m^2 의 웨이퍼 바이어스 전력을 가질 수 있다. 이러한 설정은 상기 공정의 마스크 선택성을 개선하는 관점에서 이점을 가진는데, 상기 패시베이션 층 제거 스텝의 대부분에 걸쳐, 상기 바이어스 전력이 상대적으로 낮아 기관을 향해 끌여지는 이온들이 상대적으로 낮은 에너지를 유지하기 때문에, 이로써 어떤 마스크 재료가 패시베이션 층에 추가로 제거되는 가능성을 감소시킨다. 방향성 에칭이 계속됨에 따라, 상술한 바와 같이 양전하는 절연층(35) 상에 축적되기 시작하며, 이 스텝에서 도시된 웨이퍼 바이어스의 전력을 증가시키으로써 이온의 에너지를 증가시키는 것이 필요하다. 이는 더 큰 전하들이 그들 아니면 직선 경로로부터 이온을 편향시키는데 필요할 것이기 때문에, 축적된 전하의 효과를 감소시키는 이온의 하향 속도를 증가시킨다.
- [0150] 유사한 이점은 추가적으로 또는 대신의 임의의 한 공정 단계 내에서 사이클 사이의 스텝 상의 바이어스 크기를 변화시킴으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, 도6을 참조하면, 사이클 C_2 의 스텝 S_7 을 구성하는 스텝의 시퀀스는 사이클 C_1 의 스텝 S_7 을 구성하는 것 등 보다 다른 높은 크기를 가질 수 있다. 이러한 방법으로 공정 진행에 따른 바이어스 크기가 증가함에 따라, 일반적으로 일부 전하는 중간 패시베이션 단계와 상관 없이 사이클 사이의 절연층 상에 남기 때문에 마스크 선택성은 상기 설명된 동일한 이유로 개선될 것이다.
- [0151] 다른 구현예에서, 도 6(d) 및 9에 도시된 것과 같은 스텝 시퀀스는 다른 공정 동안, 하부 절연층이 있거나 없는 기관 상에 대안적으로 이용될 수 있다. 예를 들어, 만약 바이어스 전력이 패시베이션 단계 동안 기관에 적용된다면, 공정의 전체적 에칭 효율에 이로울 수 있다. 이는 패시베이션 재료가 증착되는 동안 방향성 이온 충격을 포함하고, 에칭될 피처의 베이스를 포함하는 수평 표면의 증착을 감소를 야기한다. 그 결과, 상기 패시베이션 층 두께는 피처의 베이스에서 더 적고, 패시베이션 제거 스텝의 지속 및 상기 기관 에칭 공정 단계의 이른 유인을 허용한다.
- [0152] 그러나, 전형적인 패시베이션 재료(예. PTFE 또는 유사한)는 절연체이고 따라서 하전된 이온으로 충격되는 때, 편향 및 상기 언급된 이유로 잠재적 측벽 노치를 일으키고, 상기 패시베이션 층은 효과적으로 상부 절연층이다. 따라서, 순차적 방식으로 바이어스를 적용하는 것은 이것이 상기 패시베이션 재료 상의 전하의 일부 정화를 허용하여 노치를 감소시키기 때문에 유리하다.
- [0153] 상기 설명된 구현예중 하나에서, 에칭이 바람직한 깊이에서 정지하도록 공정을 조절하는 것은 유리하다. 이는 사전 결정된 주기 및 그 후 정지하는 공정을 수행함으로써 달성될 수 있다. 그러나, 이는 일반적으로 충분히 정확한 결과를 생산하지 못할 것이다. 따라서, 추가적 바람직한 구현예에서, 상기 장치는 에칭 깊이가 바람직한 종점에 도달하는 때를 감지하는 종점 발견 장치를 제공한다. 이는 웨이퍼 표면으로부터 깊이에 관하여 정의할 것이고, 예를 들어, 상기 설명된 절연층(35)와 같은 에칭되는 하부층인 정지층인 웨이퍼의 물리적 피처와 관련이 있을 수 있다.
- [0154] 도 10a 및 10b는 두가지 예시적인 종점 발견 장치(40)을 도시한다. 도 10a에서, 상기 에칭 피처F의 깊이는 전자기 방사 소스(41) 및 해당 검출기(42)를 포함하는 광 간섭계에 의해 감지되고 모니터링 된다. 하나 이상의 방사선 파장은 상기 웨이퍼(30)상에 에칭되는 피처 아래로 감속하고 간섭 무늬(43)의 결과의 입사 방사선의 방사선 간섭을 반영한다. 간섭 무늬(43)의 수는 피처F의 깊이를 유추하기 위해 세어질 수 있다(예. 간섭 영역을 통한

검출기(42)의 이동에 의해). 상기 종점은 바람직한 깊이에 해당하는 간섭 무늬(43)의 정확한 수가 세어질 때 도달되는 것으로 알려져있다.

[0155] 도 10b에서, 상기 웨이퍼(30) 그 자체는 예를 들어 실리콘 산화물과 같이 에칭되는 층(31)의 것과 다른 조성을 갖는 재료의 정지층(35)를 제공한다. 여기서, 현재 에칭되는 재료의 (즉, 어느 순간에 에칭 피쳐F의 베이스를 형성하는)조성은 상기 공정에 의해 방출되는 챔버 내에서 방사선을 보기 위해 광섬유(45)와 같은 방사선 콜렉터를 이용하여 감지된다. 상기 콜렉터(45)는 분광계(46)에 연결되어 관련 물질을 에칭하는 때 발생하는 알려진 원자 전이에 해당하는 특정 파장을 선택한다. 대안적으로, 광학 필터는 센서가 동일한 효과를 달성하기 위해 반응하는 파장(들)을 선택하는데 사용될 수 있다. 에칭 깊이가 매립 정지층(또는 다른 피쳐)에 도달하는 때, 방출되는 파장의 해당 변화가 있을 것이다. 예를 들어, 만약 장치(40)이 그 후 실리콘 에칭(예. 도 10b의 위치q)동안 적절한 플루오린 라인을 보도록 설정된다면, 상기 라인의 강도는 에칭 반응에서 플루오린의 사용 때문에 낮아야 한다. 하부 절연층(위치r)에 도달하자마자, 상기 플루오린 라인(들)의 강도는 플루오린이 더 이상 소비되지 않기 때문에 증가해야 한다.

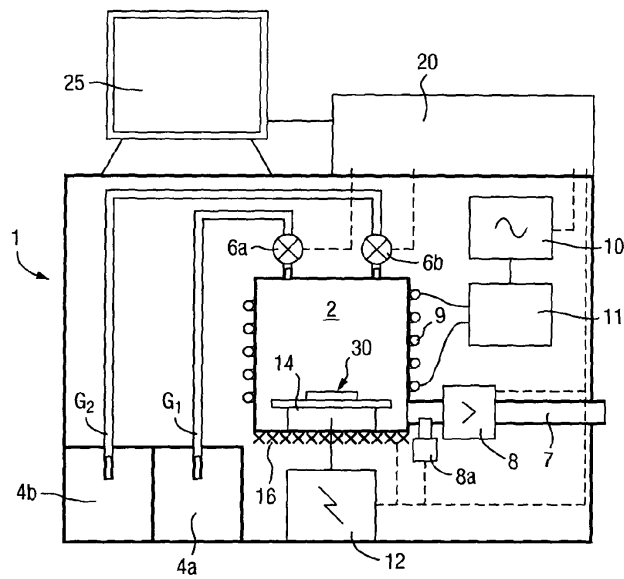
[0156] 에칭 피쳐가 바람직한 종점에 도달하는 것을 발견하면, 상기 장치(40)은 제어기에 신호를 출력한다. 이는 도11의 순서도에 요약된 바와 같이, 정지 공정을 가져올 수 있는 대안적인 다수의 방식이 이용될 수 있다. 각 참조에 대해, 이는 "공정 사이클 A"과 같이 도 11에 설명되고, 이는 바람직한 에칭 속도 및 효율을 달성하기 위한 적절한 일련의 공정 스텝과 관련이 있다. 스텝 52에서, 상기 시스템은 종점이 수신되는 것을 감지하기 위해 종점 발견 장치(40)를 기다리고 이에 따라, 종점 신호가 출력된다(스텝 53).

[0157] 제1 구현예에서, 종점 신호를 수신하면, 상기 제어기는 장치의 세트가 공정을 중단하도록 지시하고 에칭이 정지된다. 그러나 이전에 언급한바와 같이, 종종 종점이 다른 것 이전에 웨이퍼의 특정 영역(전형적으로 센터)에 도달할 것이다. 따라서, "과에칭"을 허용하기 위해, 사전결정된 지연 주기는 공정이 정지(스텝 58)되기 전에 경과하도록(스텝 56) 허용될 수 있다.

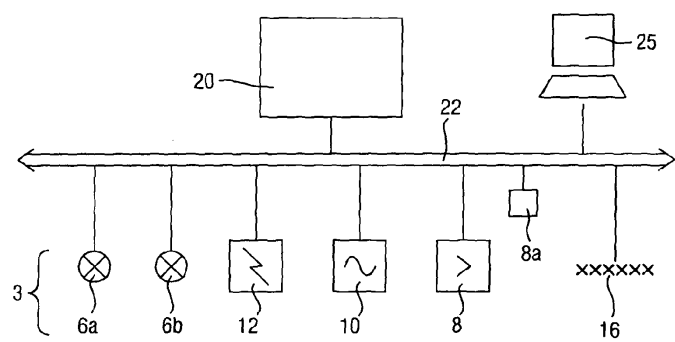
[0158] 제2 구현예에서, 상기 종점 신호가 수신될 때, 공정 사이클 A는 정지되고 새로운 공정 사이클(공정 사이클 "B")가 시작된다(스텝 60). 공정 사이클은 예를 들어 사이클 A의 것과 같은 유사한 일련의 스텝을 포함할 수 있으나, 덜 공격적(즉, 느린) 에칭을 달성하거나 챔버 내의 에칭 속도의 공간적 편차를 변경하기 위해 위해 공정 파라미터 및/또는 타이밍을 조절한다. 예를 들어, 공정 사이클 B는 웨이퍼 가장자리를 향해 더 빨리 에칭되도록 조절될 수 있어 그 후 센터에서 작은 웨이퍼의 중심에서 과 에칭의 양을 유지하는 동안, 웨이퍼의 가장자리 근처 피쳐의 에칭을 완료한다. 예를 들어 패시베이션 공정 단계에서 챔버 압력을 증가시킴으로써 이는 달성될 수 있어, 더 많은 패시베이션 재료가 웨이퍼의 엣지 근처 보다 센터에 증착될 수 있다(웨이퍼에 걸쳐 증착 프로파일은 압력에 따라 변한다). 대안적으로, 만약 상기 패시베이션 스텝의 길이가 증가함에 따라 에칭 공정이 에칭 스텝에 비교하여 느리다면, 그 후 더 많은 패시베이션이 하부 층으로 이미 에칭된 임의의 피쳐의 베이스 근처의 측벽을 보호하는데 도움을 줄 것이고, 이로써 노칭의 수준을 감소시키는데 다시 도움이 될 것이다.

도면

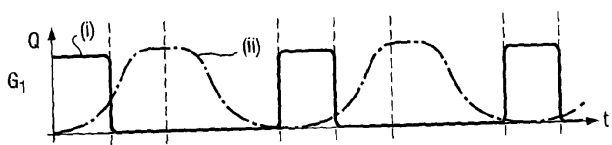
도면1



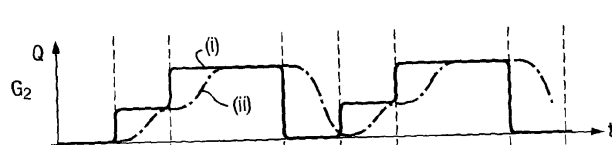
도면2



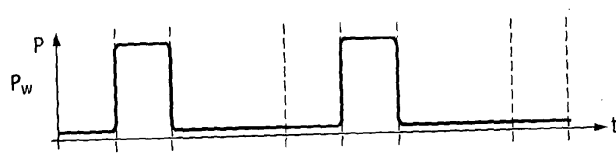
도면3a



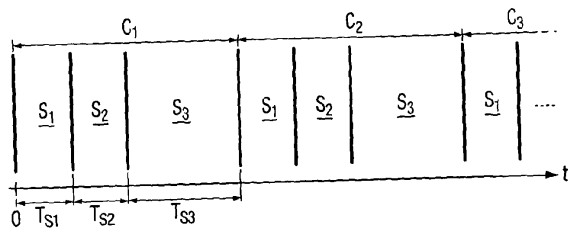
도면3b



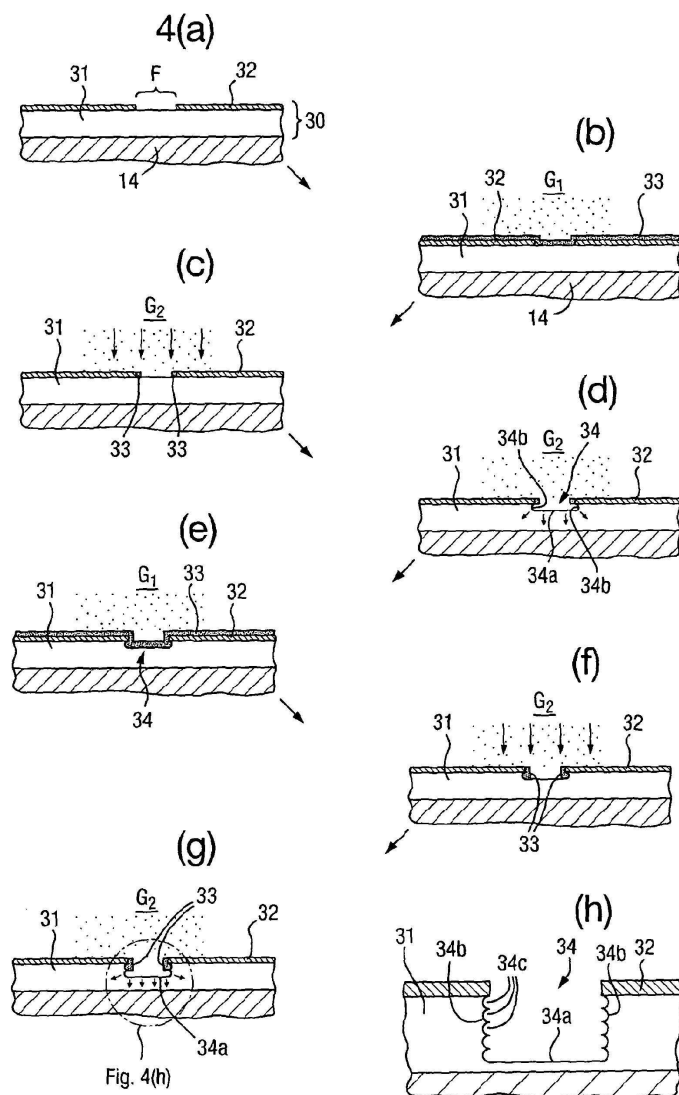
도면3c



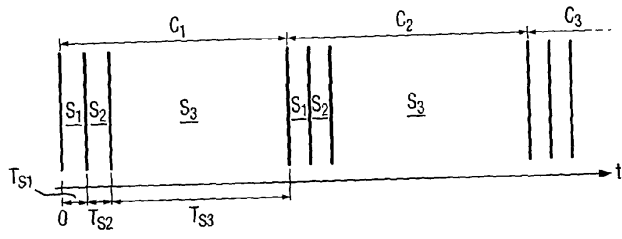
도면3i



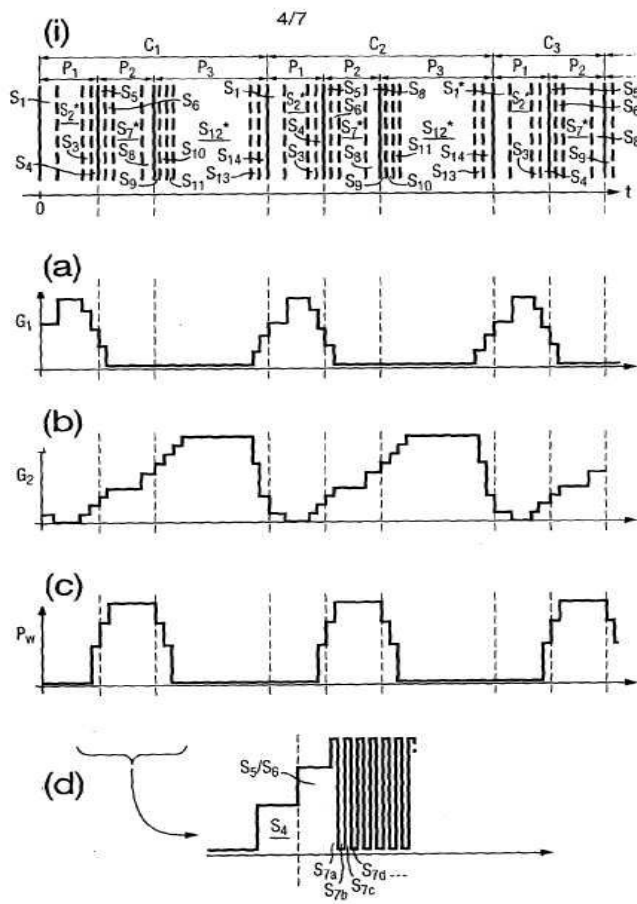
도면4



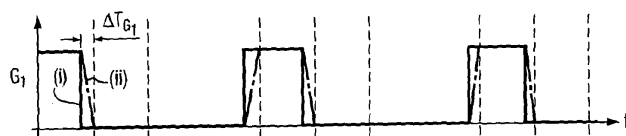
도면5



도면6



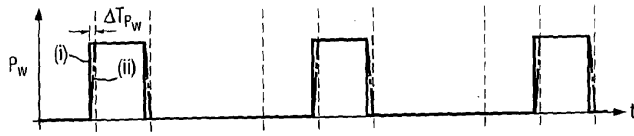
도면7a



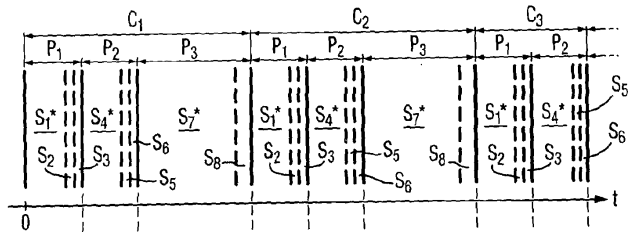
도면7b



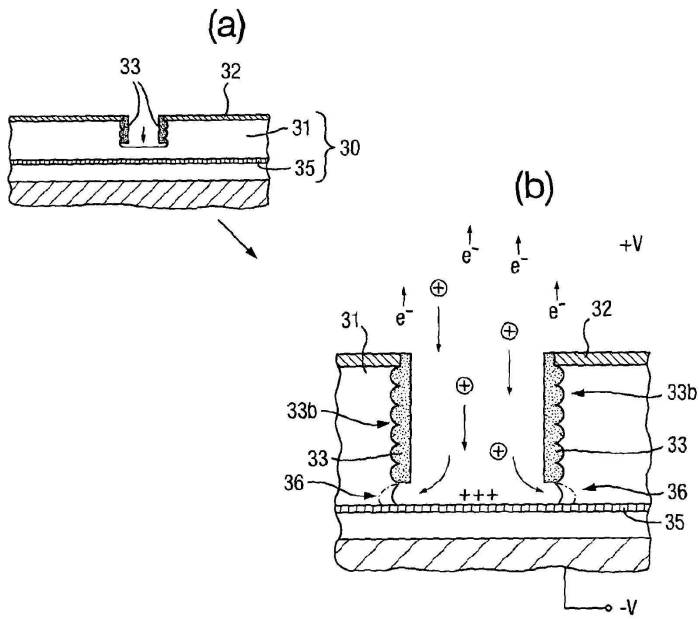
도면7c



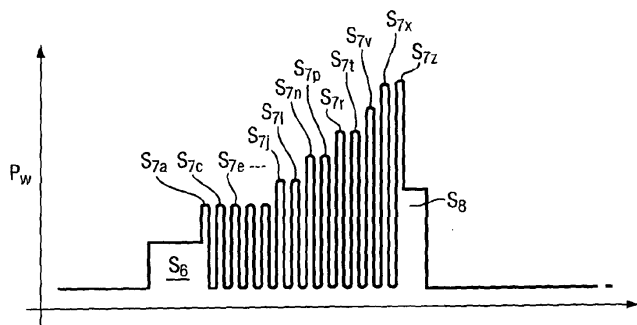
도면7i



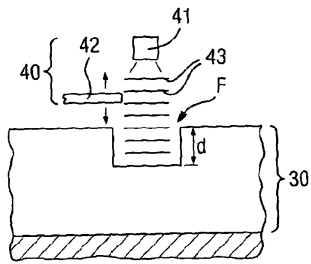
도면8



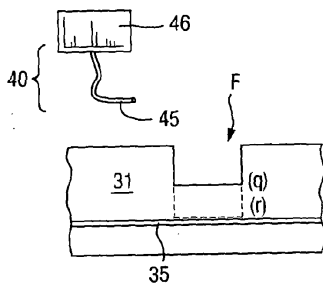
도면9



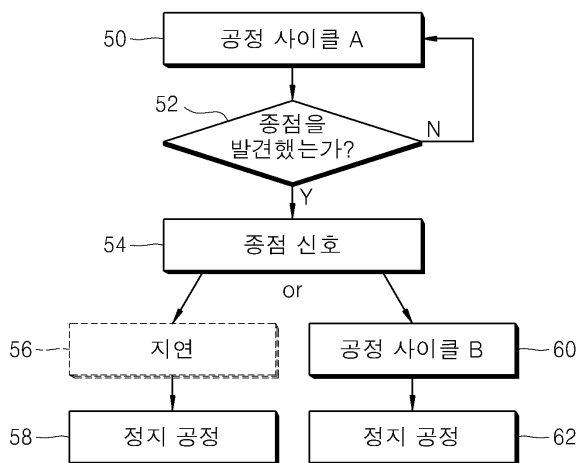
도면10a



도면10b



도면11



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 3

【변경전】

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 또는 각 조절 스텝은 상기 스텝의 지속 동안 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위한 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함하고, 상기 지속은 상기 스텝의 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만으로, 1초 미만의 지속을 가지는, 방법.

【변경후】

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 각 조절 스텝은 상기 스텝의 지속 동안 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위한 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함하고, 상기 지속은 상기 스텝의 공정 챔버의 해당 가스 체류 시간(T_{gr}) 미만으로, 1초 미만의 지속을 가지는, 방법.

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 11

【변경전】

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 하나 이상의 장치는 다수의 장치를 포함하고, 상기 일련의 조절 스텝은 하나 이상의 전이 조절 스텝을 포함하고, 상기 각 전이 조절 스텝에서 상기 장치의 하나 또는 서브세트는 해당 공정 파라미터에 변화를 초래하도록 지시되고, 상기 또는 각 전이 조절 스텝의 타이밍은 지시된 장치(들)의 알려진 반응 시간과 관련이 있는, 방법.

【변경후】

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 하나 이상의 장치는 다수의 장치를 포함하고, 상기 일련의 조절 스텝은 하나 이상의 전이 조절 스텝을 포함하고, 상기 각 전이 조절 스텝에서 상기 장치의 하나 또는 서브세트는 해당 공정 파라미터에 변화를 초래하도록 지시되고, 상기 각 전이 조절 스텝의 타이밍은 지시된 장치(들)의 알려진 반응 시간과 관련이 있는, 방법.

【직권보정 3】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 6

【변경전】

제5항에 있어서,

상기 또는 각 중간 조절 스텝은 하나 이상의 장치를 챔버 내에 제1 및 제2 종의 혼합물을 포함하는 유입 가스로 지시하는 것을 포함하고, 상기 코어 공정 스텝은 하나 이상의 장치를 챔버 내에 우세한 제1종의 유입 가스로 지시하는 것을 포함하고, 상기 선행 또는 후행 공정 단계 또는 하위단계는 챔버 내에 우세한 제2 종의 유입 가스로 지시하는 것을 포함하는, 방법.

【변경후】

제5항에 있어서,

상기 각 중간 조절 스텝은 하나 이상의 장치를 챔버 내에 제1 및 제2 종의 혼합물을 포함하는 유입 가스로 지시하는 것을 포함하고, 상기 코어 공정 스텝은 하나 이상의 장치를 챔버 내에 우세한 제1종의 유입 가스로 지시하는 것을 포함하고, 상기 선행 또는 후행 공정 단계 또는 하위단계는 챔버 내에 우세한 제2 종의 유입 가스로 지시하는 것을 포함하는, 방법.

【직권보정 4】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 5

【변경전】

제1항 또는 제2항에 있어서,

적어도 하나의 상기 공정 단계 및 하위단계는 코어 공정 스텝 이전 또는 이후에, 코어 공정 스텝 및 하나 이상의 중간 조절 스텝을 포함하고, 상기 또는 각 조절 스텝은 적어도 하나가 상기 코어 공정 스텝 및 선행 또는 후행 공정 단계 또는 하위단계에서 동일한 공정 파라미터 사이에 놓인 값을 가지는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함하는, 방법.

【변경후】

제1항 또는 제2항에 있어서,

적어도 하나의 상기 공정 단계 및 하위단계는 코어 공정 스텝 이전 또는 이후에, 코어 공정 스텝 및 하나 이상의 중간 조절 스텝을 포함하고, 상기 각 중간 조절 스텝은 적어도 하나가 상기 코어 공정 스텝 및 선행 또는 후행 공정 단계 또는 하위단계에서 동일한 공정 파라미터 사이에 놓인 값을 가지는 일정한 공정 파라미터의 정의된 세트를 수행하기 위해 하나 이상의 장치를 지시하는 것을 포함하는, 방법.