



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0136016
(43) 공개일자 2023년09월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/311 (2006.01) H01L 21/67 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/31122 (2013.01)
H01L 21/67069 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7044513
(22) 출원일자(국제) 2021년12월10일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2022년12월19일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/062793
(87) 국제공개번호 WO 2022/169509
국제공개일자 2022년08월11일
(30) 우선권주장
63/199,932 2021년02월03일 미국(US)

(71) 출원인
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이
4650
(72) 발명자
피셔, 안드레아스
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨
이 4650
릴, 토르스텐 베른트
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨
이 4650
(74) 대리인
특허법인인벤싱크

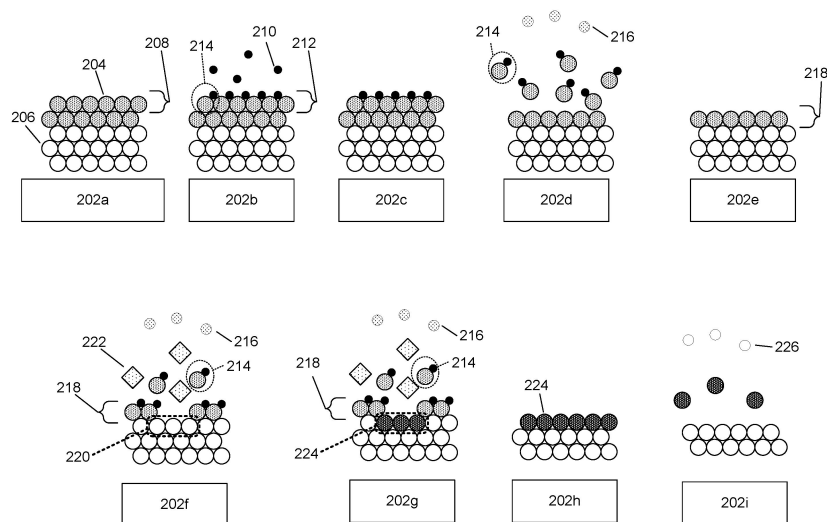
전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) 발명의 명칭 원자 층 에칭의 에칭 선택도 제어

(57) 요약

장치들 및 방법들이 기술된다. 일부 방법들은, 프로세싱 챔버에 기판을 제공하는 단계로서, 기판은 제 2 재료의 표면에 인접하고 제 2 재료의 표면을 커버하는 제 1 재료를 갖는, 상기 기판을 제공하는 단계; 기판 상으로 제 1 프로세스 가스를 흘림으로써 제 1 재료의 층을 개질하고, 이에 따라 제 1 재료의 개질된 층을 생성하는 단계; 기판 상으로 제 2 프로세스 가스를 흘림으로써 제 1 재료의 개질된 층을 제거하는 단계; 및 제 2 재료의 표면이 개질된 층의 제거 동안 언커버될 때, 기판 상으로 제 3 프로세스 가스를 흘림으로써 제 2 재료의 변환된 층으로 표면을 변환하는 단계를 포함할 수도 있고, 제 1 프로세스 가스 및 제 2 프로세스 가스는 제 1 재료 및 제 2 재료 보다 변환된 층과 보다 덜 반응성이다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

프로세싱 챔버에 기관을 제공하는 단계로서, 상기 기관은 제 2 재료의 표면에 인접하고 상기 제 2 재료의 표면을 커버하는 (cover) 제 1 재료를 갖는, 상기 기관을 제공하는 단계;

상기 기관 상으로 제 1 프로세스 가스를 흘림으로써 상기 제 1 재료의 층을 개질하고, 이에 따라 상기 제 1 재료의 개질된 층을 생성하는 단계;

상기 기관 상으로 제 2 프로세스 가스를 흘림으로써 상기 제 1 재료의 상기 개질된 층을 제거하는 단계; 및

상기 제 2 재료의 상기 표면이 상기 개질된 층의 제거 동안 언커버될 (uncover) 때, 상기 기관 상으로 제 3 프로세스 가스를 흘림으로써 상기 제 2 재료의 변환된 층으로 상기 표면을 변환하는 단계를 포함하고,

상기 제 1 프로세스 가스 및 상기 제 2 프로세스 가스는 상기 제 1 재료 및 상기 제 2 재료보다 상기 변환된 층과 보다 덜 반응성인 (reactive), 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 변환하는 단계 후, 상기 기관 상으로 제 4 프로세스 가스를 흘림으로써 상기 재료의 상기 변환된 층을 개질되고 변환된 층으로 개질하는 단계; 및

상기 기관 상으로 제 5 프로세스 가스를 흘림으로써 상기 개질되고 변환된 층을 제거하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 상기 개질하는 단계 전에 발생하는, 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 상기 개질하는 단계 후에 발생하는, 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 상기 제거하는 단계 전에 발생하는, 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 프로세스 가스를 흘린 후 그리고 상기 제거하는 단계 전에 퍼지 가스를 흘리는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 상기 제거하는 단계 후에 발생하는, 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 기관 상으로 상기 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 상기 기관 상으로 상기 제 1 프로세스 가스를 흘리는 단계와 적어도 부분적으로 오버랩하는 (overlap), 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 기관 상으로 상기 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 상기 기관 상으로 상기 제 2 프로세스 가스를 흘리는 단계와 적어도 부분적으로 오버랩하는, 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 기관 상으로 상기 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 상기 기관 상으로 상기 제 1 프로세스 가스를 흘리는 단계 그리고 상기 기관 상으로 상기 제 2 프로세스 가스를 흘리는 단계와 적어도 부분적으로 오버랩하는, 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 변환하는 단계는 상기 제 1 재료를 제거하는 단계 동안 또는 상기 제 1 재료를 제거하는 단계 후에 상기 제 2 재료의 표면이 언커버될 때 발생하는, 방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서,

상기 제거하는 단계 동안, 상기 제 2 프로세스 가스는 제 1 에칭 레이트로 상기 제 1 재료의 상기 개질된 층을 제거하고, 그리고

상기 제거하는 단계 동안, 상기 제 2 프로세스 가스는 상기 제 1 에칭 레이트의 약 50 % 이하인 제 2 에칭 레이트로 상기 변환된 층을 제거하는, 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 제 2 에칭 레이트는 상기 제 1 에칭 레이트의 약 15 % 이하인, 방법.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 제거하는 단계 동안, 상기 제 2 프로세스 가스는 상기 제 1 에칭 레이트보다 보다 높은 제 3 에칭 레이트에서 상기 제 2 재료를 제거할 수 있는, 방법.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 프로세스 가스는 개질 분자들을 포함하고,

상기 제 2 프로세스 가스는 제거 분자들을 포함하고, 그리고

상기 제 3 프로세스 가스는 변환 분자들을 포함하는, 방법.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 제 3 프로세스 가스는 전구체를 포함하는, 방법.

청구항 17

제 1 항에 있어서,

상기 변환된 층은 상기 제 2 재료의 단일 원자 층인, 방법.

청구항 18

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 재료 및 상기 제 2 재료는 옥사이드들인, 방법.

청구항 19

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 재료 및/또는 상기 제 2 재료는 반도체 옥사이드들인, 방법.

청구항 20

제 1 항에 있어서,

상기 변환된 층은 상기 제 2 프로세스 가스에 대해 패시브인, 방법.

청구항 21

제 1 항에 있어서,

상기 변환된 층과 상기 제 2 프로세스 가스 사이의 반응은 부산물들을 생성하지 않는, 방법.

청구항 22

제 1 항에 있어서,

상기 변환하는 단계 전에 상기 제 1 재료의 양을 제거하기 위해 상기 개질하는 단계 및 상기 제거하는 단계를 반복하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 23

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 재료는 알루미늄 옥사이드를 포함하고,

상기 제 2 재료는 아연 옥사이드를 포함하고,

상기 제 1 프로세스 가스는 하이드로젠 플루오라이드를 포함하고,

상기 제 2 프로세스 가스는 트리메틸 알루미늄을 포함하고,

상기 제 3 프로세스 가스는 지르코늄 테트라클로라이드를 포함하고, 그리고

상기 변환된 층은 지르코늄 옥사이드를 포함하는, 방법.

청구항 24

제 1 항에 있어서,

상기 기판 상으로 제 4 프로세스 가스를 흘림으로써 상기 변환된 층을 제거하는 단계를 더 포함하고, 상기 제 4 프로세스 가스는 디메틸알루미늄 클로라이드를 포함하는, 방법.

청구항 25

제 1 항에 있어서,

상기 변환하는 단계는 상기 제 3 프로세스 가스의 원소와 상기 제 2 재료 사이의 양이온 교환을 포함하는,

방법.

청구항 26

제 1 항에 있어서,

상기 개질하는 단계 및 상기 제거하는 단계는 상기 기관이 동일하거나 실질적으로 동일한 온도로 유지되는 동안 발생하는, 방법.

청구항 27

제 1 항에 있어서,

상기 개질하는 단계는 상기 기관이 제 1 온도로 유지되는 동안 발생하고, 그리고

상기 제거하는 단계는 상기 기관이 상기 제 1 온도와 상이한 제 2 온도로 유지되는 동안 발생하는, 방법.

청구항 28

제 1 항에 있어서,

상기 변환하는 단계 동안, 수증기는 상기 기관에 제공되지 않는, 방법.

청구항 29

프로세싱 챔버에 기관을 제공하는 단계로서, 상기 기관은 제 2 재료의 표면에 인접하고 상기 제 2 재료의 표면을 커버하는 제 1 재료를 갖는, 상기 기관을 제공하는 단계;

상기 기관 상으로 제 1 프로세스 가스를 흘림으로써 상기 제 1 재료의 층을 개질하고, 이에 따라 상기 제 1 재료의 개질된 층을 생성하는 단계;

상기 기관 상으로 제 2 프로세스 가스를 흘림으로써 상기 제 1 재료의 상기 개질된 층을 제거하는 단계; 및

상기 제 2 재료의 상기 표면이 상기 개질된 층의 제거 동안 언커버될 때, 상기 제 2 재료의 상기 표면을 에칭 정지 재료의 층으로 선택적으로 변환하는 단계로서, 상기 제거하는 단계 동안, 상기 제 1 재료의 상기 개질된 층 및 상기 에칭 정지 재료의 층이 상기 제 2 프로세스 가스에 노출되도록 상기 제 1 재료의 상기 개질된 층 및 상기 에칭 정지 재료의 층은 상기 제 2 재료의 상단에만 위치되고, 그리고 상기 제 2 프로세스 가스가 상기 제 1 재료 및 상기 제 2 재료의 상기 개질된 층보다 상기 에칭 정지 재료의 층과 보다 덜 반응성인, 상기 표면을 변환하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 30

내부 및 상기 내부에서 기관을 지지하도록 구성된 기관 지지부를 포함하는 프로세싱 챔버;

상기 프로세싱 챔버 내 상기 기관 상으로 개질 분자를 포함하는 제 1 프로세스 가스를, 상기 프로세싱 챔버 내 상기 기관 상으로 제거 분자를 포함하는 제 2 프로세스 가스를, 그리고 상기 프로세싱 챔버 내 상기 기관 상으로 변환 분자를 포함하는 제 3 프로세스 가스를 흘리도록 구성된 프로세스 가스 유닛; 및

인스트럭션들을 갖는 제어기를 포함하고, 상기 인스트럭션들은:

상기 제 1 프로세스 가스로 하여금 상기 기관 상으로 흐르게 하여, 상기 기관-상기 기관은 제 2 재료의 표면에 인접하고 상기 제 2 재료의 표면을 커버하는 제 1 재료를 가짐- 상에 상기 제 1 재료의 개질된 층을 생성하게 하고,

상기 제 2 프로세스 가스로 하여금 상기 기관 상으로 흐르게 하여, 상기 제 1 재료의 상기 개질된 층을 제거하게 하고, 그리고

상기 제 2 재료의 상기 표면이 언커버될 때, 상기 표면을 상기 제 2 재료의 변환된 층으로 변환하도록 상기 제 3 프로세스 가스로 하여금 상기 기관 상으로 흐르게 하도록 구성되고, 상기 제 1 프로세스 가스 및 상기 제 2 프로세스 가스는 상기 제 1 재료 및 상기 제 2 재료보다 상기 변환된 층과 보다 덜 반응성인, 반도체 프로세싱을 위한 장치.

발명의 설명

기술 분야

배경 기술

- [0001] 반도체 제조는 종종 패터닝 스킴들 및 기판의 다른 노출된 표면들의 에칭을 방지하도록 일부 재료들이 선택적으로 에칭되는 다른 프로세스들을 수반한다. 디바이스 기하 구조들이 점점 더 작아짐에 따라, 다른 재료들의 에칭 없이 목표된 재료들의 효과적인 에칭을 달성하기 위해 고 에칭 선택도 프로세스들이 바람직하다.
- [0002] 본 명세서에 제공된 배경기술 기술 (description) 은 본 개시의 맥락을 일반적으로 제시할 목적이다. 이 배경기술 섹션에 기술된 정도의 본 명세서에 명명된 발명자들의 업적, 뿐만 아니라 출원 시 종래 기술로서 달리 인정되지 않을 수도 있는 본 기술의 양태들은 본 개시에 대한 종래 기술로서 명시적으로나 암시적으로 인정되지 않는다.

발명의 내용

- [0003] 관련 출원들
- [0004] PCT 신청 양식은 본 출원의 일부로서 본 명세서와 동시에 제출되었다. 본 출원이 동시에 제출된 PCT 신청 양식에서 식별된 바와 같이 우선권 또는 이익을 주장하는 출원 각각은 전체가 모든 목적들을 위해 참조로서 본 명세서에 인용된다.
- [0005] 본 개시의 시스템들, 방법들 및 디바이스들은 각각 몇몇 혁신적인 양태들을 갖고, 이들이 단독으로 본 명세서에 개시된 바람직한 속성들을 단독으로 책임 지지 않는다. 이들 양태들 중 적어도 이하의 구현 예들이 포함되지만, 다른 구현예들이 상세한 기술에 제시될 수도 있고 본 명세서에 제공된 논의로부터 자명할 수도 있다.
- [0006] 일부 실시 예들에서, 방법이 제공될 수도 있다. 방법은, 프로세싱 챔버에 기판을 제공하는 단계로서, 기판은 제 2 재료의 표면에 인접하고 제 2 재료의 표면을 커버하는 (cover) 제 1 재료를 갖는, 상기 기판을 제공하는 단계; 기판 상으로 제 1 프로세스 가스를 흘림으로써 제 1 재료의 층을 개질하고, 이에 따라 제 1 재료의 개질된 층을 생성하는 단계; 기판 상으로 제 2 프로세스 가스를 흘림으로써 제 1 재료의 개질된 층을 제거하는 단계; 및 제 2 재료의 표면이 개질된 층의 제거 동안 언커버될 (uncover) 때, 기판 상으로 제 3 프로세스 가스를 흘림으로써 제 2 재료의 변환된 층으로 표면을 변환하는 단계를 포함할 수도 있고, 제 1 프로세스 가스 및 제 2 프로세스 가스는 제 1 재료 및 제 2 재료보다 변환된 층과 보다 덜 반응성 (reactive) 이다.
- [0007] 일부 실시 예들에서, 방법은 변환하는 단계 후, 기판 상으로 제 4 프로세스 가스를 흘림으로써 재료의 변환된 층을 개질되고 변환된 층으로 개질하는 단계 및 기판 상으로 제 5 프로세스 가스를 흘림으로써 개질되고 변환된 층을 제거하는 단계를 더 포함할 수도 있다.
- [0008] 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 개질하는 단계 전에 발생할 수도 있다.
- [0009] 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 개질하는 단계 후에 발생할 수도 있다.
- [0010] 일부 이러한 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 제거하는 단계 전에 발생할 수도 있다.
- [0011] 일부 추가의 이러한 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스를 흘린 후 그리고 제거하는 단계 전에 퍼지 가스를 흘리는 단계를 더 포함할 수도 있다.
- [0012] 일부 이러한 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 제거하는 단계 후에 발생할 수도 있다.
- [0013] 일부 실시 예들에서, 기판 상으로 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 기판 상으로 제 1 프로세스 가스를 흘리는 단계와 적어도 부분적으로 오버랩 (overlap) 할 수도 있다.
- [0014] 일부 실시 예들에서, 기판 상으로 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 기판 상으로 제 2 프로세스 가스를 흘리는 단계와 적어도 부분적으로 오버랩할 수도 있다.
- [0015] 일부 실시 예들에서, 기판 상으로 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계는 기판 상으로 제 1 프로세스 가스를 흘리

는 단계 그리고 기관 상으로 제 2 프로세스 가스를 흘리는 단계와 적어도 부분적으로 오버랩할 수도 있다.

- [0016] 일부 실시 예들에서, 변환하는 단계는 제 1 재료를 제거하는 단계 동안 또는 제 1 재료를 제거하는 단계 후에 제 2 재료의 표면이 언커버될 때 발생할 수도 있다.
- [0017] 일부 실시 예들에서 제거하는 단계 동안, 제 2 프로세스 가스는 제 1 에칭 레이트로 제 1 재료의 개질된 층을 제거할 수도 있고, 그리고 제거하는 단계 동안, 제 2 프로세스 가스는 제 1 에칭 레이트의 약 50 % 이하인 제 2 에칭 레이트로 변환된 층을 제거할 수도 있다.
- [0018] 일부 실시 예들에서, 제 2 에칭 레이트는 제 1 에칭 레이트의 약 15 % 이하일 수도 있다.
- [0019] 일부 실시 예들에서, 제거하는 단계 동안, 제 2 프로세스 가스는 제 1 에칭 레이트보다 보다 높은 제 3 에칭 레이트에서 제 2 재료를 제거할 수도 있다.
- [0020] 일부 실시 예들에서, 제 1 프로세스 가스는 개질 분자들을 포함할 수도 있고, 제 2 프로세스 가스는 제거 분자들을 포함할 수도 있고, 그리고 제 3 프로세스 가스는 변환 분자들을 포함할 수도 있다.
- [0021] 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 전구체를 포함할 수도 있다.
- [0022] 일부 실시 예들에서, 변환된 층은 제 2 재료의 단일 원자 층일 수도 있다.
- [0023] 일부 실시 예들에서, 제 1 재료 및 제 2 재료는 옥사이드들일 수도 있다.
- [0024] 일부 실시 예들에서, 제 1 재료 및/또는 제 2 재료는 반도체 옥사이드 들일 수도 있다.
- [0025] 일부 실시 예들에서, 변환된 층은 제 2 프로세스 가스에 대해 패시브일 수도 있다.
- [0026] 일부 실시 예들에서, 변환된 층과 제 2 프로세스 가스 사이의 반응은 부산물들을 생성하지 않을 수도 있다.
- [0027] 일부 실시 예들에서, 변환하는 단계 전에 제 1 재료의 양을 제거하기 위해 개질하는 단계 및 제거하는 단계를 반복하는 단계를 더 포함할 수도 있다.
- [0028] 일부 실시 예들에서, 제 1 재료는 알루미늄 옥사이드를 포함할 수도 있고, 제 2 재료는 아연 옥사이드를 포함하고, 제 1 프로세스 가스는 하이드로젠 플루오라이드를 포함할 수도 있고, 제 2 프로세스 가스는 트리메틸알루미늄을 포함할 수도 있고, 제 3 프로세스 가스는 지르코늄 테트라클로라이드를 포함할 수도 있고, 변환된 층은 지르코늄 옥사이드를 포함할 수도 있다.
- [0029] 일부 실시 예들에서, 기관 상으로 제 4 프로세스 가스를 흘림으로써 변환된 층을 제거하는 단계를 더 포함할 수도 있고, 제 4 프로세스 가스는 디메틸알루미늄 클로라이드를 포함한다.
- [0030] 일부 실시 예들에서, 변환하는 단계는 제 3 프로세스 가스의 원소와 제 2 재료 사이의 양이온 교환을 포함할 수도 있다.
- [0031] 일부 실시 예들에서, 개질하는 단계 및 제거하는 단계는 기관이 동일하거나 실질적으로 동일한 온도로 유지되는 동안 발생할 수도 있다.
- [0032] 일부 실시 예들에서, 개질하는 단계는 기관이 제 1 온도로 유지되는 동안 발생할 수도 있고, 그리고 제거하는 단계는 기관이 제 1 온도와 상이한 제 2 온도로 유지되는 동안 발생할 수도 있다.
- [0033] 일부 실시 예들에서, 변환하는 단계 동안, 수증기는 기관에 제공되지 않을 수도 있다.
- [0034] 일부 실시 예들에서, 방법이 제공될 수도 있다. 방법은 프로세싱 챔버에 기관을 제공하는 단계로서, 기관은 제 2 재료의 표면에 인접하고 제 2 재료의 표면을 커버하는 제 1 재료를 갖는, 상기 기관을 제공하는 단계, 기관 상으로 제 1 프로세스 가스를 흘림으로써 제 1 재료의 층을 개질하고, 이에 따라 제 1 재료의 개질된 층을 생성하는 단계, 기관 상으로 제 2 프로세스 가스를 흘림으로써 제 1 재료의 개질된 층을 제거하는 단계, 및 제 2 재료의 표면이 개질된 층의 제거 동안 언커버될 때, 제 2 재료의 표면을 에칭 정지 재료의 층으로 선택적으로 변환하는 단계로서, 제거하는 단계 동안, 제 1 재료의 개질된 층 및 에칭 정지 재료의 층이 제 2 프로세스 가스에 노출되고 제 2 프로세스 가스가 제 1 재료 및 제 2 재료의 개질된 층보다 에칭 정지 재료의 층과 보다 덜 반응성이도록 에칭 정지 재료의 층은 제 2 재료의 상단에만 위치되는, 상기 표면을 변환하는 단계를 포함할 수도 있다.
- [0035] 일부 실시 예들에서, 반도체 프로세싱을 위한 장치가 제공될 수도 있다. 장치는 내부 및 내부에서 기관을 지지

하도록 구성된 기관 지지부를 포함하는 프로세싱 챔버, 프로세싱 챔버 내 기관 상으로 개질 분자를 포함하는 제 1 프로세스 가스를, 프로세싱 챔버 내 기관 상으로 제거 분자를 포함하는 제 2 프로세스 가스를, 그리고 프로세싱 챔버 내 기관 상으로 변환 분자를 포함하는 제 3 프로세스 가스를 홀리도록 구성된 프로세스 가스 유닛, 및 인스트럭션들을 갖는 제어기를 포함할 수도 있고, 인스트럭션들은: 제 1 프로세스 가스로 하여금 기관 상으로 흐르게 하여, 기관-기관은 제 2 재료의 표면에 인접하고 제 2 재료의 표면을 커버하는 제 1 재료를 가짐-상에 제 1 재료의 개질된 층을 생성하게 하고, 제 2 프로세스 가스로 하여금 기관 상으로 흐르게 하여, 제 1 재료의 개질된 층을 제거하게 하고, 그리고 제 2 재료의 표면이 언커버될 때, 표면을 제 2 재료의 변환된 층으로 변환하도록 제 3 프로세스 가스로 하여금 기관 상으로 흐르게 하도록 구성되고, 제 1 프로세스 가스 및 제 2 프로세스 가스는 제 1 재료 및 제 2 재료보다 변환된 층과 보다 덜 반응성이다.

도면의 간단한 설명

[0036]

- 도 1은 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다.
- 도 2는 개시된 실시 예들에 따른 원자 층 예칭의 예시적인 개략적인 예시를 도시한다.
- 도 3은 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다.
- 도 4a는 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다.
- 도 4b는 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다.
- 도 5는 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다.
- 도 6a 내지 도 6d는 웨이퍼 상으로의 제 3 프로세스 가스의 다양한 플로우들을 더 예시한다.
- 도 7은 열적 원자 층 예칭을 포함하는, 개시된 실시 예들에 따른 반도체 프로세싱을 위한 예시적인 장치를 도시한다.
- 도 8a 내지 도 8c는 본 명세서에 기술된 예칭 동작들을 수행하기 위해 사용될 수도 있는 조정 가능한 갭 (gap) 용량 커플링 (capacitively coupled) 한정된 (confine) RF 플라즈마 반응기의 일 실시 예를 예시한다.
- 도 9는 진공 이송 모듈과 인터페이싱하는 다양한 모듈들을 갖는 반도체 프로세스 클러스터 아키텍처를 도시한다.
- 도 10은 재료를 증착하도록 사용될 수도 있는 프로세스 스테이션의 개략도를 도시한다.
- 도 11는 멀티 스테이션 프로세싱 툴의 실시 예의 개략도를 도시한다.
- 도 12는 특정한 실시 예들에 따른 박막 증착 프로세스들을 수행하기에 적합한 프로세싱 시스템의 블록도이다.
- 도 13은 멀티 스테이션 프로세싱 툴의 개략도를 도시한다.
- 도 14는 멀티 스테이션 프로세싱 툴의 또 다른 개략도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037]

이하의 기술 (description) 에서, 제시된 실시 예들의 완전한 이해를 제공하기 위해 수많은 구체적 상세들이 제시되었다. 개시된 실시 예들은 이들 구체적인 상세들 중 일부 또는 전부 없이 실시될 수도 있다. 다른 예들에서, 공지된 프로세스 동작들은 개시된 실시 예들을 불필요하게 모호하게 하지 않기 위해 상세히 기술되지 않았다. 개시된 실시 예들이 구체적인 실시 예들과 함께 기술될 것이지만, 이는 개시된 실시 예들을 제한하는 것으로 의도되지 않았다는 것이 이해될 것이다.

[0038]

본 명세서에서, 용어들 "반도체 웨이퍼", "웨이퍼", "기관", "웨이퍼 기관", 및 "부분적으로 제조된 집적 회로"는 상호교환가능하게 사용된다. 당업자는 용어 "부분적으로 제조된 집적 회로"가 상부에서 집적 회로 제조의 많은 단계들 중 임의의 단계 동안의 실리콘 웨이퍼를 지칭할 수 있다는 것을 이해할 것이다. 반도체 디바이스 산업계에서 사용된 웨이퍼 또는 기관은 통상적으로 200 mm, 또는 300 mm, 또는 450 mm의 직경을 갖는다. 이하의 상세한 기술은 본 발명이 웨이퍼 상에서 구현된다는 것을 가정한다. 그러나, 본 발명은 이렇게 제한되지 않는다. 워크피스 (work piece) 는 다양한 형상들, 사이즈들, 및 재료들일 수도 있다. 반도체 웨이퍼들에 더하여, 본 발명의 장점을 취할 수도 있는 다른 워크피스들은 인쇄 회로 기판들, 자기 기록 매체, 자기 기록 센서

들, 미러들, 광학 엘리먼트들, 마이크로-기계 디바이스들, 등과 같은 다양한 물품들을 포함한다.

[0039] 도입 및 맥락

[0040] 반도체 제조 프로세스들은 종종 도전체들, 반도체들, 및 유전체들을 포함하는 다양한 재료들의 패터닝 및 에칭을 수반한다. 일부 예들은 금속들 또는 탄소와 같은 도전체들; 실리콘 또는 게르마늄과 같은 반도체들; 및 실리콘 옥사이드, 알루미늄 옥사이드, 지르코늄 다이옥사이드, hafnium 다이옥사이드, 실리콘 나이트라이드, 및 티타늄 나이트라이드와 같은 유전체들을 포함한다. "원자 층 에칭" (Atomic Layer Etching; ALE) 프로세스들은 순차적인 자기-제한 반응들을 사용하여 재료의 박층들을 제거한다. 일반적으로, ALE 사이클들은 단일 층을 에칭하는 것과 같은, 에칭 프로세스를 1 회 수행하도록 사용된 동작들의 최소 세트이다. 일 ALE 사이클의 결과는 기판 표면 상의 막 층의 적어도 일부가 에칭되는 것이다. 통상적으로, ALE 사이클은 반응성 층을 형성하기 위한 개질 동작, 이어서 이 반응성 층만을 제거하거나 에칭하기 위한 제거 동작을 포함한다. 사이클은 반응 물질들 또는 부산물들 중 하나를 제거하는 것과 같은 특정한 보조 동작들, 뿐만 아니라 프로세싱 챔버의 표면들 상에 축적된 잔류물들을 제거하기 위한 세정 동작을 포함할 수도 있다. 일반적으로, 사이클은 동작들의 고유한 시퀀스의 일 예를 포함한다.

[0041] 일 예로서, ALE 사이클은 다음의 동작들: (i) 반응 물질 가스인 제 1 프로세스 가스의 전달, (ii) 챔버로부터 반응 물질 가스의 퍼지, (iii) 제거 가스인 제 1 프로세스 가스 및 선택 가능한 (optional) 플라즈마의 전달, 및 (iv) 챔버의 퍼지를 포함할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 에칭은 컨포멀하지 않게 (nonconformally) 수행될 수도 있다. 일부 예들에서, 프로세싱 챔버의 표면들 상에 축적된 잔류물들을 제거하기 위해 하나 이상의 사이클들 후에 세정 동작이 수행될 수도 있다. 개질 동작은 일반적으로 예를 들어, 1, 2, 또는 3 개의 원자 층들과 같은 개질되지 않은 재료보다 보다 얇은 두께, 또는 한 사이클에서 전체 원자 층보다 보다 얇은 두께를 갖는 박형의 반응성 표면 층을 형성한다.

[0042] 본 명세서에 기술된 ALE 프로세스들의 일부 구현 예들은 "열적 ALE"로 간주될 수도 있는 개질 동작 및/또는 제거 동작에서 화학 반응들을 구동하기 위해 특정한 온도 또는 온도 범위로 기판을 유지하는 것과 함께 화학 반응들에 의존할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 이 열적 ALE는 등방성 에칭으로 간주될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 기판의 하나 이상의 층들은 플라즈마가 아닌 화학적 흡착 (이하 "화학 흡착") 으로 개질될 수도 있지만, 기판은 제 1 온도로 유지되고, 그 후 기판의 하나 이상의 개질된 층들은 기판이 제 2 온도에 있는 동안, 플라즈마가 아니라 탈착 (desorption) 으로 제거될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 1 온도 및 제 2 온도는 동일할 수도 있지만, 일부 다른 실시 예들에서 이들은 서로 상이할 수도 있다. 화학 흡착 및 탈착은 별도의 온도 레짐들에서 발생할 수도 있고, 부분적으로 오버랩하는 (overlap) 온도 레짐들에서 발생할 수도 있고, 또는 동일한 온도 레짐에서 발생할 수도 있는 온도 종속적인 화학 반응들이다. 이 때문에, 본 명세서에 기술된 열적 ALE 기법들 중 일부는 개질 동작 및 제거 동작 동안 기판의 온도를 동일하거나 실질적으로 동일한 온도로 유지한다. 일부 다른 실시 예들은 개질 동작을 위해 일 온도에서 발생하는 화학 흡착을 가능하게 하고 활용하고, 제거 동작을 위해 상이한 온도에서 발생하는 탈착을 가능하게 하고 활용하기 위해 개질 동작과 제거 동작 사이에 기판의 온도를 조절한다.

[0043] 열적 ALE의 일부 실시 예들에서, 플라즈마는 제거 동작 동안이 아니라 개질 동작 동안 사용될 수도 있지만, 일부 다른 실시 예들에서, 플라즈마는 이들 동작들 동안 변화하는 온도들과 함께, 개질 동작 및 제거 동작 모두 동안 사용될 수도 있다.

[0044] 일부 열적 ALE 프로세스들에서, 기판이 제 1 온도로 유지되는 동안 재료의 하나 이상의 표면 층들이 화학 흡착에 의해 개질되고; 이는 기판의 하나 이상의 개질된 표면 층들의 생성을 발생시킬 수도 있다. 기판은 재료의 층들 및 재료의 균일한 층들일 수도 있는 노출된 표면들을 포함하거나 상이한 분자들 및 원소들을 포함하는 불균일한 층일 수도 있다. 개질 분자들을 갖는 제 1 프로세스 가스가 제 1 온도로 유지되는 기판 상으로 흐를 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 개질 분자들은 기판 상의 노출된 분자들을 할로겐화하기 위해 불소와 같은 할로젠을 포함할 수도 있는 한편, 일부 실시 예들에서 기판 상의 노출된 분자들을 산화시키기 위해 산소를 포함할 수도 있다. 제 1 프로세스 가스는 또한 N_2 , Ar, He, 및 Ne와 같은 캐리어 가스를 포함할 수도 있다. 이 제 1 온도는 개질 분자들과 재료의 노출된 표면 (들) 의 적어도 일부 분자들 사이의 화학 흡착을 허용한다.

[0045] 용어 "제 1 온도"가 사용되지만, 본 명세서에서 논의된 온도들은 특정한 온도 모두로 간주될 수도 있고, 또는 도 2 및 도 3에서 강조된 바와 같은 온도 범위일 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 1 온도는 예를 들어 약 20 °C 내지 500 °C, 약 20 °C 내지 150 °C, 약 20 °C 내지 100 °C, 약 20 °C 내지 80 °C, 약 200 °C 내지 약 600 °C, 약 200 °C 내지 500 °C, 약 200 °C 내지 350 °C, 또는 약 350 °C 내지 500 °C일 수도 있다. 부가적으

로, 기관은 개질 동작의 전부 또는 실질적으로 전부 (예를 들어, 적어도 80 %, 90 %, 또는 95 %) 동안 온도로 유지될 수도 있다. 개질 동작의 지속 기간은 기관 상의 목표된 노출된 분자들의 실질적으로 모든 (예를 들어, 적어도 80 %, 90 %, 또는 95 %) 개질이 발생하는 지속 기간일 수도 있다. 이는 예를 들어 약 0.5 초 내지 약 10 초, 0.5 초 내지 약 5 초, 약 1 초 내지 약 5 초, 또는 약 30 초 내지 2 분의 범위일 수도 있다.

[0046] 개질 동작 후에, 선택 가능한 퍼지 동작이 수행될 수도 있다. 개질 동작 및 제거 동작들이 상이한 온도들에서 수행되는 일부 실시 예들에서, 개질 동작 후에, 기관의 온도는 제 2 온도가 될 수도 있고, 선택 가능한 퍼지 동작이 수행될 수도 있다. 이 제 2 온도는 하나 이상의 개질된 표면 층들에 대해 탈착이 발생하는 온도일 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 2 온도는 제 1 온도보다 보다 높을 수도 있고 기관의 온도는 제 1 온도로부터 제 2 온도로 상승될 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 제 2 온도는 제 1 온도보다 보다 낮을 수도 있고, 이들 실시 예들에서, 기관은 제 1 온도로부터 제 2 온도로 능동적으로 냉각될 수도 있다. 기관은 복사 가열, 대류 가열, 고체-대-고체 열 전달을 사용하여, 또는 플라즈마에 의해 가열될 수도 있다. 부가적으로, 기관 상단, 하단, 또는 모두가 가열될 수도 있다. 기관의 가열은 또한 일부 실시 예들에서 비선형 방식으로 발생할 수도 있고, 기관은 다양한 방식으로 능동적으로 냉각될 수도 있다. 상기 유지된 바와 같이, 일부 실시 예들에서, 제 2 온도는 개질 동작 및 제거 동작들이 동일하거나 실질적으로 동일한 온도에서 수행되도록 제 1 온도와 동일하거나 실질적으로 동일할 수도 있다.

[0047] 기관이 제 2 온도로 유지되는 동안 하나 이상의 개질된 표면 층들이 제거될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 2 온도가 단독으로 기관으로부터 개질된 분자들의 탈착을 가능하게 하고 유발하여 기관으로부터 개질된 분자들을 제거할 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 제거 분자들을 갖는 제 2 프로세스 가스가 기관의 노출된 표면들을 포함하여 기관 상으로 흐를 수도 있다. 제 2 프로세스 가스는 또한 상기 기술된 바와 같이 캐리어 가스를 포함할 수도 있다. 이들 제거 분자들은 상이한 휘발성 분자를 형성하도록 개질된 분자들과 반응할 수도 있고, 이는 휘발된 분자로 간주될 수도 있다. 이 휘발된 분자는 결국 기관이 제 2 온도에 있을 때 탈착에 의해 기관으로부터 제거될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 2 프로세스 가스의 이 흐름은 제거 동작의 일부일 수도 있고 또는 기관의 가열 전, 가열 후, 또는 가열 동안 발생하는 별개의 동작일 수도 있다.

[0048] 일부 실시 예들에서, 제 2 온도는 제 1 온도와 동일하거나 상이할 수도 있고, 그리고 예를 들어 약 20 °C 내지 500 °C, 약 20 °C 내지 150 °C, 약 20 °C 내지 100 °C, 약 20 °C 내지 80 °C, 약 200 °C 내지 약 600 °C, 약 200 °C 내지 500 °C, 약 200 °C 내지 350 °C, 또는 약 350 °C 내지 500 °C의 범위일 수도 있다. 부가적으로, 기관은 제거 동작의 전부 또는 실질적으로 전부 (예를 들어, 적어도 80 %, 90 %, 또는 95 %) 동안 온도로 유지될 수도 있다. 제거 동작의 지속 기간은 기관 상의 목표된 분자들의 실질적으로 모든 (예를 들어, 적어도 80 %, 90 %, 또는 95 %) 탈착이 일어나는 지속 기간일 수도 있다. 이는 약 0.5 초 내지 약 10 초, 약 0.5 초 내지 약 5 초, 약 1 초 내지 약 5 초, 약 0.5 초 내지 2 분, 또는 약 30 초 내지 2 분의 범위일 수도 있다.

[0049] 일부 다른 ALE 프로세스들에서, 예컨대 플라즈마로부터의 이온 에너지가 개질 동작 및/또는 제거 동작을 구동하도록 사용될 수도 있다. 예시적인 개질 동작에서, 기관은 챔버 내로 염소를 도입함으로써 염소화될 수도 있다. 염소가 예시적인 에천트 중 또는 에칭 가스로서 사용되지만, 상이한 에칭 가스가 챔버 내로 도입될 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 에칭 가스는 에칭될 기관의 타입 및 화학 물질에 따라 선택될 수도 있다. 에칭 프로세스를 위해 플라즈마가 점화될 수도 있고 염소가 기관과 반응한다; 염소는 기관과 반응할 수도 있고, 또는 기관의 표면 상에 흡착될 수도 있다. 플라즈마로부터 생성된 종은 기관을 하우징하는 프로세스 챔버 내에서 플라즈마를 형성함으로써 직접적으로 생성될 수 있거나 기관을 하우징하지 않는 프로세스 챔버에서 리모트로 생성될 수 있고, 기관을 하우징하는 프로세스 챔버 내로 공급될 수 있다.

[0050] 일부 예들에서, 개질 및/또는 제거 동작 후를 포함하여, 본 명세서에 기술된 임의의 동작들 후에 퍼지가 수행될 수도 있다. 퍼지 동작에서, 비표면-결합 활성 개질 분자들, 예컨대 염소 또는 할로젠 종은 프로세스 챔버로부터 제거될 수도 있다. 이는 흡착된 층을 제거하지 않고 활성 종을 제거하기 위해 프로세스 챔버를 퍼지하고 그리고/또는 배기함으로써 수행될 수 있다. 플라즈마를 사용하는 일부 구현 예들에서, 플라즈마에서 생성된 종은 플라즈마를 정지시키고 남아있는 종으로 하여금 붕괴되게 함으로써 제거될 수 있고, 선택 가능하게 챔버의 퍼지 및/또는 배기와 결합된다. 퍼지는 N₂, Ar, Ne, He 및 이들의 조합들과 같은 임의의 불활성 가스를 사용하여 수행될 수 있다.

[0051] 플라즈마를 활용하는 제거 동작에서, 기관은 방향성 스퍼터링 (이것은 제거를 유도하는 가스 또는 화학적으로 반응성인 종을 활성화 또는 스퍼터링하는 것을 포함할 수도 있다) 에 의해 기관을 에칭하도록 에너지 소스에 노출될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제거 동작은 아르곤 이온 또는 헬륨 이온을 사용한 이온 충격에 의해 수

행될 수도 있다. 제거 동안, 방향성 스퍼터링을 용이하게 하기 위해 바이어스가 선택 가능하게 턴 온될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, ALE는 등방성일 수도 있고; 일부 다른 실시 예들에서, ALE는 방향성 이온들이 제거 프로세스에서 사용될 때 등방성이 아니다.

[0052] 다양한 예들에서, 열적 ALE 및 플라즈마 보조된 ALE의 개질 동작 및 제거 동작은 약 1 내지 약 30 회의 사이클들, 또는 약 1 내지 약 20 회의 사이클들과 같은 사이클들로 반복될 수도 있다. 임의의 적합한 수의 ALE 사이클들이 목표된 양의 막을 에칭하도록 포함될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, ALE는 기판 상의 층들의 표면의 약 0.1 Å 내지 약 50 Å를 에칭하기 위한 사이클들로 수행된다. 일부 실시 예들에서, ALE 에칭 사이클들은 기판 상의 층들의 표면의 약 2 Å 내지 약 50 Å를 에칭한다. 일부 실시 예들에서, ALE 사이클 각각은 적어도 약 0.1 Å, 0.5 Å, 또는 3 Å를 에칭할 수도 있다.

[0053] 일부 예들에서, 에칭 전에, 기판은 실리콘 또는 게르마늄과 같은 재료의 블랭킷 층을 포함할 수도 있다. 기판은 기판 상에 이전에 증착되고 패터닝된 패터닝된 마스크 층을 포함할 수도 있다. 예를 들어, 마스크 층이 블랭킷 비정질 실리콘 층을 포함하는 기판 상에 증착되고 패터닝될 수도 있다. 기판 상의 층들은 또한 패터닝될 수도 있다. 기판들은 좁은 그리고/또는 재차 들어간 (re-entrant) 개구부들, 피쳐 내 협폭부들 (constrictions), 및 고 종횡비들 중 하나 이상을 특징으로할 수도 있는, 비아 또는 콘택트 홀들과 같은 피쳐들을 가질 수도 있다. 피쳐의 일 예는 반도체 기판 상의 층 또는 반도체 기판 내의 홀 또는 비아이다. 또 다른 예는 기판 또는 층의 트렌치이다. 다양한 예들에서, 피쳐는 배리어 층 또는 접착 층과 같은, 하부 층을 가질 수도 있다. 하부 층들의 비제한적인 예들은 유전체 층들 및 전도성 층들, 예를 들어, 실리콘 옥사이드들, 실리콘 나이트라이드들, 실리콘 카바이드들, 금속 옥사이드들, 금속 나이트라이드들, 금속 카바이드들, 및 금속 층들을 포함한다. 또 다른 예시적인 피쳐는 방향성 이온들로 액세스 가능하지 않을 수도 있는 위치에서 에칭을 필요로할 수도 있는 오버행들 (overhangs) 또는 선반들을 포함할 수도 있다.

[0054] 일부 열적 ALE 및/또는 플라즈마 보조된 ALE 프로세스들에서, 때때로 다른 재료에 대한 선택도를 갖는 타깃 재료를 에칭하는 것으로 기술되는, 타깃 재료에 의해 커버된 (cover) 또 다른 재료를 에칭하지 않고 타깃 재료를 에칭하는 것이 바람직하다. 일부 재료들 및 에칭 화학 물질들을 사용하여, 통상적인 ALE 프로세싱 및 화학 물질은 이 선택도를 달성할 수 없다. 이들 통상적인 ALE 프로세스들 중 일부에서, 에칭 프론트가 타깃 재료를 제거하고 아래에 놓인 다른 재료에 도달할 때, 바람직하지 않게 계속해서 다른 재료를 에칭하고 제거할 수도 있다. 이 바람직하지 않은 에칭은, 예를 들어, 하이-k (high-k) 유전체들, 하이-k 옥사이드들, 반도체들, 금속들, 또는 다른 하이-k 유전체들, 하이-k 옥사이드들, 반도체들, 금속들을 커버하는 다른 옥사이드들을 에칭할 때 발생할 수도 있다. 따라서 이들 종래의 ALE 프로세스들 중 일부는 또 다른 하이-k 옥사이드 또는 반도체에 대한 선택도를 갖는 하나의 하이-k 옥사이드를 제거하는 능력을 갖지 않는다.

[0055] 높은 선택도를 갖는 에칭 기법들

[0056] 재료들 사이의 에칭 선택도를 증가시키기 위한 기법들 및 장치들이 본 명세서에 제공된다. 이는 또 다른 재료를 커버하는, 타깃 재료로 지칭되는 일 재료를 에칭하고 이 다른 재료의 에칭을 감소시키고 그리고/또는 제한하는 것을 포함한다. 일부 실시 예들은 아래에 놓인 재료의 에칭을 방지하고 그리고/또는 감소시키는 에칭 정지 층을 생성하는 제 3 프로세스 가스를 도입하는 것을 포함할 수도 있다. 이 제 3 프로세스 가스는 또한 제한적으로 타깃 재료의 에칭이 없는 것을 유발할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 실질적으로 모든 (예를 들어, 적어도 99 % 이상의) 구성 성분들 (constituents) 이 가스상인 가스, 뿐만 아니라 구성 성분들이 부유 액체로서의 가스상 및 액체상 모두일 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 에칭 정지 층은 아래에 놓인 재료 상에 선택적으로 증착되는 증착된 재료 층일 수도 있다. 변환된 층이든 증착된 층이든, 에칭 정지 층은 재료의 제 2 층 및 재료의 개질된 층에 대해 이 에칭 정지 재료의 에칭을 제한하고 감소시키는 재료의 제 2 층 및 재료의 개질된 층보다 에칭 화학 물질과 보다 덜 반응성인 것으로 간주될 수도 있다.

[0057] 일부 구현 예들에서, 에칭 정지 층은 타깃 재료를 제거하기 위해 사용된 에칭 화학 물질을 건드릴 수 있는 변환된 층으로 아래에 놓인 재료의 노출된 표면을 변환함으로써 생성될 수도 있다. 이 에칭 정지 층, 또는 변환된 층은, 일부 경우들에서, 타깃 재료의 조성을 변경하지 않고 또는 타깃 재료를 에칭하도록 사용된 1 차 에칭 화학 물질을 간섭하지 않고 제 3 프로세스 가스와 아래에 놓인 재료 사이의 양이온 교환에 의해 달성될 수도 있는 아래에 놓인 재료의 층의 변환에 의해 형성된다. 이는 그 재료의 적어도 하나의 단일 원자 층의 변환일 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 에칭 정지 층은 표면이 노출될 때, 기체 화합물들을 사용하여 아래에 놓인 재료의 표면의 변환을 통해 형성된다. 제 3 프로세스는 이 변환을 위해 기상의 양이온 성분을 공급하고; 이 변환의 나머지 엘리먼트들은 아래에 놓인 재료의 표면에 의해 제공된다. 일부 실시 예들에서, 아래에 놓인 재료의 양이온

구성 요소들은 기관의 표면을 떠나거나 기관으로부터 탈착하는 휘발성 분자들로 변환된다. 제 3 프로세스 가스, 예를 들어, 유입되는 증기의 양이온은 리간드들 (예를 들어, 염소) 를 표면상의 리간드 (예를 들어, 산소) 와 교환하고, 이에 따라 고체 또는 비휘발성이 된다.

[0058] 부가적으로, 일부 구현 예들에서, 에칭 화학 물질, 제 3 프로세스 가스를 갖는 것이 바람직하고, 생성된 에칭 정지 층은, 예를 들어, 제 1 재료의 에칭이 변환 층이 형성되는 동안 재료의 아래에 놓인 층을 보호하는 것을 계속할 수 있고, 그리고/또는 에칭 화학 물질이 제 3 프로세스 가스와 반응하거나 에칭 정지 층을 에칭하지 않도록 서로 양립할 수 있는 것이 바람직하다. 예를 들어, 제 1 재료는 전체 웨이퍼 상의 그리고/또는 전체 웨이퍼에 걸쳐 다양한 위치들에서 동일한 시간 및/또는 레이트로 에칭되지 않을 수도 있다. 다양한 이유들로, 일부 에칭 프로세스들은 웨이퍼의 중심에서 시작되고 방사상으로 외향으로 계속되어 에지 영역 전에 중심 영역을 에칭한다. 이는 목표된 재료가 웨이퍼의 일부 부분들로부터 제거된 후 웨이퍼 상으로 계속해서 흐르는 에칭 화학 물질을 요구할 수도 있는, 에지 영역에서 보다 보다 빠르게 중심 영역에서 목표된 양의 재료의 제거를 유발할 수도 있다.

[0059] 또 다른 예에서, 제 1 재료는 홀 (또는 비아, 또는 트렌치) 의 측면들 및 하단부 상에 증착될 수도 있고, 또한 홀 내에 있는 제 2 재료를 커버할 수도 있고, 이는 수평 표면들의 에칭 레이트들이 때때로 수직 표면들의 에칭 레이트들 보다 보다 작기 때문에, 홀의 하단 및/또는 상단, 비아, 또는 트렌치는 제 1 재료가 홀의 측면들 상에서 제거되기 전에 제 2 재료를 노출하도록 에칭될 수도 있다. 이는 제 2 재료가 홀의 하단 및/또는 상단에서 노출되는 동안 홀의 측면들 상의 제 1 재료를 제거하기 위해 홀 내에서 에칭을 계속하는 것을 요구할 수도 있다. 따라서 일부 구현 예들에서, 에칭이 아래에 놓인 재료를 노출시키면서 동시에 (simultaneously) 웨이퍼 상에서 제 1 재료의 에칭을 계속하게 하는, 변환 층을 형성하는 것이 바람직하다. 따라서, 본 명세서에 제공된 일부 구현 예들은 아래에 놓인 재료가 그 에칭에 의해 노출될 때 변환 층이 또한 형성되는 동안 제 1 재료의 에칭이 웨이퍼상에서 계속될 수 있도록 서로 부정적으로 영향을 주지 않는 변환 분자들 및 에칭 화학 물질을 사용한다.

[0060] 타겟 재료를 에칭하도록 사용된 화학 물질은 타겟 재료 및/또는 다른 재료의 에칭 레이트 보다 보다 작은 에칭 레이트로, 예컨대 타겟 재료 및/또는 다른 재료의 에칭 레이트 50 %, 25 %, 15 %, 10 %, 5 %, 1 %, 0.1 %, 또는 0.05 % 이하로 에칭 정지 층을 에칭할 수도 있다.

[0061] 이하에 보다 상세히 논의된 바와 같이, 제 3 프로세스 가스는 프로세싱의 다양한 양태들 동안 도입될 수도 있다. 이는 1 회 이상의 ALE 사이클들 동안, 개질하는 단계 또는 제거하는 단계와 같은 ALE 프로세스 단계 동안 제 3 프로세스 가스를 병류하는 단계 (co-flowing) 및/또는 제거 동작과 제거 동작 사이에서와 같이 다른 프로세스 가스들이 흐르지 않는 동안 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계를 포함할 수도 있다. 예시적인 프로세스는 개질 동작, 이어서 퍼지, 이어서 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계, 이어서 또 다른 퍼지, 및 이어서 제거 동작을 수행하는 것을 포함할 수도 있다. 선택 가능하게, 변환 층은 상이한 개질 분자를 사용한 분리된 개질 동작 및 상이한 제거 분자를 사용한 분리된 제거 동작에 의해 제거될 수도 있다.

[0062] 도 1은 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다. 블록 (101) 에서, 웨이퍼는 웨이퍼의 에칭을 수행하도록 구성된 프로세싱 챔버에 제공된다. 웨이퍼는 상부에 증착된 적어도 2 개의 재료들을 가질 수도 있고, 제 1 재료는 제 2 재료의 표면에 인접하고 제 2 재료의 표면을 커버한다. 이 커버링은 웨이퍼가 하단 표면 상에 위치될 때, 제 1 재료 및 제 2 재료는 제 1 재료가 위에서 제 2 재료를 커버하도록 수직으로 배치되도록 수직 커버링일 수도 있다. 이 커버링은 대안적으로 또는 부가적으로 웨이퍼가 그 하단 표면 상에 위치될 때, 제 1 재료 및 제 2 재료가 제 2 재료를 커버하는 제 1 재료와 함께 서로에 대해 수평으로 배치되도록 수평 커버링일 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 커버링은 수직 커버링 및 수평 커버링 모두일 수도 있다. 상기 언급된 바와 같이, 이는 수평 표면들 상의 에칭 레이트들이 수직 표면들 상의 에칭 레이트들을 초과할 수도 있기 때문에 부가적인 문제를 제기하는 홀, 비아, 또는 트렌치의 측면들을 따라 제 2 재료를 커버하는 제 1 재료를 포함할 수도 있다. 하나의 단일 홀 또는 비아에서, 수직 표면의 에칭은 변환 층이 형성되고 수평 표면 상에 형성되는 동안 계속되어야 한다.

[0063] 블록 (103) 에서, 또한 타겟 재료로 간주되는 제 1 재료의 개질 동작이 수행될 수도 있다. 개질 동작은 후속하는 제거 동작에서 개질되지 않은 재료보다 보다 쉽게 제거되는 박형의 반응성 표면 층을 형성하도록 개질 분자를 포함하는 제 1 프로세스 가스를 웨이퍼 상으로 흘리는 단계를 포함할 수도 있다. 이들 개질 분자들은 예를 들어 염소 또는 불소와 같은 할로겐 종을 포함할 수도 있다. 개시된 실시 예들에서 예시적인 에천트 종으로서 불소가 사용되고 이는 하이드로젠 플루오라이드 (HF) 로서 기관 상으로 흐를 수도 있지만, 일부 실시 예들에서,

상이한 에칭 가스가 챔버 내로 도입된다는 것이 이해될 것이다. 에칭 가스는 에칭될 기관의 타입 및 화학 물질에 따라 선택될 수도 있다.

[0064] 일부 실시 예들에서, 활성화 에너지는 개질 분자가 반도체 상에 흡착하도록 활성화 배리어를 극복하는 것을 보조하도록 제공될 수도 있다. 이 활성화 에너지는 기관을 가열하고 그리고/또는 플라즈마 또는 광자들을 생성하는 것을 포함할 수도 있는, 열 에너지, 라디칼 에너지, 또는 둘 다와 함께 제공될 수도 있다. 제 1 재료 상으로의 개질 분자의 이 흡착은 화학적 흡착 또는 에너지 의존적 (예를 들어, 온도 의존적) 화학 반응인 "화학 흡착"으로 간주될 수도 있다. 일부 열적 ALE 기법들에 대해, 개질 동작 동안의 이 화학 흡착은 재료 층 내의 분자들 및 유입 개질 분자들의 활성화 배리어가 극복될 수 있게 하는 특정 온도 범위에서만 발생할 수도 있고, 이는 이들 분자들과 개질 분자의 흡착물 사이의 해리 및 화학적 결합을 허용한다. 이 온도 범위 밖에서, 화학 흡착은 발생하지 않을 수도 있고, 또는 바람직하지 않은 (예를 들어, 느린) 레이트로 발생할 수도 있다.

[0065] 따라서, 블록 (103)의 일부 구현 예들은 기관이 제 1 온도로 유지되는 동안 화학 흡착에 의해 개질되는 재료의 하나 이상의 표면 층들을 포함하고; 이는 기관의 하나 이상의 개질된 표면 층들의 생성을 발생시킬 수도 있다. 기관은 재료의 층들 및 재료의 균일한 층들일 수도 있는 노출된 표면들을 포함하거나 상이한 분자들 및 원소들을 포함하는 불균일한 층일 수도 있다. 개질 분자들을 갖는 제 1 프로세스 가스가 제 1 온도로 유지되는 기관 상으로 흐를 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 개질 분자들은 기관 상의 노출된 분자들을 할로겐화하기 위해 불소와 같은 할로겐을 포함할 수도 있는 한편, 일부 실시 예들에서 기관 상의 노출된 분자들을 산화시키기 위해 산소를 포함할 수도 있다. 다양한 실시 예들에서, 개질 분자들은 가스 형태 또는 증기 형태 (예를 들어, 가스 형태 및 액체 형태 모두를 포함함)로 챔버 내로 도입되고, 예를 들어 질소, 아르곤, 헬륨, 또는 네온과 같은 캐리어 가스가 선택 가능하게 동반될 수도 있다. 이 제 1 온도는 개질 분자들과 재료의 노출된 표면 (들)의 적어도 일부 분자들 사이의 화학 흡착을 허용한다.

[0066] 용어 "제 1 온도"가 사용되지만, 본 명세서에서 논의된 온도들은 특정한 온도 모두로 간주될 수도 있고, 또는 도 2 및 도 3에서 강조된 바와 같은 온도 범위일 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 1 온도는 예를 들어 약 20 °C 내지 500 °C, 약 20 °C 내지 150 °C, 약 20 °C 내지 100 °C, 약 20 °C 내지 80 °C, 약 200 °C 내지 약 600 °C, 약 200 °C 내지 500 °C, 약 200 °C 내지 350 °C, 또는 약 350 °C 내지 500 °C일 수도 있다. 부가적으로, 기관은 개질 동작의 전부 또는 실질적으로 전부 (예를 들어, 적어도 80 %, 90 %, 또는 95 %) 동안 온도로 유지될 수도 있다. 개질 동작의 지속 기간은 기관 상의 목표된 노출된 분자들의 실질적으로 모든 (예를 들어, 적어도 80 %, 90 %, 또는 95 %) 개질이 발생하는 지속 기간일 수도 있다. 이는 예를 들어 약 0.5 초 내지 약 10 초, 0.5 초 내지 약 5 초, 또는 약 1 초 내지 약 5 초의 범위일 수도 있다.

[0067] 플라즈마 보조 개질을 활용하는 특정 구현 예들에서, 예를 들어, 플라즈마로부터 생성된 종은 기관을 하우징하는 프로세스 챔버 내에서 플라즈마를 형성함으로써 직접적으로 생성될 수 있거나 기관을 하우징하지 않는 프로세스 챔버에서 리모트로 생성될 수 있고, 기관을 하우징하는 프로세스 챔버 내로 공급될 수 있다.

[0068] 도 1에 도시되지 않았지만, 선택 가능한 퍼지 동작이 블록 (103) 후에 수행될 수도 있다. 퍼지 동작에서, 불소 또는 염소 종과 같은 비-표면-결합 활성 개질 분자는 프로세스 챔버, 챔버 벽들, 챔버 가스 볼륨, 및/또는 기관으로부터 제거될 수도 있다. 이는 흡착된 층을 제거하지 않고 활성 종을 제거하기 위해 프로세스 챔버를 퍼지하고 그리고/또는 배기함으로써 수행될 수 있다. 플라즈마에서 생성된 종은 플라즈마를 정지시키고 남아있는 종으로 하여금 붕괴되게 함으로써 제거될 수 있고, 선택 가능하게 챔버의 퍼지 및/또는 배기와 결합된다. 퍼지는 N₂, Ar, Ne, He 및 이들의 조합들과 같은 임의의 불활성 가스를 사용하여 이루어질 수 있다.

[0069] 블록 (105)에서, 제 1 재료의 개질된 층의 제거 동작이 수행된다. 이는 제거 분자들을 포함하는 제 2 프로세스 가스를 기관 상으로 흘리고, 그리고 에너지 소스, 예컨대 열 에너지, 플라즈마, 또는 활성화 또는 스퍼터링 가스 또는 지향성 스퍼터링에 의해 기관을 에칭하기 위해 제거를 유도하는 화학적으로 반응성인 종, 예컨대 아르곤 또는 헬륨에 웨이퍼를 노출시키는 단계를 포함할 수도 있다. 일부 열적 ALE 구현 예들에 대해, 제거 동작은 제거 동작과 동일하거나 실질적으로 동일한 온도에서 (즉, 제 1 온도에서) 발생할 수도 있다. 일부 다른 열적 ALE 구현 예들에서, 제거 동작은 블록 (103)의 개질 동작의 제 1 온도 범위와 상이한 제 2 온도 또는 온도 범위에서 발생할 수도 있다.

[0070] 탈착을 위해, 특정한 온도 범위는 기관의 표면으로부터 개질된 층의 방출을 허용하는 개질된 분자의 활성화 배리어가 극복될 수 있게 한다. 일부 예들에서, 화학 흡착 및 탈착이 발생하는 온도 범위들은 다른 온도들에서 부분적으로 또는 완전히 오버랩되는 동안 오버랩되지 않는다. 따라서, 화학 흡착 및 탈착을 사용하여 기관으로부터 분자를 제거하기 위해, 일부 구현 예들은 제거 동작 및 개질 동작 동안 기관을 동일하거나 실질적으로 동

일한 온도로 유지할 수도 있다. 상이한 온도 레짐들에서 발생하는 화학 흡착 및 탈착을 사용하여 기관으로부터 분자를 제거하기 위해, 블록 (103) 의 개질 동작은 제 1 온도 범위에서 발생할 수도 있고 블록 (105) 의 제거 동작은 제 1 온도 보다 보다 높거나 보다 낮을 수도 있는 제 2 상이한 온도 범위에서 발생할 수도 있다. 일부 이러한 실시 예들은 제거 동작 및 개질 동작들 동안 기관을 동일하거나 실질적으로 동일한 온도로 유지함으로써 재료의 복수의 층들을 제거하기 위해 복수 회의 사이클들을 수행할 수도 있는 한편, 다른 실시 예들은 화학 흡착 및 탈착을 위한 2 개의 온도 레짐들 사이에서 기관을 반복적으로 가열하고 냉각할 수도 있다.

[0071] 상이한 온도 레짐들을 사용하는 일부 실시 예들에서, 블록 (105) 동안 또는 블록 (105) 전에, 기관의 온도는 제 1 온도와 상이한 제 2 온도가 될 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 제 2 온도는 제 1 온도와 동일하거나 실질적으로 동일한 온도이다. 이 제 2 온도는 하나 이상의 개질된 표면 층들에 대해 탈착이 발생하는 온도일 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 2 온도는 제 1 온도보다 보다 높을 수도 있고, 이들 실시 예들에서, 블록 (105) 은 기관을 제 1 온도로부터 제 2 온도로 가열하는 것을 포함할 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 제 2 온도는 제 1 온도보다 보다 낮을 수도 있고, 이들 실시 예들에서, 기관은 제 1 온도로부터 제 2 온도로 능동적으로 냉각될 수도 있다. 기관은 복사 가열, 대류 가열, 고체-대-고체 열 전달을 사용하여, 또는 플라즈마에 의해 가열될 수도 있다. 부가적으로, 기관 상단, 하단, 또는 모두가 가열될 수도 있다. 이하에 더 논의된 바와 같이, 일부 실시 예들에서, 기관의 가열은 또한 비선형 방식으로 발생할 수도 있다. 또한 이하에 기술된 바와 같이, 기관은 다양한 방식으로 능동적으로 냉각될 수도 있다.

[0072] 블록 (105) 에서, 기관이 제 2 온도로 유지되는 동안 하나 이상의 개질된 표면 층들이 제거될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 2 온도가 단독으로 기관으로부터 개질된 분자들의 탈착을 가능하게 하고 유발하여 기관으로부터 개질된 분자들을 제거할 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 제거 분자들을 갖는 제 2 프로세스 가스가 기관의 노출된 표면들을 포함하여 기관 상으로 흐를 수도 있다. 제 2 프로세스 가스는 또한 상기 기술된 바와 같이 캐리어 가스를 포함할 수도 있다. 이들 제거 분자들은 상이한 휘발성 분자, 예를 들어, 휘발된 분자를 형성하도록 개질된 분자들과 반응할 수도 있다. 이 휘발된 분자는 결국 기관이 제 2 온도에 있을 때 탈착에 의해 기관으로부터 제거될 수도 있다.

[0073] 일부 실시 예들에서, 제 2 온도는 예를 들어 약 20 °C 내지 500 °C, 약 20 °C 내지 150 °C, 약 20 °C 내지 100 °C, 약 20 °C 내지 80 °C, 약 200 °C 내지 약 600 °C, 약 200 °C 내지 500 °C, 약 200 °C 내지 350 °C, 또는 약 350 °C 내지 500 °C 일 수도 있다. 부가적으로, 기관은 제거 동작의 전부 또는 실질적으로 전부 (예를 들어, 적어도 80 %, 90 %, 또는 95 %) 동안 온도로 유지될 수도 있다. 제거 동작의 지속 기간은 기관 상의 목표된 분자들의 실질적으로 모든 (예를 들어, 적어도 80 %, 90 %, 또는 95 %) 탈착이 일어나는 지속 기간일 수도 있다. 이는 약 0.5 초 내지 약 10 초, 약 0.5 초 내지 약 5 초, 약 1 초 내지 약 5 초, 약 0.5 초 내지 2 분, 또는 약 30 초 내지 2 분의 범위일 수도 있다.

[0074] 블록 (103) 및 블록 (105) 의 성능은 단일 ALE 사이클로 간주될 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 이들 블록 (103) 및 블록 (105) 은 복수의 사이클들을 수행하고 제 1 재료의 복수의 층들 뿐만 아니라 단일 원자 층을 제거하기 위해 반복될 수도 있다.

[0075] 블록 (107) 에서, 제 2 재료의 표면은 제 1 재료를 제거하기 위해 사용된 에칭 화학 물질을 견딜 수 있거나 견딜 수 있도록 구성된, 변환된 층, 즉, 에칭 정지 층으로 변환된다. 이 변환은 제 2 재료의 (예를 들어, 제 1 재료의 개질된 층의 제거를 포함하는 제 1 재료의 제거 동안) 표면이 언커버되거나 (uncover) 노출될 때, 그리고 웨이퍼 상으로 흘렀고, 또는 웨이퍼 상으로 흐르는 제 3 프로세스 가스의 변환 분자들의 존재 시 발생한다. 이 변환은 제 2 재료가 여전히 커버되고 변환 분자들에 노출되지 않을 때 발생하지 않는다. 따라서 일부 구현 예들에서, 에칭 프론트는 제 2 재료의 변환이 발생하기 전에 또는 발생할 때 제 2 재료의 표면에 도달하고 언커버하기 위해 상기 기술된 바와 같이 개질 및 제거에 의해 제 1 재료를 제거해야 한다. 블록 (107) 이 블록 (105) 후에 도시되지만, 블록 (107) 은 블록 (105) 와 동시에 또는 블록 (105) 후에 발생할 수도 있다. 부가적으로, 이하에 보다 상세히 논의된 바와 같이, 변환 분자들을 포함하는 제 3 프로세스 가스는 블록 (105) 의 제거 동작 전 및/또는 제거 동작 동안과 같이 다양한 방식으로 기관 상으로 흐를 수도 있다. 다양한 실시 예들에서, 변환 분자들은 증기 형태 또는 가스 형태로 챔버 내로 도입되고, 예를 들어 질소, 아르곤, 헬륨, 또는 네온과 같은 캐리어 가스가 선택 가능하게 동반될 수도 있다.

[0076] 도 2는 개시된 실시 예들에 따른 원자 층 에칭의 예시적인 개략적인 예시를 도시한다. 다이어그램 (202a) 내지 다이어그램 (202e) 에서 재료의 단일 층이 웨이퍼로부터 에칭된다. (202a) 에서, 웨이퍼가 제공되고, 웨이퍼는 음영 처리된 원들로 예시되고 2 개의 층들을 갖는 제 1 재료, 및 제 1 재료에 인접하고 제 1 재료에 의해 커버

되고, 3 개의 층들을 갖는 백색 원들로 예시된 제 2 재료를 갖는다. 제 1 재료의 분자들은 (204) 로 라벨링되고 제 2 재료의 분자들은 (206) 으로 라벨링되고, 제 1 재료의 상단 층은 제 1 재료의 표면 층 (208)으로 간주될 수도 있다. (202b) 에서, 개질 분자들 (210) 을 갖는 제 1 프로세스 가스 (속이 찬 블랙 원형들, 이들 중 일부는 식별자 (210) 로 식별됨) 가 기관에 도입되어 기관의 표면 층 (208) 을 개질한다. (202b) 의 개략도는 개질 분자들 (210) 중 일부가 기관의 표면 층 (208) 의 분자들 (204) 상에 흡착되어 개질된 분자들 (214) 을 포함하는 개질된 표면 층 (212) 을 생성하는 것을 도시한다 (하나의 개질된 분자 (214) 는 (202b) 의 점선 타원 내부에 식별됨). 일부 열적 ALE 기법들에 대해, 이 다이어그램 (202b) 은 기관이 상기 기술된 바와 같이, 예를 들어, 제 1 재료의 표면 상의 개질 분자의 화학 흡착을 가능하게 하는 제 1 온도로 유지되는 동안 발생할 수도 있다. 일부 다른 구현 예들에서, 이 개질 동작은 플라즈마 보조될 수도 있다. 이 도면은 개질될 단일 층을 예시하지만, 일부 실시 예들에서, 제 1 재료의 복수의 층들이 개질될 수도 있다.

[0077] (202c) 에서, 개질된 분자들 (214) 및 개질된 표면 층 (212) 이 (202b) 에서 생성된 후, 제 1 프로세스 가스는 챔버로부터 선택 가능하게 퍼지될 수도 있다. (202d) 에서, 제거 분자들 (216) 이 프로세스 챔버 내로 도입되고, 일부 실시 예들에서, 이는 제거 분자들 (216) 을 포함하는 제 2 프로세스 가스를 기관 상으로 흘림으로써 발생할 수도 있다. 일부 열적 ALE 실시 예들에서, 이 제거 동작은 기관으로부터 개질된 표면 층 (212) 의 개질된 분자들 (214) 의 탈착이 일어나는 제 2 온도에서 수행될 수도 있고; 이들 제거 동작들 중 일부에서 플라즈마가 활용되지 않을 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 2 온도는 제 1 온도와 동일하거나 실질적으로 동일하다. 다른 실시 예들에서, 제 1 온도 및 제 2 온도는 서로 상이할 수도 있고, 이들 실시 예들에서, 온도는 기관을 가열하거나 냉각함으로써 제 1 온도로부터 제 2 온도로 변화될 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 제 2 프로세스 가스는 플라즈마 또는 지향성 플라즈마와 함께 도입될 수도 있고, 이온 충격은 기관의 개질된 표면을 제거하도록 수행될 수도 있다. 플라즈마 보조된 동작들 동안, 기관을 향해 이온들을 끌어당기기 위해 바이어스가 기관에 인가될 수도 있다. 이 도면은 제거되는 단일 층을 예시하지만, 일부 실시 예들에서, 제 1 재료의 복수의 층들이 이전에 개질되었다면 제거될 수도 있다. (202e) 에서, 개질된 분자들 (214), 따라서 개질된 표면 층 (212) 은 기관으로부터 제거되고 제 1 재료의 제 2 층 (218) 은 제 2 재료를 커버한 채로 남는다. (202e) 에 도시된 예에서, 개질 분자들 (210) 은 존재하지 않지만, 일부 실시 예들에서, 이들 개질 분자들 (210) 은 예를 들어, (202b) 에 도시된 바와 같이 존재할 수도 있다. 일부 이러한 실시 예들에서, 이들 개질 분자들 (210) 은 다이어그램 (202f) 및 다이어그램 (202g) 에서와 같이 후속하는 프로세스 단계들에서 도입될 수도 있다.

[0078] 다이어그램 (202f) 및 다이어그램 (202g) 은 제거 동작 동안 그리고/또는 제거 동작 후의 웨이퍼를 예시하고, 제 2 재료의 표면의 예시적인 변환을 예시한다. 다이어그램 (202a) 내지 다이어그램 (202e) 의 동작들 동안, 제 2 재료는 제 1 재료에 의해 커버된 채로 남고; 제 2 재료의 표면은 이들 동작들에서 노출되지 않는다. 다이어그램 (202f) 에서, 제거 분자들 (216) 은 제 1 재료의 일부, 즉, 제 1 재료의 개질된 층 (218) 의 일부를 제 2 재료 (206) 를 커버하는 것으로부터 제거하거나 에칭하여, 제 2 재료의 표면을 노출, 즉, 제 1 재료의 개질된 층 (218) 의 제거 동안 이 표면을 언커버한다. 제 2 재료 (206) 의 이 노출된 표면은 점선 직사각형 (220) 내부에 제 2 재료 (206) 의 3 개의 분자들을 갖는 다이어그램 (202f) 에 예시된다. 재료의 제 1 층을 제거하기 위해 사용된 화학 물질을 사용하여, 이 제 2 재료는 예를 들어, 제 1 재료보다 보다 높은 에칭 레이트의 에칭을 포함하여 에칭에 취약하다. 여기서 다이어그램 (202f) 에서, 변환 분자들 (222) (음영 처리된 다이아몬드들로 예시됨) 을 포함하는 제 3 프로세스 가스가 웨이퍼 상으로 흘렸거나 제 2 프로세스 가스와 동시에 흐르고 있고 이들 변환 분자들 (222) 은 제 2 재료의 노출된 표면 (220) 을 재료의 변환된 층으로 변환한다. 다이어그램 (202g) 에서, 제 2 재료의 노출된 표면 (220) 의 3 개의 분자들은 이들 3 개의 분자들에 의해 예시된 바와 같이 변환 분자들 (222) 에 의해 변환된 층 (224) 또는 어두운 음영을 갖는 변환된 분자들로 변환된다. 이 변환된 층 (224) 은 에칭 화학 물질을 견딜 수 있는 에칭 정지 층이다.

[0079] 다이어그램 (202h) 에서, 제 1 재료의 제 2 층 (218) 이 제거되었고, 제 2 재료의 도시된 표면은 재료의 변환된 층 (224) 으로, 즉, 변환된 분자들로 변환되었다. 일부 실시 예들에서, 변환된 재료 층은 다이어그램 (202i) 에 나타난 바와 같이 제거될 수도 있다. 이 제거는 2 개의 동작들, 이들 변환된 분자들을 상이한 휘발된 분자로 개질하기 위해 다른 개질 분자들을 갖는 제 4 프로세스 가스를 흘리는 단계를 포함하는 개질 동작, 및 다른 제거 분자들 (예컨대 다이어그램 (202i) 의 분자들 (226)) 을 갖는 제 5 프로세스 가스를 흘리는 단계를 포함하는 제거 동작을 포함할 수도 있다. 다른 프로세스 가스들과 유사하게, 제 4 프로세스 가스 및 제 5 프로세스 가스는 상기 열거된 캐리어 가스를 포함할 수도 있다. 부가적으로, 변환된 층 (224) 의 이들 개질 단계 및 제거 단계는 제 4 프로세스 가스 및 제 5 프로세스 가스의 엇갈린 플로우, 오버랩하는 플로우, 또는 병류들 (co-flows) 을 사용함으로써 순차적으로, 오버랩하여, 또는 동시에 발생할 수도 있다.

- [0080] 일부 예들에서, 다이어그램 (202f) 및 다이어그램 (202g)의 예시들은 "온 더 플라이 (on the fly)" 에칭 정지층의 생성으로 간주될 수도 있다. 일단 재료의 제 2 층이 노출되고 변환 분자들의 존재하면, 재료의 변환된 층은 "온 더 플라이"로 생성된다. 이는 노출되고 아래에 놓인 제 2 재료가 변환 층, 즉, 에칭 정지 층으로 보호되는 동안 제 1 재료의 에칭을 계속하게 할 수도 있다.
- [0081] 상기 주지된 바와 같이, 일부 실시 예들에서, 재료의 제 2 층의 변환은 재료의 제 2 층과 변환 분자들 사이의 양이온 교환을 통해 이루어질 수도 있다. 일부 이러한 구현 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 재료 층의 양이온 화합물들 또는 구성 성분들과 교환되는 기상의 양이온 구성 성분을 공급한다. 제 2 재료의 양이온 구성 성분들은 클로라이드들로 변환될 수도 있고, 이에 따라 제 3 프로세스 가스에서 양이온 구성 성분과의 교환의 결과로서 휘발될 수도 있다.
- [0082] 예를 들어, 제 2 재료는 아연 옥사이드일 수도 있고, 변환 분자는 지르코늄 화합물일 수도 있고, 제 2 재료의 표면의 변환은 재료의 지르코늄 옥사이드 변환된 층을 생성하기 위한 아연과 지르코늄의 양이온 교환일 수도 있다. 추가적인 예들에서, 아연을 포함하는 제 2 재료의 표면에서 변환 반응들은 다음과 같을 수도 있다: 예 1, 제 2 재료는 ZnO (고체)를 포함하고 제 3 프로세스 가스는 제 2 재료를 ZrO_2 (고체) 및 $ZnCl_2$ (가스)의 변환된 층으로 변환하여 아연을 교환하고 제거하는 $ZrCl_4$ (가스)를 포함한다; 예 2, 제 2 재료는 In_2O_3 (고체)를 포함하고 제 3 프로세스 가스는 제 2 재료를 ZrO_2 (고체) 및 $InCl_3$ (가스)의 변환된 층으로 변환하여 인듐을 교환하고 제거하는 $ZrCl_4$ (가스)를 포함한다; 예 3, 제 2 재료는 Ga_2O_3 (고체)를 포함하고 제 3 프로세스 가스는 제 2 재료를 ZrO_2 (고체) 및 $GaCl_3$ (가스)의 변환된 층으로 변환하여 갈륨을 교환하고 제거하는 $ZrCl_4$ (가스)를 포함한다.
- [0083] 이들 예들에서, 제 1 재료는 HF 및 트리메틸알루미늄 (TMA)와 같은 1차 화학 물질에 의해 에칭될 수 있는 Al_2O_3 (고체)일 수도 있다. 이들 예들에서 알 수 있는 바와 같이, 제 2 재료, 아연, 인듐, 및 갈륨의 양이온 성분들은 휘발되고 따라서 제거 가능한 클로라이드들로 변환된다.
- [0084] 본 명세서에 제공된 기법들은 유사한 특성들을 갖는 제 1 재료 및 제 2 재료를 갖는 웨이퍼에 적용 가능할 수도 있다. 이는, 예를 들어, 옥사이드들, 하이-k 옥사이드들, 및/또는 제 1 재료를 에칭하도록 사용된 화학 물질에 의해 에칭될 수도 있는 옥사이드 및 반도체 옥사이드인 재료들 모두를 포함할 수도 있다. 일부 예들은 제 1 재료로서 알루미늄 옥사이드 및 제 2 재료로서 아연 옥사이드를 포함할 수도 있다.
- [0085] 본 명세서에 제공된 기법들은 예를 들어, 개질된 층 및 재료의 제 2 층보다 에칭 화학 물질에 보다 덜 반응성인 재료의 변환된 층에 의해 제 1 재료를 에칭하도록 사용된 화학 물질을 견딜 수 있고, 견디도록 구성된 재료의 변환된 층을 생성한다. 이 반응성은 에칭 레이트들, 결합 에너지들, 및 반응들과 같은 다양한 화학적 특성 및 물리적 특성에 따라 정량화될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 1 재료, 제 1 재료의 개질된 층, 제 2 재료, 및/또는 재료의 변환된 층 간의 관계가 에칭 레이트들로 정량화될 수도 있다. 예를 들어, 제 1 재료를 에칭하도록 사용된 화학 물질은 제 1 에칭 레이트로 개질된 층을 에칭하는 것을 포함하여, 제 1 재료를 에칭할 수도 있고 또한 용인할 수 없는 제 2 에칭 레이트로 제 2 재료를 에칭할 수도 있다. 일부 예들에서, 이 제 2 에칭 레이트는 제 1 에칭 레이트 이상, 예컨대 적어도 제 1 에칭 레이트보다 적어도 50 %, 100 %, 또는 200 % 이상일 수도 있다. 개질된 층을 포함하는 제 1 재료를 제거하기 위해 화학 물질에 노출될 때, 변환된 층은 제 1 에칭 레이트의 50 %, 25 %, 15 %, 10 %, 5 %, 2.5 % 또는 1 % 이하를 포함하는, 제 1 에칭 레이트 미만인 에칭 레이트를 가질 수도 있다. 일 예에서, 제 1 재료를 에칭하기 위한 화학 물질은 제 1 에칭 레이트의 약 두 배의 제 2 에칭 레이트로 제 2 재료를 에칭할 수도 있고, 그리고 제 1 에칭 레이트의 15% 미만인 제 3 에칭 레이트로 변환된 재료를 에칭할 수도 있다. 이들 구현 예들에서, 재료의 변환된 층은 제 1 재료를 에칭하도록 사용된 화학 물질을 견딜 수 있고, 견딜 수 있도록 구성된다.
- [0086] 일부 실시 예들에서, 제 1 재료, 재료의 개질된 층, 제 2 재료, 및/또는 재료의 변환된 층 사이의 관계는 반응 부산물들에 의해 정량화될 수도 있다. 일부 예들에서, 제 1 재료를 제거하기 위해 사용된 화학 물질은 제 2 재료와 반응하고 부산물들을 생성할 수도 있고, 이들 부산물들은 제 2 재료를 제거하거나 그렇지 않으면 부정적으로 영향을 줄 수도 있다. 그러나, 재료의 변환된 층은 일부 이러한 구현 예들에서, 어떠한 부산물도 생성하지 않고, 또는 제한된 양의 부산물들을 생성하지 않고 제거 화학 물질과 반응할 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 재료의 변환된 층은 제거 화학 물질과 반응하지 않을 수도 있고, 또는 제거 화학 물질과 제한된 반응을 가질 수도 있다. 이는 제 2 재료의 제거를 방지하거나 감소시킬 수도 있다. 일부 예들에서, 재료의 변환된 층은 또한

제거 화학 물질에 대해 패시브인 것으로 간주될 수도 있다.

[0087] 본 명세서에 제공된 다양한 기법들을 다시 참조하면, 제 2 재료의 노출된 표면을 변환된 층으로 변환하기 위한 제 3 프로세스 가스는 다양한 방식으로 기판 상으로 흐를 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 에칭 프로세스 및/또는 ALE 사이클의 다양한 지점들 및/또는 양태들 동안 흐를 수도 있다. 이는 개질 동작 전, 개질 동작 동안, 개질 동작 후에 그리고 제거 동작 전, 제거 동작 동안, 그리고/또는 제거 동작 후에 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계를 포함할 수도 있다. 일부 이러한 실시 예들에서, 퍼지 가스는 또한 제 3 프로세스 가스를 흘린 후 그리고 또 다른 프로세스 가스를 흘리기 전에 챔버 내로 흐를 수도 있다.

[0088] 일부 구현 예들에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우는 이들 주지된 기간들 동안 시작될 수도 있고 그리고 임의의 주지된 기간들 또는 동작들 동안 정지될 수도 있다. 이는 에칭 프로세스 또는 ALE 사이클 동안 플로우를 1 회 이상 시작하고 정지하는 것을 포함할 수도 있다. 예를 들어, 단일 ALE 사이클에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우는 개질 동작 전에 시작될 수도 있고 제거 동작이 끝날 때까지 계속해서 흐를 수도 있다. 또 다른 예에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우는 개질 동작 전 또는 시작 시 시작될 수도 있고 개질 동작의 종료 시 종료될 수도 있고, 이어서 제거 동작의 시작 시 다시 시작되고 제거 동작의 종료 시 또는 종료 후에 종료될 수도 있다. 또 다른 예에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우는 개질 동작 후 또는 제거 동작의 시작 시에만 시작될 수도 있고, 전체 제거 동작 내내 계속될 수도 있고, 그리고 제거 동작의 종료 시 또는 종료 후 정지될 수도 있다. 또 다른 예에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우는 개질 동작 동안 시작될 수도 있지만, 이 개질 동작이 시작된 후, 그리고 제거 동작의 종료까지 또는 종료 후에 계속된다. 또 다른 예에서, 제 3 프로세스 가스는 제 1 프로세스 가스 및 제 2 프로세스 가스가 흐르지 않는 동안, 예컨대 개질 동작 전, 개질 동작과 제거 동작 사이, 그리고/또는 제거 동작 후에 흐를 수도 있다.

[0089] 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스의 흘림 및 제 2 재료의 노출된 표면의 변환이 동시에 발생하지 않을 수도 있다는 것을 주의해야 한다. 본 명세서에 주지된 바와 같이, 변환은 제 2 재료의 표면이 노출될 때 발생하고, 제 3 프로세스 가스는 이 표면이 제거 동작 동안 노출되기 전 그리고/또는 노출될 때 기판 상으로 흐를 수도 있다. 예를 들어, 제 3 프로세스 가스는, 제거 동작 동안이 아닌 제거 동작 전에, 예컨대 개질 동작 동안 또는 개질 동작 후에 기판 상으로만 흐를 수도 있지만, 제 3 프로세스 가스는 변환 분자들이 언커버되고 노출될 때 제 2 재료의 표면과 반응하도록 제거 동작 동안 여전히 존재할 수도 있다. 이는 도 6a 내지 도 6d를 포함하여 이하에 보다 상세히 논의된다.

[0090] 도 3는 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다. 도 3에서, 블록들 (301, 303, 및 305)은 도 1의 블록들 (101, 103, 및 105)과 동일하고, 여기서 제 3 프로세스 가스는 블록 (303)의 모든 개질 동작 일부 또는 전부 동안 블록 (309)에서 웨이퍼 상으로 병류하거나 동시에 흐른다. 블록 (309)은 블록 (303)의 개질 동작의 시작과 동시에 또는 시작 후에 시작할 수도 있고, 일부 실시 예들에서, 블록 (309)은 블록 (303)의 개질 동작의 시작 전에 시작될 수도 있다. 블록 (307)에서, 제 2 재료의 표면은 노출될 때 그리고 제 3 프로세스 가스의 존재 시 변환된 층으로 변환된다. 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 블록 (305)의 제거 동작 동안 병류할 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 블록 (305)의 제거 동작 동안 흐르지 않지만, 제 3 프로세스 가스는 제 2 재료의 표면이 언커버되고 노출될 때 변환된 층으로 변환되도록 웨이퍼 둘레에 여전히 존재한다. 선택 가능한 퍼지가 블록 (303) 및/또는 블록 (309) 후에 수행될 수도 있다.

[0091] 도 4a는 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다. 도 4a에서, 블록들 (401, 403, 및 405)은 도 1의 블록들 (101, 103, 및 105)과 동일하고, 여기서 제 3 프로세스 가스는 블록 (407)의 모든 제거 동작 일부 또는 전부 동안 블록 (407)에서 웨이퍼 상으로 병류하거나 동시에 흐른다. 또한, 블록 (407)에서, 제 2 재료의 표면은 노출될 때 그리고 제 3 프로세스 가스의 존재 시 변환된 층으로 변환된다. 특정 실시 예들에서, 블록 (407)은 블록 (405)의 제거 동작의 시작과 동시에 또는 시작 후에 시작할 수도 있고, 일부 실시 예들에서, 블록 (407)은 블록 (405)의 제거 동작의 시작 전에 시작될 수도 있다.

[0092] 도 4b는 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다. 도 4b에서, 블록들 (401, 403, 및 405)은 도 4a에서와 동일하고, 여기서, 제 3 프로세스 가스는, 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스가 블록들 (403 및 405) 동안 기판 상으로 흐르지 않도록 블록 (403)의 개질 동작과 블록 (405)의 제거 동작 사이에서 흐른다. 블록 (405)의 제거 동작 동안, 도 3의 블록 (307)과 유사하게, 블록 (411)은 제 2 재료의 표면이 노출될 때 그리고 제 3 프로세스 가스의 존재 시 변환된 층으로 변환된다는

것을 나타낸다. 일부 실시 예들에서, 선택 가능한 퍼지 동작은 블록 (409) 후 그리고 블록 (405) 및 블록 (411) 전에 수행될 수도 있다.

[0093] 대안적으로, 또는 부가적으로, 제 3 프로세스 가스는 웨이퍼 상에서 수행된 총 에칭의 일부 동안만 흐를 수도 있다. 이는, 예를 들어, ALE 사이클들의 총 수가 $N + X$ ALE 사이클들일 때 웨이퍼 상에서 수 N 회의 ALE 사이클들을 수행한 후 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계를 포함할 수도 있다. 이는 또한 ALE 사이클들의 백분율을 수행한 후, 예컨대 총 ALE 사이클들의 적어도 10 %, 50 %, 80 %, 또는 95 %를 수행한 후 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계를 포함할 수도 있다. 도 5는 개시된 실시 예들에 따른 동작들을 수행하기 위한 또 다른 예시적인 프로세스 흐름도를 도시한다. 도 5의 블록들 (501, 503, 및 505)은 도 1에서와 동일하고, 여기서 블록들 (503 및 505)은 N 회의 ALE 사이클들, 또는 에칭 사이클들 동안 반복된다. 일단 결정 단계 (511)가 N 회의 ALE 사이클들이 수행되었음을 결정하면, 제 3 프로세스 가스가 웨이퍼 상으로 흐르고 제 2 재료의 표면이 노출되고 제 3 프로세스 가스가 존재할 때 변환된 층으로 변환되는 동안 블록 (507)이 수행된다. 이 블록 (507)은 N 회의 사이클들이 수행된 후 하나 이상의 에칭 사이클들 동안 수행될 수도 있다. 블록 (507)은 또한 예를 들어, 개질 동작 및/또는 제거 동작 동안, 또는 도 4b에 예시된 바와 같이 개질 동작과 제거 동작 사이에 제 3 프로세스 가스를 흘리는 단계와 같이, 본 명세서에 기술된 임의의 방식으로 수행될 수도 있다.

[0094] 일부 에칭 동작들 동안 제 3 프로세스 가스를 흘리기 위한 부가적인 예시들이 개시된 실시 예들에 따른 ALE 사이클들의 개략적인 예시들을 도시하는 도 6a 내지 도 6d에 도시된다. 이들 도 6a 내지 도 6d에서, 다이어그램들 (602a 내지 602f)은 단일 ALE 사이클 동안 웨이퍼를 도시한다. (602a)는 개질 동작 전의 웨이퍼를 예시하고 도 2의 동작 (202e)에 대응한다. 예를 들어, 음영 처리된 원들은 재료의 제 1 층을 나타내고 백색 원들은 재료의 제 2 층을 나타낸다. (602b)는 개질 분자 (610)를 포함하는 제 1 프로세스 가스가 개질된 분자들 (614) 및 제 1 재료의 개질된 층 (618)을 형성하도록 웨이퍼 상으로 흐르는, 다이어그램 (202b)와 유사한 개질 동작 동안의 웨이퍼를 예시한다. 일부 열적 ALE 구현 예들에 대해, 다이어그램 (602b)의 개질은 기판이 제 1 온도 또는 제 1 온도 범위로 유지되는 동안 수행될 수도 있다. (602c)는 다이어그램 (602b)의 개질 동작 후 그리고 제거 동작 전의, 그리고 개질된 층 (618)을 갖는 웨이퍼를 예시한다.

[0095] 도 6a 내지 도 6d의 다이어그램들 (602d 및 602e)은 제거 동작 동안 웨이퍼를 예시하고 도 2의 다이어그램들 (202f 및 202g)에 대응할 수도 있다. 다이어그램 (602d)에서, 제거 분자들 (616)을 포함하는 제 2 프로세스 가스는 웨이퍼 상으로 흐르고 제 2 재료의 표면 (620)을 언커버하고 노출하는 개질된 분자들 (614)의 제거를 유발한다. 또한, 다이어그램 (602d)에서, 변환 분자들 (622)은 웨이퍼 둘레에 존재하고, 다이어그램 (602e)에 예시된 바와 같이, 제 2 재료의 노출된 표면 (620)은 변환 분자들 (622)의 존재시 변환된 층 (624)으로 변환된다. 다이어그램 (602f)에서, 개질된 층 (624)은 제거되고 변환된 층은 남고; 이는 도 2의 다이어그램 (202h)에 대응할 수도 있다. 본 명세서에 도시되지 않았지만, 선택 가능한 별도의 개질 동작 및 제거 동작이 변환된 층을 제거하기 위해 수행될 수도 있다.

[0096] 일부 실시 예들에서, 도 6a 내지 도 6d의 다이어그램들 (602d 및 602e)의 제거 동작들은 기판이 다이어그램 (602b)의 개질 동작과 동일하거나 실질적으로 동일한 온도로 유지되는 열적 ALE를 사용하여 수행될 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 다이어그램들 (602d 및 602e)의 이들 제거 동작들은 기판이 다이어그램 (602b)의 개질 동작의 제 1 온도 또는 제 1 온도 범위와 상이한 제 2 온도 또는 제 2 온도 범위로 유지되는 동안 수행될 수도 있다. 일부 구현 예들은 기판들 온도를 변화시키기 위해 다이어그램들 (602b 및 602d 및 602e) 사이에서 기판을 가열하거나 능동적으로 냉각하는 것을 포함할 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 다이어그램 (602b)의 개질 동작 및/또는 다이어그램들 (602d 및 602e)의 제거 동작은 플라즈마-보조 동작들일 수도 있다.

[0097] 도 6a 내지 도 6d는 웨이퍼 상으로의 제 3 프로세스 가스의 다양한 플로우들을 더 예시한다. 도 6a에서, 변환 분자들 (622)을 갖는 제 3 프로세스 가스는 적어도 다이어그램 (602a)에서 (602b)의 개질 동작 전에 웨이퍼 상으로 흐른다. 도시된 바와 같이, 도 6a의 변환 분자들 (622)은 다이어그램들 (602a 내지 602e) 동안 존재하고, 일부 실시 예들에서, 도 6a는 전체 ALE 사이클 동안 흐르는 제 3 프로세스 가스를 예시할 수도 있다. 일부 이러한 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 (602b)의 개질 동작 전에 다이어그램 (602a)에서 웨이퍼 상으로 흐르기 시작할 수도 있고, 다이어그램 (602c)의 개질 동작 후 그리고 다이어그램들 (602d 및 602e)의 제거 동작 동안 웨이퍼 상으로 계속해서 흐를 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 (제 1 프로세스 가스 및 제 2 프로세스 가스가 흐르지 않는 동안 흐르는 것으로 간주될 수도 있는) 다이어그램 (602a) 동안만, (602a) 및 (602b) 동안만, 또는 (602a, 602b, 및 602c) 동안만 흐를 수도 있고, 그리고 이어서 정지되지만, 그럼에도 불구하고 변환 분자들을 갖는 제 3 프로세스 가스는 전체 ALE 사이클로 간주될 수도 있는 다이어그램들 (602a 내지 602e)에 남아있다. 예를 들어, 제 3 프로세스 가스는 다이어그램들 (602a 및 602b) 동안만 흐를

수도 있고, 이어서 정지되지만, 다이어그램들 (602c 내지 602e) 동안 존재할 수도 있다.

[0098] 도 6b에서, 변환 분자들 (622) 을 갖는 제 3 프로세스 가스는 다이어그램 (602b) 의 개질 동작의 적어도 일부 동안 기관 상으로 흐른다. 상기 주지된 바와 같이, 제 3 프로세스 가스 플로우는 개질 동작의 시작과 동시에 또는 후에 시작할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 다이어그램 (602c) 의 개질 동작 후 그리고 다이어그램 (602d) 및 다이어그램 (602e) 의 제거 동작 동안 웨이퍼 상으로 계속해서 흐를 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우는 개질 동작 후에 정지될 수도 있고 선택 가능한 퍼지가 수행될 수도 있고, 그 후 제 3 프로세스 가스는 다이어그램들 (602d 및 602e) 의 제거 동작 동안 흐르지 않을 수도 있지만, 그럼에도 불구하고 제 3 프로세스 가스가 여전히 존재할 수도 있다. 일부 다른 구현 예들에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우는 개질 동작 후에 정지될 수도 있고 선택 가능한 퍼지가 수행될 수도 있고 이어서 제 3 프로세스 가스의 플로우는 다이어그램들 (602d 및 602e) 의 제거 동작 전에 또는 제거 동작 동안 시작될 수도 있다. 예시된 바와 같이, 변환 분자들 (622) 을 갖는 제 3 프로세스 가스는 예를 들어 (602d 및 602e) 동안 흐르지 않는 것과 같이, 이들 다이어그램들 중 일부 또는 전부 동안 흐르지 않을 수도 있지만, 다이어그램들 (602b 내지 602e) 동안 존재한다. 이 도 6b의 일부 실시 예들은 도 3의 기법에 대응할 수도 있다.

[0099] 도 6c에서, 변환 분자들 (622) 을 갖는 제 3 프로세스 가스는 다이어그램 (602b) 에 존재하는 변환 분자들로 도시된 바와 같이, 다이어그램 (602b) 의 개질 동작 후 그리고 제거 동작 전에 기관 상으로 흐른다. 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우는 다이어그램들 (602d 및 602e) 의 제거 동작들 동안 흐르지 않지만, 이들 동작들 동안 여전히 존재하도록 턴 오프될 수도 있고; 이는 제 1 프로세스 가스 및 제 2 프로세스 가스가 흐르지 않는 동안 흐르는 것으로 간주될 수도 있다. 이 도 6c의 일부 실시 예들은 도 4b의 기법에 대응할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스는 다이어그램 (602c) 의 개질 동작 후 그리고 다이어그램 (602d) 및 다이어그램 (602e) 의 제거 동작 동안 웨이퍼 상으로 계속해서 흐를 수도 있다.

[0100] 도 6d에서, 제 3 프로세스 가스는 다이어그램들 (602d 및 602e) 의 제거 동작 동안 기관 상으로 흐른다. 상기 주지된 바와 같이, 제 3 프로세스 가스 플로우는 제거 동작의 시작과 동시에 또는 그 후에 시작할 수도 있다. 이 도 6d의 일부 실시 예들은 도 4a의 기법에 대응할 수도 있다.

[0101] ALE 동작들에 수반된 화학 물질들에 따라, 도 6a 내지 도 6d에 예시된 것들을 포함하여 다양한 시간들에서 제 3 프로세스 가스를 흘리는 것이 유리할 수도 있다. 예를 들어, 제 3 프로세스 가스는 제 1 프로세스 가스 및/또는 재료의 제 1 층과 양립 가능하지 않거나 원치 않은 반응을 가질 수도 있다. 따라서, 예를 들어, 개질 동작 후 그리고/또는 도 6c 및 도 6d에 예시된 제거 동작들 동안 제 3 프로세스 가스를 흘림으로써 이들 원치 않은 효과들을 방지하거나 감소시키는 것이 유리할 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, ALE 사이클 동안 제 3 프로세스 가스를 흘림으로써 바람직하지 않은 효과들이 없도록 제한될 수도 있고, 따라서 예를 들어 도 6a에 예시된 바와 같이 전체 ALE 사이클 동안 흐를 수도 있다.

[0102] 일부 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스의 플로우 레이트는 일정하게 유지될 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 제 3 프로세스 가스 플로우 레이트를 가변시키는 것이 유리할 수도 있다. 이는 예를 들어, 제거 동작이 진행됨에 따라 보다 많은 변환 분자들을 제공하기 위해 제거 동작 동안 제 3 프로세스 가스 플로우 레이트를 증가시키는 것을 포함할 수도 있다. 일부 예시적인 플로우 레이트들은 약 50 sccm 내지 1000 sccm을 포함할 수도 있다.

[0103] 일부 구현 예들에서, 재료의 제 2 층의 에칭 정지 층으로의 변환은, 제 2 재료의 표면이 개질된 층의 제거 동안 언커버될 때, 제 2 재료의 표면을 에칭 정지 재료의 층으로 선택적으로 변환하는 것으로 간주될 수도 있고, 상기 에칭 정지 재료의 층은 상기 제 2 재료의 상단에만 위치된다. 일부 이러한 구현 예들에서, 제거하는 동안, 제 1 재료의 개질된 층 및 에칭 정지 재료의 층은 제 2 프로세스 가스에 노출될 수도 있고 제 2 프로세스 가스는 제 1 재료 및 제 2 재료의 개질된 층보다 에칭 정지 재료의 층과 보다 덜 반응성일 수도 있다.

[0104] 일부 실시 예들에서, 제 2 재료의 층을 변환된 층으로 변환하는 대신, 선택적인 증착이 제 2 재료 상에 에칭 정지 층을 증착하도록 수행될 수도 있다. 이 증착은 일부 예들에서, 제거 동작 후 또는 제거 동작과 동시에 수행될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 에칭 정지 재료의 층의 선택적인 증착은 제 2 재료의 제 2 부분의 표면이 언커버될 때 발생할 수도 있다. 이 선택도는 또한 이 에칭 정지 재료 층을 제 2, 언커버된 재료 상에 증착하는 것을 포함할 수도 있지만, 이 에칭 정지 재료 층의 증착이 타겟, 제 1 재료 상에 발생하지 않는 것으로 제한된다. 일부 실시 예들에서, 이는, 제 2 재료의 표면이 개질된 층의 제거 동안 언커버될 때 제 2 재료의 표면을 에칭 정지 재료의 층으로 선택적으로 변환하는 것을 포함할 수 있고, 제거 동안, 에칭 정지 재료의 층 및 제 1 재료의 개질된 층이 제 2 프로세스 가스에 노출되도록 에칭 정지 재료의 층은 오직 제 2 재료의 상단에만 위

치되고, 그리고 제 2 프로세스 가스는 제 2 재료 및 제 1 재료의 개질된 층보다 에칭 정지 재료의 층과 보다 덜 반응성이다.

[0105] 이 증착된 에칭 정지 층은 상기 기술된 변환된 층과 동일한 특성들 및 속성들을 가질 수도 있다. 이는 제 1 재료를 에칭하도록 사용된 화학 물질을 견딜 수 있고, 견디도록 구성된 증착된 에칭 정지 층을 포함한다. 이는, 한정된 양들의 부산물들을 생성하거나 생성하지 않고도 제거 화학 물질들과 반응하고 그리고/또는 제거를 위해 사용되는 화학적 종의 결합 에너지 이상인 그리고/또는 개질된 층의 결합 에너지 (binding energy) 이상인 결합 에너지, 제 1 에칭 레이트의 50 %, 25 %, 15 %, 10 %, 5 %, 2.5 % 또는 1 % 미만을 포함하는 제 1 에칭 레이트 미만인 에칭 레이트 (즉, 화학 물질이 개질된 층을 포함하는 제 1 재료를 제거하는 에칭 레이트) 를 갖는 것을 더 포함할 수도 있다.

[0106] 선택적인 증착은 동일하거나 상이한 챔버에서 발생할 수도 있다. 이 선택적인 증착은 화학 기상 증착 (chemical vapor deposition; CVD) 또는 원자 층 증착 (atomic layer deposition; ALD) 과 같은 다양한 증착 프로세스들을 사용하여 달성될 수도 있다. 일부 CVD 프로세스들은 하나 이상의 가스 반응 물질들을 반응기 내로 흘림으로써 웨이퍼 표면 상에 막을 증착할 수도 있고, 이는 막 전구체들 및 부산물들을 형성한다. 전구체들은 웨이퍼 표면으로 이송되어, 이들은 웨이퍼에 의해 흡착되고, 웨이퍼 내로 확산되고, 그리고 PECVD에서 플라즈마의 생성에 의한 것을 포함하여, 화학 반응들에 의해 웨이퍼 상에 증착된다.

[0107] 통상적인 PECVD 반응에서, 기판은 동작 온도로 가열되고 그리고 기판 표면 상에 목표된 증착물을 생성하도록 반응 및/또는 분해하는 하나 이상의 휘발성 전구체들에 노출된다. PECVD 프로세스는 일반적으로 반응 챔버 내로 하나 이상의 반응 물질들을 흘림으로써 시작된다. 반응 물질 전달은 기판 표면을 플라즈마에 노출시키는 플라즈마가 생성될 때 계속될 수도 있고, 이는 결국 증착이 기판 표면 상에서 발생하게 한다. 이 프로세스는 목표된 막 두께에 도달할 때까지 계속되고, 그 후 플라즈마는 대체로 소화되고 반응 물질 플로우가 종료된다. 다음에, 반응 챔버가 퍼지될 수도 있고 증착-후 단계들이 수행될 수도 있다.

[0108] 일부 다른 증착 프로세스들은 복수의 막 증착 사이클들을 수반하고, 각각은 "이산적인" 막 두께를 생성한다. ALD는 이러한 일 막 증착 방법이지만, 막의 박층들을 놓고 (put down) 반복되는 순차적인 상황에 사용된 임의의 기법이 복수의 증착 사이클들을 수반하는 것을 알 수도 있다. ALD는 ALD의 단일 사이클이 재료의 단일 박층만을 증착하고, 막 형성 화학 반응 자체 이전에 기판 표면 상에 흡착할 수도 있는 하나 이상의 막 전구체 반응 물질들의 양으로 두께가 제한된다는 (즉, 흡착 제한 층 형성) 사실로 인해 박형의 컨포멀한 (conformal) 막들의 증착에 잘 맞는 (well-suited) 막 형성 기법이다. 복수의 "ALD 사이클들"은 나중에 목표된 두께의 막을 구축하기 (build up) 위해 사용될 수도 있고, 층 각각이 박형이고 컨포멀하기 때문에 발생하는 막은 실질적으로 아래에 놓인 디바이스들 구조체의 형상을 따른다 (conform). 특정한 실시 예들에서, ALD 사이클 각각은 다음의 단계들: (1) 제 1 전구체에 대한 기판 표면의 노출, (2) 기판이 위치되는 반응 챔버의 퍼지, 통상적으로 플라즈마 및/또는 제 2 전구체를 사용한 기판 표면의 반응의 활성화, 및 (4) 기판이 위치되는 반응 챔버의 퍼지를 포함한다. ALD 사이클 각각의 지속 기간은 통상적으로 25 초 미만 또는 10 초 미만 또는 5 초 미만일 수도 있다. ALD 사이클의 플라즈마 노출 단계 (또는 단계들) 는, 예를 들어, 1 초 이하의 지속 기간과 같은 짧은 지속 기간일 수도 있다. 플라즈마는 예를 들어, 2 초, 5 초, 또는 10 초와 같이 1 초보다 보다 긴 다른 지속 기간일 수도 있다.

[0109] 애플리케이션들

[0110] 본 명세서에 제공된 기법들 및 장치들은 다양한 화학 물질들을 위해 사용될 수도 있다. 일 예에서, 제 1 재료는 알루미늄 옥사이드일 수도 있고 제 2 재료는 아연 옥사이드일 수도 있다. 알루미늄 옥사이드는 제거 분자 트리메탈알루미늄 (TMA) 을 포함하는 프로세싱 가스를 사용하여 에칭될 수도 있고, 이 TMA는 또한 아래에 놓인 아연 옥사이드를 제거할 수도 있다. TMA에 의한 이 아연 옥사이드 제거를 방지하기 위해, 지르코늄 변환 분자를 포함하는 제 3 프로세스 가스는 아연 옥사이드의 층을 TMA와 반응하지 않는 지르코늄 옥사이드의 변환된 층으로 변환하도록 웨이퍼 상으로 흐를 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 지르코늄 변환 분자는 지르코늄 테트라클로라이드를 포함할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 지르코늄 옥사이드의 이 변환된 층은 디메틸알루미늄 클로라이드 (DMAC) 를 포함하는 웨이퍼 상으로 제 4 프로세스 가스를 흘림으로써 제거될 수도 있다. 일부 예들에서, 변환된 층, 또는 에칭 정지 층의 이 제거는 또한 개질 동작으로서 하이드로젠 플루오라이드 (HF) 를 흘리고 이어서 제거 동작에서 DMAC를 흘리는 단계를 포함할 수도 있다.

[0111] 또한 상기 주지된 바와 같이, 또 다른 예는 인듐 갈륨 아연 옥사이드 (IGZO) 인 제 2 재료를 커버하는 알루미늄 옥사이드를 포함할 수도 있다. 이 알루미늄 옥사이드를 에칭하기 위해, 하이드로젠 플루오라이드 (HF) 를 함유

하는 제 1 프로세스 가스가 개질 동작을 위해 사용될 수도 있고, 제거 분자는 아래에 놓인 IGZO를 다시 제거할 수도 있는 TMA를 포함할 수도 있다. 따라서 제 3 프로세스 가스는 노출된 IGZO의 표면을 ZrO_2 (고체) 또는 ZrO_2 와 같은 지르코늄 옥사이드로 변환하기 위해 지르코늄 클로라이드, 예를 들어, $ZrCl_4$ 또는 $ZrCl_4$, 또는 테트라키스(에틸메틸아미노)지르코늄(IV)(TEMAZ) 을 포함할 수도 있다. 이 예 및 상기 예 동안, 알루미늄 옥사이드 층의 에칭은 변환 반응들 동안 계속될 수도 있다.

[0112] ALE 장치들

[0113] 이제 도 7을 참조하면, 본 개시에 따른 재료들을 선택적으로 에칭하기 위한 기판 프로세싱 챔버 (720) 의 일 예가 도시된다. 특정한 기판 프로세싱 챔버가 도시되고 기술되지만, 본 명세서에 기술된 방법들은 다른 타입들의 기판 프로세싱 시스템들을 상에서 구현될 수도 있다. 도 7은 열적 원자 층 에칭을 포함하는, 개시된 실시 예들에 따른 반도체 프로세싱을 위한 예시적인 장치 (720) 를 도시하고; 이 장치 (720) 는 프로세싱 챔버 (722), 프로세스 가스 유닛 (724), 기판 가열 유닛 (726), 및 기판 냉각 유닛 (728) 을 포함한다. 프로세싱 챔버 (722) 는 (플레넘 볼륨으로 간주될 수도 있는) 챔버 내부 (732) 를 적어도 부분적으로 경계짓고 (bound) 규정하는 챔버 벽들 (730) 을 갖는다. 프로세스 가스 유닛 (724) 은 액체들 및/또는 가스들, 예컨대 반응 물질, 개질 분자들, 변환 분자들, 또는 제거 분자들을 챔버 내부 (732) 의 기판 (734) 상으로 흘리도록 구성된다. 프로세스 가스 유닛 (724) 은 또한 기판 (734) 상으로 제 1 프로세스 가스를 흘리도록 구성된 하나 이상의 플로우 피쳐들 (742), 예컨대 홀, 노즐 (2 개가 도시됨), 또는 샤워 헤드를 포함한다. 하나 이상의 플로우 피쳐들 (742) 은 예를 들어 프로세싱 챔버 벽들, 상단부 및 하단부와 같이 챔버 내부 (732) 내에서, 위, 아래, 측면, 또는 위치들의 조합에 위치될 수도 있다. 프로세스 가스 유닛 (724) 은 챔버 내부 (732) 로의 전달을 위해 프로세스 가스들을 블렌딩 및/또는 컨디셔닝하기 위한 혼합 용기를 포함할 수도 있다. 하나 이상의 혼합 용기 유입구 밸브들은 혼합 용기로의 프로세스 가스들의 도입을 제어할 수도 있다.

[0114] 프로세스 가스 유닛 (724) 은 제 1 프로세스 가스 소스 (736), 제 1 프로세스 액체 소스 (738), 제 1 액체를 가스로 기화시킬 수도 있는 기화 지점 (미도시), 및 캐리어 가스 소스 (740) 를 포함할 수도 있다. 일부 반응 물질들이 기화 및 후속하여 프로세스 챔버 (722) 로의 전달 전에 액체 형태로 저장될 수도 있다. 제 1 프로세스 가스는 산화 가스, 할로젠화 (halogenating) 가스, 또는 일부 실시 예들에서 플라즈마를 사용하지 않고 기판 상의 재료의 하나 이상의 층들을 개질하도록 구성된 또 다른 가스를 포함할 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 기화 지점은 가열된 액체 주입 모듈일 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 기화 지점은 가열된 기화기일 수도 있다. 또 다른 구현예들에서, 기화 지점은 프로세스 스테이션으로부터 제거될 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 기화 지점의 업스트림에 LFC (Liquid Flow Controller) 가 기화 및 프로세싱 챔버 (732) 로의 전달을 위해 액체의 대량 플로우를 제어하기 위해 제공될 수도 있다. 캐리어 가스 소스 (740) 는 프로세싱 가스와 함께 흐를 수도 있는 하나 이상의 캐리어 가스들 또는 액체들을 포함하고; 이들은 N_2 , Ar, Ne, He와 유사한 불활성 가스들일 수도 있다. 장치 (720) 는 또한 예를 들어 1 mTorr 또는 10 Torr의 압력을 갖는 진공과 같은 저압들로 챔버 내부를 펌핑하도록 구성된 진공 펌프 (733) 를 포함할 수도 있다.

[0115] 챔버 내부 (732) 는 챔버 내에서 기판 (734) 을 지지하고 열적으로 플로팅하도록 구성된 기판 지지 피쳐들 (735) 을 포함한다. 기판 지지 피쳐들 (735) 은 클램프들, 수평 핀들 또는 지지부들, 수직 핀들 또는 지지부들, 및 예를 들어, 챔버 내부 (732) 내에서 기판 (734) 을 지지하는 반원형 링들을 포함할 수도 있다. 이 피쳐들은 기판의 열적 매스가 가능한 한 많이 기판 (734) 만의 열적 매스로 감소되도록 기판 (734) 을 지지하도록 구성된다. 따라서 기판 지지 피쳐 (735) 각각은 기판 (734) 과의 최소의 콘택트를 가질 수도 있고 프로세싱 동안 (예를 들어, 기판의 중량을 지지하고 기판의 비탄성 변형을 방지하기 위해) 기판을 적절히 지지하는데 필요한 최소 수의 피쳐들일 수도 있다. 예를 들어, 기판과 콘택트하는 일 기판 지지 피쳐 (735) 의 표면적은 기판의 후면의 전체 표면적의 약 1 %, 0.5 %, 0.1 %, 0.05 %, 또는 0.01 % 미만일 수도 있고; 또한, 예를 들어, 2, 3, 또는 4 개의 피쳐들이 활용될 수도 있다.

[0116] 일 예에서, 지지 피쳐들 (735) 은 수직, 종방향 축을 따라 램핑되거나 나선형으로 형성된 홈들을 갖고 종방향 축으로부터 가변하는 거리들에서 오프셋되고 기판을 지지하도록 구성된 2개 이상의 수직 핀들을 포함할 수도 있다. 수직 핀이 종축을 따라 회전하고 기판의 에지가 홈 내에 위치될 때, 홈의 에지, 따라서 기판의 에지는 종축으로부터 보다 멀리 이동한다. 복수의 수직 핀들이 기판을 지지하도록 사용될 때, 수직 핀들의 회전은 홈들로 하여금 종방향 축에 수직인 방향으로 기판에 지지력을 인가하게 한다.

[0117] 일부 실시 예들에서, 챔버 (722) 는 기판 리프트 핀들을 포함하는 웨이퍼 지지 페데스탈을 포함할 수도 있다.

열적 ALE 프로세싱 동안, 리프트 핀들은 페데스탈과 기관 사이에 열 에너지의 전이가 실질적으로 없도록 (예를 들어, 둘 사이에 전달된 에너지의 10 %, 5 %, 1 %, 0.5 % 또는 미만이라도) 페데스탈로부터 기관을 지지하고 위치시킬 수도 있다. 일부 다른 실시 예들에서, 챔버 (722) 는 페데스탈을 갖지 않을 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 본 명세서에 제공된 온도들, 예컨대 약 20 °C 내지 500 °C로 기관을 가열하도록 구성된 기관 가열 유닛 (726) 을 포함하는 정전 척 (electrostatic chuck; ESC) 이 사용될 수도 있다.

[0118] 기관 가열 유닛 (726) 은 기관을 복수의 온도들로 가열하고 예를 들어 적어도 1 초, 5 초, 10 초, 30 초, 1 분, 2 분, 또는 3 분 동안 이러한 온도들을 유지하도록 구성된다. 일부 실시 예들에서, 기관 가열 유닛 (726) 은 약 20 °C 내지 150 °C의 제 1 범위, 및 약 200 °C 내지 600 °C의 제 2 범위를 갖는 적어도 2 개의 온도 범위들 사이에서 기관을 가열하도록 구성될 뿐만 아니라, 예를 들어 적어도 1 초, 5 초, 또는 10 초 동안 이들 범위 내의 온도로 기관을 유지하도록 구성된다. 부가적으로, 일부 실시 예들에서, 기관 가열 유닛 (726) 은 예를 들어, 약 250 ms, 150 ms, 100 ms, 또는 50 ms 미만으로 제 1 온도 범위로부터 제 2 온도 범위로 기관을 가열하도록 구성된다.

[0119] 기관 가열 유닛 (726) 은 복사 가열, 대류 가열, 레이저 가열, 플라스마 가열, 고체-대-고체 열 전달, 또는 이들 항목들의 조합을 활용할 수도 있다. 복사 가열을 위해, 기관 가열 유닛 (726) 은 방출된 광 가열, 적외선 가열, 자외선 가열, 마이크로파 가열, 무선 주파수 가열, 및 유도 가열을 위해 사용될 수도 있다. 예를 들어, 기관 가열 유닛 (726) 은 400 nm 내지 800 nm 범위를 포함할 수도 있는 파장들을 갖는 가시 광을 방출하는 발광 다이오드들 (LEDs) 을 포함할 수도 있다. 또 다른 예에서, 적외선 가열은 780 nm 내지 1400 nm 범위 (예를 들어, 근적외선 히터), 1400 nm 및 3000 nm 범위 (예를 들어, 중간 적외선 히터), 및 예를 들어, 3000 nm 이상 (예를 들어, 원적외선 히터) 으로 적외선 방사선을 방출하는 하나 이상의 적외선 방출기들을 사용할 수도 있다. 이는 또한 예를 들어, 열 램프, 발광 다이오드들 (예를 들어, LED들), 세라믹 히터, 석영 히터, 또는 광 에너지 소스에 연결된 복수의 그린 (Gradient Index; GRIN) 렌즈들을 포함할 수도 있다. 그린 렌즈는 균일한 방식으로 광 에너지 소스로부터 기관으로 열 에너지 (열 또는 광) 를 전달하도록 구성되고; 광원은 광섬유 케이블과 같은 도관을 통해 GRIN 렌즈들로 열 에너지를 전송하는 레이저 또는 고강도 광원일 수도 있다. 기관 가열 유닛 (726) 에 의해 활용된 가열 엘리먼트들은 기관 (734) 위, 아래, 측면, 또는 위치들의 조합 상에 위치될 수도 있고, 챔버 내부 (732) 의 내부, 외부 또는 모두에 위치될 수도 있다. 도 7에서, 기관 가열 유닛 (726) 에 의해 활용된 가열 엘리먼트들은 기관 (734) 위 및 아래 모두에 위치된 복수의 LED들 (726A) 을 포함하고; 하부 가열 엘리먼트들은 챔버 내부 (732) 내부에 위치되고 상부 가열 엘리먼트들은 챔버 내부 (732) 외부에 위치된다. 일부 실시 예들에서, 챔버 (722) 외부에 위치된 가열 엘리먼트들 중 일부에 대해, 챔버 (722) 는 방사선이 챔버 내부 (732) 내로 그리고 기관 (734) 상으로 전달되게 하는 윈도우 (754) 를 가질 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 이 윈도우 (754) 는 광학 등급 석영 플레이트일 수도 있는 한편, 다른 실시 예들에서 이는 투명한 ITO (indium tin oxide) 윈도우일 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 기관 가열 유닛 (726) 은 기관 (734) 아래에만 위치될 수도 있는 복수의 LED들 (726A) 을 포함하고, 이는 또한 LED들에 의해 방출된 광이 기관의 후면에 도달할 수도 있는 윈도우를 포함할 수도 있는 페데스탈 또는 ESC를 내부에 포함할 수도 있다.

[0120] 대류 가열을 위해, 기관 가열 유닛 (726) 은 기관을 가열하기 위해 가열 가스를 챔버 내부 (732) 내로 흘릴 수도 있다. 기관 가열 유닛 (726) 은 가열 가스 소스, 적어도 20 °C, 100 °C, 250 °C, 350 °C, 500 °C 및 600 °C와 같은 목표된 온도로 가열 가스를 가열하도록 구성된 가열 유닛, 및 가열 가스로 하여금 챔버 내부 (732) 내로 그리고 기관 (734) 상으로 흐르게 하는, 노즐들 또는 홀들과 같은 가열 플로우 피쳐들을 포함한다. 이들 가열 플로우 피쳐들은 기관의 위, 아래, 측면 또는 위치들의 조합 상에 위치될 수도 있다.

[0121] 레이저 가열을 위해, 기관 가열 유닛 (726) 은 챔버 내부에서 기관을 가열하도록 구성된 하나 이상의 레이저들을 가질 수도 있다. 이들 레이저들 (예를 들어, 스캐닝 레이저) 은 고정되거나 이동하도록 구성될 수도 있고, 이들은 기관의 위, 아래 또는 둘 모두에 위치될 수도 있고; 레이저들은 또한 챔버 내부의 내부, 외부, 또는 모두에 위치될 수도 있다. 상기 논의된 복사 가열과 유사하게, 챔버 내부의 외부에 위치된 레이저들에 대해, 챔버는 레이저의 광 방출들이 기관에 도달하게 하는 윈도우를 포함할 수도 있다.

[0122] 플라스마 가열을 위해, 기관 가열 유닛 (726) 은 기관을 가열하기 위해 챔버 내부에서 플라스마를 생성하고 유지하도록 구성된 피쳐들을 가질 수도 있다. 플라스마를 생성할 수도 있는 피쳐들은 이하에 보다 상세히 논의된다. 이에 더하여, 일부 실시 예들에서, 챔버 내부는 기관 아래에 위치되고 웨이퍼를 지지하도록 구성된 수직 핀들을 포함할 수도 있다. 기관의 가열 동안, 이는 수직 핀들에 의해서만 지지될 수도 있고, 플라스마는 기관의 하단부와 챔버의 하단 벽 또는 웨이퍼 지지부 페데스탈과 같은 기관 아래 표면 사이에 생성될 수도 있다.

이 플라즈마는 기관의 온도를 목표된 온도들로 가열하고 유지할 수도 있다.

[0123] 고체-대-고체 열적 전달을 위해, 기관 가열 유닛 (726) 은 챔버 내부에서 기관과 접촉하고 가열하도록 구성된 하나 이상의 가열 표면들을 가질 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 기관 가열 유닛 (726) 은 기관의 배면과 콘택트하고 기관을 가열하도록 구성된 기관 페데스탈의 표면 또는 편평한 표면과 같은 가열 플레이트 (platen) 을 가질 수도 있다. 이 가열 플레이트는 가열 플레이트의 표면을 가열할 수도 있는, 상기 논의된 가열 코일, 가열 유체, 또는 복사 가열과 같은 가열 엘리먼트들을 가질 수도 있다. 기관은 기관의 후면이 가열 플레이트와 직접적으로 콘택트하거나 가열 플레이트로부터 오프셋되지만 가열 플레이트로부터 열 에너지를 수용하기에 충분히 가까울 때 가열될 수도 있다. 기관을 가열하기 위해 이 고체-대-고체 열 전달을 사용할 때, 기관은 냉각될 때 가열 플레이트로부터 분리된다. 일부 종래의 ALE 장치들은 가열 엘리먼트 및 냉각 엘리먼트 모두를 포함하는 기관 페데스탈을 가질 수도 있지만, 이들 장치들은 반복적으로 가열 및 냉각되는 페데스탈의 큰 열적 질량들로 인해 열적 ALE의 온도들 사이에서 신속하게 (예를 들어, 250 ms 미만으로) 사이클할 수 없다. 예를 들어, 페데스탈을 제 1 온도 범위 (예를 들어, 20 °C 내지 100 °C) 로부터 제 2 온도 범위 (예를 들어, 200 °C 내지 500 °C) 로 가열하는데 뿐만 아니라 기관을 제 1 온도 범위로 냉각할 수 있는 보다 낮은 온도로 제 2 온도 범위로부터 페데스탈을 냉각하는데 수 초 또는 수 분이 걸릴 수도 있다. 따라서, 이 고체-대-고체 가열 기법을 사용한 후, 가열 플레이트 및 기관은 서로로부터 분리되고, 이는 예를 들어, 기관 및/또는 가열 플레이트를 서로 멀어지게 이동 시킴으로써 달성될 수도 있다. 이 분리 없이, 기관의 열적 질량 및 기관 쓰루풋 (throughput) 을 감소시키는 냉각 시간을 증가시키는 가열 플레이트 모두의 냉각이 일어난다. 일부 실시 예들에서, 기관 가열 유닛 및 냉각을 위한 펠티에 (Peltier) 엘리먼트를 갖는 ESC 또는 페데스탈은 빠른 가열 및 냉각 시간 (예컨대 목표된 온도로 기관을 냉각시키기 위해 약 30 초) 을 가능하게 할 수도 있다.

[0124] 도 7의 기관 냉각 유닛 (728) 은 기관을 능동적으로 냉각하도록 구성된다. 일부 실시 예들에서, 기관 냉각 유닛 (728) 은 기관 (734) 을 능동적으로 냉각시키는 냉각 가스를 기관 (734) 상으로 흘린다. 기관 냉각 유닛 (728) 은 냉각 유체 (가스 또는 액체) 를 포함할 수도 있는 냉각 유체 소스 (748), 및 예를 들어, 0 °C, -50 °C, -100 °C, -150 °C, -170 °C, -200 °C, 및 -250 °C 이하와 같은 목표된 온도로 냉각 유체를 냉각하도록 구성된 냉각기 (750) 를 포함할 수도 있다. 기관 냉각 유닛 (728) 은 냉각제 유체를 챔버 내부로 흘리도록 구성되는, 파이프 및 냉각제 플로우 피처들 (752), 예를 들어, 노즐들 또는 홀들을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 유체는 챔버 (722) 로 흐를 때 액체 상태일 수도 있고, 예를 들어 챔버 내부 (732) 가 상기 기술된 바와 같이, 예를 들어, 1 Torr와 같이 저압 상태에 있다면, 챔버 내부 (732) 에 도달할 때 증기 상태로 바뀔 수도 있다. 냉각 유체는 질소, 아르곤, 헬륨과 같은 불활성 원소일 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 챔버 내부 (732) 내로의 냉각 유체의 플로우 레이트는 적어도 10 L/s, 50 L/s, 100 L/s, 150 L/s, 200 L/s, 250 L/s 및 예를 들어, 300 L/s일 수도 있다.

[0125] 다양한 인자들이 기관을 냉각하기 위한 냉각 유체의 능력을 증가시킬 수도 있다. 냉각 유체의 플로우 레이트가 높을수록 기관이 보다 빨리 냉각된다는 것이 다양한 실험들을 통해 발견되었다. 일 예시적인 실험에서, 1 L/s의 플로우 레이트로 기관 상으로 흐른 약 -196 °C의 냉각 가스는 약 5,000 ms 내에 기관의 온도를 약 220 °C에서 약 215 °C로 감소시키는 것으로 밝혀진 한편, 10 L/s의 플로우 레이트의 동일한 냉각 가스는 기관의 온도를 약 5,000 ms 내에 약 220 °C에서 약 195 °C로 감소시켰다. 기관과 챔버의 상단부 사이의 갭 (도 10의 (1052)) 이 또한 기관의 냉각에 영향을 줄 수도 있고; 갭이 작을수록, 더욱 냉각된다는 것이 발견되었다. 일 예에서, 약 50 μm의 갭만큼 챔버의 상단으로부터 분리된 기관이 약 -196 °C의 냉각 가스를 사용하여 약 5,000 ms 내에 약 220 °C로부터 약 215 °C로 냉각되는 한편, 약 5 mm의 갭만큼 챔버의 상단으로부터 분리된 기관은 동일한 냉각 가스를 사용하여 약 5,000 ms 내에 약 220 °C로부터 약 209 °C로 냉각되는 것이 밝혀졌다. 따라서, 플로우 레이트가 보다 높고 갭이 보다 작을수록 기관이 보다 빨리 냉각된다는 것이 발견되었다.

[0126] 일부 실시 예들에서, 기관 냉각 유닛 (728) 은 기관 (734) 을 능동적으로 냉각하기 위해 고체-대-고체 열적 전달을 사용할 수도 있다. 이들 실시 예들 중 일부에서, 편평하고 냉각된 표면과 같은 냉각 플레이트가 기관의 하단부와 콘택트하고 기관을 냉각하도록 사용될 수도 있다. 이 플레이트는 플레이트 위, 플레이트를 통해 또는 플레이트 아래로 냉각 유체를 흘림으로써 냉각될 수도 있다. 이 고체-대-고체 냉각을 사용할 때, 상기 논의된 고체-대-고체 가열과 유사하게, 기관은 기관의 가열 동안, 예를 들어, 리프트 핀들로 기관을 들어올려서 예를 들어, 냉각 플레이트로부터 기관을 이동시킴으로써 냉각 플레이트로부터 분리된다. 이 분리 없이, 기관 및 냉각 플레이트의 열적 질량들은 모두 냉각되고, 이는 결국 프로세스 시간을 증가시키고 쓰루풋을 감소시키는 보다 많은 냉각을 필요로 한다. 일부 실시 예들에서, 기관의 상단부의 복사 가열 또는 기관의 하단부의 플라즈마 가열은 고체-대-고체 냉각과 함께 사용될 수도 있다.

- [0127] 일부 실시 예들에서, 기관 냉각 유닛 (728) 은 기관을 냉각하기 위해 레이저 냉각을 사용할 수도 있다. 이는 역 나비에-스트로크 (Navier-Stokes) 반응을 활용함으로써 적어도 기관의 노출된 표면 상에 툴륨 (thulium) 분자들을 포함하는 기관의 냉각을 가능하게 할 수도 있다. 예를 들어, 기관의 온도는 포논들 (phonons) 로 발현하고 레이저 냉각은 광자들을 기관 표면으로 방출하고, 상기 광자들은 툴륨의 포논들과 상호 작용하고 포논들을 픽업하고 이어서 보다 높은 에너지 레벨에서 툴륨으로부터 포논을 갖는 기관을 떠난다. 이들 포논들의 제거는 기관의 온도를 감소시킨다. 툴륨은 이 레이저 냉각을 가능하게 하기 위해 기관의 표면 상에 도핑될 수도 있고, 이 도핑은 제거 동작과 같은 임의의 동작 후 또는 전에 발생하는 것과 같이, 상기 열거된 기법들에 포함될 수도 있다.
- [0128] 상기 주지된 바와 같이, 장치의 일부 실시 예들은 챔버 내부에 플라스마를 생성하도록 구성된 플라스마 소스를 포함할 수도 있다. 이 플라스마 소스들은 용량 커플링 플라스마 (capacitively coupled plasma; CCP), 유도 커플링 플라스마 (inductively coupled plasma; ICP), 상부 리모트 (remote) 플라스마, 및 하부 리모트 플라스마일 수도 있다.
- [0129] 일부 실시 예들에서, 본 명세서에 기술된 장치들은 본 명세서에 기술된 기법들을 수행하기 위해 장치의 다양한 양태들을 제어하도록 구성된 제어기를 포함할 수도 있다. 예를 들어, 도 7에서, 장치 (720) 는 프로세싱 챔버와 통신 가능하게 연결되고 프로세싱 챔버의 동작들 중 일부 또는 전부를 제어하는 제어기 (766) (하나 이상의 물리적 또는 논리적 제어기들을 포함할 수도 있음) 를 포함한다. 시스템 제어기 (766) 는 하나 이상의 메모리 디바이스들 (768) 및 하나 이상의 프로세서들 (770) 을 포함할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 장치는 예를 들어, 개시된 실시 예들이 수행될 때, 플로우 레이트들 및 지속 기간들을 제어하기 위한 스위칭 시스템, 기관 가열 유닛, 기관 냉각 유닛, 챔버 내 기관의 로딩 및 언로딩, 기관의 열적 플로팅, 및 프로세스 가스 유닛을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 장치는 최대 약 500 ms, 또는 최대 약 750 ms 의 스위칭 시간을 가질 수도 있다. 스위칭 시간은 플로우 화학 물질, 선택된 레시피, 반응기 아키텍처 및 다른 인자들에 종속될 수도 있다.
- [0130] 일부 구현 예들에서, 제어기 (766) 는 상기 기술된 예들의 일부일 수도 있는, 장치 또는 시스템의 일부이다. 이러한 시스템들 또는 장치들은, 프로세싱 툴 또는 툴들, 챔버 또는 챔버들, 프로세싱용 플랫폼 또는 플랫폼들 및/또는 특정 프로세싱 컴포넌트들 (가스 플로우 시스템, 기관 가열 유닛, 기관 냉각 유닛, 등) 을 포함하는, 반도체 프로세싱 장비를 포함할 수 있다. 이들 시스템들은 반도체 웨이퍼 또는 기관의 프로세싱 이전에, 프로세싱 동안에, 그리고 프로세싱 이후에 그들의 동작을 제어하기 위한 전자 장치들과 통합될 수도 있다. 전자 장치는 시스템 또는 시스템들의 다양한 컴포넌트들 또는 하위부분들 (subparts) 을 제어할 수도 있는, "제어기"로서 지칭될 수도 있다. 제어기 (766) 는, 시스템의 프로세싱 파라미터들 및/또는 타입에 따라서, 프로세싱 가스들의 전달, 온도 설정들 (예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정들, 진공 설정들, 전력 설정들, 무선 주파수 (RF) 생성기 설정들, RF 매칭 회로 설정들, 주파수 설정들, 플로우 레이트 설정들, 유체 전달 설정들, 위치 및 동작 설정들, 툴 및 다른 이송 툴들 및/또는 특정 시스템과 연결되거나 인터페이스된 로드록들 내외로의 웨이퍼 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 프로세스들 중 임의의 프로세스들을 제어하도록 프로그래밍될 수도 있다.
- [0131] 일반적으로 말하면, 제어기 (766) 는 인스트럭션들을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 동작을 제어하고, 설정 동작들을 가능하게 하고, 엔드포인트 측정들을 가능하게 하는, 등을 하는 다양한 집적 회로들, 로직, 메모리, 및/또는 소프트웨어를 갖는 전자 장치로서 규정될 수도 있다. 집적 회로들은 프로그램 인스트럭션들을 저장하는 펌웨어의 형태의 칩들, 디지털 신호 프로세서들 (digital signal processors; DSPs), ASICs (application specific integrated circuits) 로서 규정되는 칩들 및/또는 프로그램 인스트럭션들 (예를 들어, 소프트웨어) 을 실행하는 하나 이상의 마이크로프로세서들, 또는 마이크로제어기들을 포함할 수도 있다. 프로그램 인스트럭션들은 반도체 웨이퍼 상에서 또는 반도체 웨이퍼에 대한 특정 프로세스를 실행하기 위한 동작 파라미터들을 규정하는, 다양한 개별 설정사항들 (또는 프로그램 파일들) 의 형태로 제어기로 또는 시스템으로 전달된 인스트럭션들일 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 동작 파라미터들은 하나 이상의 층들, 재료들, 금속들, 옥사이드들, 실리콘, 실리콘 다이옥사이드, 표면들, 회로들, 및/또는 웨이퍼의 다이들의 제조 동안에 하나 이상의 프로세싱 동작들을 달성하도록 프로세스 엔지니어들에 의해서 규정된 레시피의 일부일 수도 있다.
- [0132] 제어기 (766) 는, 일부 구현 예들에서, 시스템에 포함되거나, 시스템에 커플링되거나, 이와 달리 시스템에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합으로될 수 있는 컴퓨터에 커플링되거나 이의 일부일 수도 있다. 예를 들어, 제어기는 웨이퍼 프로세싱의 원격 액세스를 가능하게 할 수 있는 팹 (fab) 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부이거나 "클라우드" 내에 있을 수도 있다. 컴퓨터는 제조 동작들의 현재 진행을 모니터링하고, 과거 제조 동작들의 이력을 검토하고, 복수의 제조 동작들로부터 경향들 또는 성능 메트릭들 (metrics) 을 검토하고, 현재 프

로세싱의 파라미터들을 변경하고, 현재 프로세싱을 따르는 프로세싱 동작들을 설정하고, 또는 새로운 프로세스를 시작하도록 시스템에 대한 원격 액세스를 가능하게 할 수도 있다. 일부 예들에서, 원격 컴퓨터 (예를 들어, 서버) 는 로컬 네트워크 또는 인터넷을 포함할 수도 있는 네트워크를 통해 프로세스 레시피들을 시스템에 제공할 수 있다. 원격 컴퓨터는 차후에 원격 컴퓨터로부터 시스템으로 전달될 파라미터들 및/또는 설정들의 입력 또는 프로그래밍을 가능하게 하는 사용자 인터페이스를 포함할 수도 있다. 일부 예들에서, 제어기 (172) 는 하나 이상의 동작들 동안 수행될 프로세싱 동작들 각각에 대한 파라미터들을 특정하는, 데이터의 형태의 인스트럭션들을 수신한다. 파라미터들은 제어기가 제어하거나 인터페이스하도록 구성되는 톨의 타입 및 수행될 프로세스의 타입에 특정적일 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 따라서 상기 기술된 바와 같이, 제어기 (172) 는 예컨대 본 명세서에 기술된 프로세스들 및 제어들과 같은, 공동의 목적을 향해 함께 네트워킹되고 작동하는 하나 이상의 개별 제어기들을 포함함으로써 분산될 수도 있다. 이러한 목적들을 위한 분산형 제어기의 일 예는 챔버 상의 프로세스를 제어하도록 조합되는 원격으로 (예컨대 플랫폼 레벨에서 또는 원격 컴퓨터의 일부로서) 위치한 하나 이상의 집적 회로들과 통신하는 챔버 상의 하나 이상의 집적 회로들일 것이다.

[0133] 상술한 바와 같이, 장치에 의해서 수행될 프로세스 동작 또는 동작들에 따라서, 제어기 (766) 는, 반도체 제작 공장 내의 톨 위치들 및/또는 로드 포트들 (load ports) 로 및 톨 위치들 및/또는 로드 포트들로부터 웨이퍼들의 컨테이너들을 가져오는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 장치 회로들 또는 모듈들, 다른 톨 컴포넌트들, 클러스터 톨들, 다른 톨 인터페이스들, 인접 톨들, 이웃하는 톨들, 공장 도처에 위치한 톨들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기, 또는 톨들 중 하나 이상과 통신할 수도 있다.

[0134] 또한 상기 언급된 바와 같이, 제어기는 상기 기술된 임의의 기법을 수행하도록 구성된다. 예를 들어, 도 7의 장치 (720) 및 도 1의 기법을 참조하면, 일부 실시 예들에서, 제어기 (766) 는 기관 가열 유닛 (726) 으로 하여금 기관 지지 피쳐들 (735) 상에 위치한 기관 (734) 을 제 1 온도가 되게 하도록 (즉, 가열하거나 능동적으로 냉각시키도록) 그리고 프로세스 가스 유닛 (724) 으로 하여금 제 1 프로세스 가스를 기관 (734) 으로 흐르게 하도록 구성된다. 상기 주지된 바와 같이, 제 1 프로세스 가스는 기관이 제 1 온도로 유지되는 동안, 일부 실시 예들에서 플라스마를 사용하지 않고, 화학적 흡착에 의해 기관 (734) 상의 재료의 하나 이상의 표면 층들을 개질하도록 구성된다. 제어기 (766) 는 개질 후, 기관 가열 유닛 (726)으로 하여금 기관 (734) 을 제 2 온도로 유지하게 하도록 더 구성될 수도 있고 기관 (734) 상의 하나 이상의 개질된 표면 층들은 기관 (734) 이 제 2 온도로 유지되는 동안 탈착에 의해 제거될 수도 있다. 제어기 (766) 는 제 2 재료의 노출된 표면을 재료의 변환된 층, 즉, 에칭 정지 층으로 변환하도록 본 명세서에 기술된 바와 같이 프로세스 가스 유닛 (724) 이 기관 상으로 제 3 프로세스 가스를 흘리게 하도록 더 구성될 수도 있다.

[0135] 도 8a 내지 도 8c는 본 명세서에 기술된 에칭 동작들을 수행하기 위해 사용될 수도 있는 조정 가능한 갭 (gap) 용량 커플링 한정된 (confine) RF 플라스마 반응기 (800) 의 일 실시 예를 예시한다. 도시된 바와 같이, 진공 챔버 (802) 는 하부 전극 (806) 을 하우징하는 내부 공간을 둘러싸는, 챔버 하우징 (804) 을 포함한다. 챔버 (802) 의 상부 부분에서 상부 전극 (808) 은 하부 전극 (806) 으로부터 수직으로 이격된다. 상부 전극 (808) 및 하부 전극 (806) 의 평면 표면들은 실질적으로 평행하고 전극들 사이의 수직 방향에 직교한다. 바람직하게 상부 전극 (808) 및 하부 전극 (806) 은 원형이고 수직 축에 대해 동축이다. 상부 전극 (808) 의 하부 표면은 하부 전극 (806) 의 상부 표면과 대면한다 (face). 이격된 대면 전극 표면들은 그 사이에 조정 가능한 갭 (810) 을 규정한다. 동작 동안, 하부 전극 (806) 은 RF 전력 공급부 (매칭부) (820) 에 의해 RF 전력이 공급된다. RF 전력은 RF 공급 도관 (822), RF 스트랩 (824) 및 RF 전력 부재 (826) 를 통해 하부 전극 (806) 에 공급된다. 접지 차폐부 (836) 는 하부 전극 (806) 에 보다 균일한 RF 필드를 제공하도록 RF 전력 부재 (826) 를 둘러쌀 수도 있다. 전체 내용이 본 명세서에 참조로서 인용된, 공동으로 소유된 미국 특허 제 7,732,728 호에 기술된 바와 같이, 웨이퍼는 웨이퍼 포트 (882) 를 통해 삽입되고 프로세싱을 위해 하부 전극 (806) 상의 갭 (810) 내에 지지되고, 프로세스 가스가 갭 (810) 으로 공급되고 RF 전력에 의해 플라스마 상태로 여기된다. 상부 전극 (808) 은 전력 공급되거나 (powered) 접지될 수 있다.

[0136] 도 8a 내지 도 8c에 도시된 실시 예에서, 하부 전극 (806) 은 하부 전극 지지 플레이트 (816) 상에 지지된다. 하부 전극 (806) 과 하부 전극 지지 플레이트 (816) 사이에 개재된 (interpose) 절연체 링 (814) 은 지지 플레이트 (816) 로부터 하부 전극 (806) 을 절연한다.

[0137] RF 바이어스 하우징 (830) 은 RF 바이어스 하우징 보울 (bowl) (832) 상의 하부 전극 (806) 을 지지한다. 보울 (832) 은 RF 바이어스 하우징 (830) 의 암 (arm) (834) 에 의해 챔버 벽 플레이트 (818) 의 개구부를 통해 도관 지지 플레이트 (838) 에 연결된다. 바람직한 실시 예에서, RF 바이어스 하우징 보울 (832) 및 RF 바이어스 하우징 암 (834) 은 일 컴포넌트로서 일체로 형성되지만, 암 (834) 및 보울 (832) 은 또한 함께 볼트 결합되거나

나 결합된 2 개의 별개의 컴포넌트들일 수 있다.

- [0138] RF 바이어스 하우징 암 (834) 은 RF 전력을 통과시키기 위한 하나 이상의 중공형 통로들 및 설비들, 예컨대 하부 전극 (806) 의 후면 상의 공간에서 진공 챔버 (802) 외부로부터 진공 챔버 (802) 내부로 가스 냉각제, 액체 냉각제, RF 에너지, 리프트 핀 제어를 위한 케이블들, 전기적 모니터링 및 작동 신호들을 포함한다. RF 공급도관 (822) 은 RF 바이어스 하우징 암 (834) 으로부터 절연되고, RF 바이어스 하우징 암 (834) 은 RF 전력 공급부 (820) 로의 RF 전력을 위한 리턴 경로를 제공한다. 설비 도관 (840) 은 설비 컴포넌트들을 위한 통로를 제공한다. 설비 컴포넌트들의 추가 상세들은 미국 특허 제 5,948,704 호 및 제 7,732,728 호에 기술되고 기술의 간략함을 위해 본 명세서에 도시되지 않았다. 갭 (810) 은 바람직하게 한정 링 어셈블리 또는 슈라우드 (미도시) 에 의해 둘러싸이고, 그 세부 사항들은 본 명세서에 참조로서 인용된, 공동으로 소유된 공개된 미국 특허 제 7,740,736 호에서 발견될 수 있다. 진공 챔버 (802) 의 내부는 진공 포털 (880) 을 통해 진공 펌프에 연결함으로써 저압으로 유지된다.
- [0139] 도관 지지 플레이트 (838) 는 작동 메커니즘 (842) 에 부착된다. 서보 기계 모터, 스텝퍼 모터 등과 같은, 작동 메커니즘 (842) 은 예를 들어, 볼 스크루 및 볼 스크루를 회전시키기 위한 모터와 같은 스크루 기어 (846) 에 의해 수직 선형 베어링 (844) 에 부착된다. 갭 (810) 의 사이즈를 조정하기 위한 동작 동안, 작동 메커니즘 (842) 은 수직 선형 베어링 (844) 을 따라 이동한다. 도 8a는 작동 메커니즘 (842) 이 작은 갭 (810 a) 을 발생시키는 선형 베어링 (844) 상의 높은 위치에 있을 때의 배열을 예시한다. 도 8b는 작동 메커니즘 (842) 이 선형 베어링 (844) 상의 중간 위치에 있을 때의 배열을 예시한다. 도시된 바와 같이, 하부 전극 (806), RF 바이어스 하우징 (830), 도관 지지 플레이트 (838), RF 전력 공급부 (820) 는 모두 챔버 하우징 (804) 및 상부 전극 (808) 에 대해 하부로 이동하여, 중간 사이즈의 갭 (810b) 을 발생시킨다.
- [0140] 도 8c는 작동 메커니즘 (842) 이 선형 베어링 상의 낮은 위치에 있을 때 큰 갭 (810 c) 을 예시한다. 바람직하게, 상부 전극 (808) 및 하부 전극 (806) 은 갭 조정 동안 동축으로 유지되고 그리고 갭에 걸친 상부 전극 및 하부 전극의 대면 표면들은 평행하게 유지된다.
- [0141] 이 실시 예는 예를 들어, 300 mm 웨이퍼들 또는 평판 디스플레이들과 같은 큰 직경의 기관에 걸쳐 균일한 에칭을 유지하기 위해, 조정될 다단계 프로세스 레시피들 (BARC, HARC, 및 STRIP 등) 동안 CCP 챔버 (802) 내 하부 전극 (806) 과 상부 전극 (808) 사이의 갭 (810) 을 허용한다. 특히, 이 챔버는 하부 전극 (806) 과 상부 전극 (808) 사이에 조정 가능한 갭을 제공하기 위해 필요한 선형 운동을 허용하는 기계적 배열에 속한다.
- [0142] 도 8a는 도관 지지 플레이트 (838) 에 대한 근위 단부에서 그리고 챔버 벽 플레이트 (818) 의 단차진 (step) 플랜지 (828) 에 대해 원위 단부에서 시일링된 (seal), 측방향으로 편향된 (deflect) 벨로우즈 (850) 를 예시한다. 단차진 플랜지의 내경은 RF 바이어스 하우징 암 (834) 이 통과하는 챔버 벽 플레이트 (818) 내에 개구부 (812) 를 규정한다. 벨로우즈 (850) 의 원위 단부는 클램프 링 (852) 에 의해 클램핑된다.
- [0143] 측방향으로 편향된 벨로우즈 (850) 는 RF 바이어스 하우징 (830), 도관 지지 플레이트 (838) 및 작동 메커니즘 (842) 의 수직 이동을 허용하는 동안 진공 시일을 제공한다. RF 바이어스 하우징 (830), 도관 지지 플레이트 (838) 및 작동 메커니즘 (842) 은 캔틸레버 어셈블리 (cantilever assembly) 로 지칭될 수 있다. 바람직하게, RF 전력 공급부 (820) 는 캔틸레버 어셈블리와 함께 이동하고, 도관 지지 플레이트 (838) 에 부착될 수 있다. 도 8b는 캔틸레버 어셈블리가 중간 위치에 있을 때 중립 위치에 있는 벨로우즈 (850) 를 도시한다. 도 8c는 캔틸레버 어셈블리가 낮은 위치에 있을 때 측방향으로 편향된 벨로우즈 (850) 를 도시한다.
- [0144] 래비린스 (labyrinth) 시일 (848) 이 벨로우즈 (850) 와 플라즈마 프로세싱 챔버 하우징 (804) 의 내부 사이에 입자 배리어를 제공한다. 고정된 차폐부 (856) 는 이동식 차폐 플레이트 (858) 가 캔틸레버 어셈블리의 수직 이동을 수용하도록 수직으로 이동하는 래비린스 홈 (groove) (860) (슬롯) 을 제공하기 위해 챔버 벽 플레이트 (818) 에서 챔버 하우징 (804) 의 내측 벽 내부에 고정되게 부착된다. 이동식 차폐 플레이트 (858) 의 외측 부분은 하부 전극 (806) 의 모든 수직 포지션들에서 슬롯 내에 남아 있다.
- [0145] 도시된 실시 예에서, 래비린스 시일 (848) 은 래비린스 홈 (860) 을 규정하는 챔버 벽 플레이트 (818) 내의 개구부 (812) 의 주변부에서 챔버 벽 플레이트 (818) 의 내측 표면에 부착된 고정된 차폐부 (856) 를 포함한다. 이동식 차폐 플레이트 (858) 는 부착되고 RF 바이어스 하우징 암 (834) 으로부터 방사상으로 연장하고, 여기서 암 (834) 은 챔버 벽 플레이트 (818) 내의 개구부 (812) 를 통과한다. 이동식 차폐 플레이트 (858) 는 제 1 갭만큼 고정된 차폐부 (856) 로부터 이격되고 그리고 제 2 갭만큼 챔버 벽 플레이트 (818) 의 내부 표면으로부터 이격되는 동안 래비린스 홈 (860) 내로 연장하여, 캔틸레버 어셈블리로 하여금 수직으로 이동하게 한다. 래비

린스 시일 (848) 은 진공 챔버 내부 (805) 로 벨로우즈 (850) 로부터 쪼개진 (spall) 입자들의 마이그레이션 (migration) 을 차단하고, 라디칼들이 후속하여 쪼개지는 증착물들을 형성할 수 있는 벨로우즈 (850) 로 프로세스 가스 플라즈마로부터의 라디칼들이 마이그레이팅하는 것을 차단한다.

[0146] 도 8a는 캔틸레버 어셈블리가 높은 위치에 있을 때 (작은 갭 (810 a)) RF 바이어스 하우징 암 (834) 위의 래비린스 홈 (860) 의 보다 높은 위치에 있는 이동식 차폐 플레이트 (858) 를 도시한다. 도 8c는 캔틸레버 어셈블리가 낮은 위치에 있을 때 (큰 갭 (810c)) RF 바이어스 하우징 암 (834) 위의 래비린스 홈 (860) 의 하부 위치에 있는 이동식 차폐 플레이트 (858) 를 도시한다. 도 8b는 캔틸레버 어셈블리가 중간 위치에 있을 때 (중간 갭 (810b)) 래비린스 홈 (860) 내 중립 또는 중간 위치에 있는 이동식 차폐 플레이트 (858) 를 도시한다. 래비린스 시일 (848) 이 RF 바이어스 하우징 암 (834) 을 중심으로 대칭인 것으로 도시되지만, 다른 실시 예들에서, 래비린스 시일 (848) 은 RF 바이어스 암 (834) 을 중심으로 비대칭적일 수도 있다.

[0147] 도 9는 진공 이송 모듈 (Vacuum Transfer Module; VTM) (938) 과 인터페이싱하는 다양한 모듈들을 갖는 반도체 프로세스 클러스터 아키텍처를 도시한다. 복수의 저장 설비들 및 프로세싱 모듈들 사이에서 기관들을 "이송"하기 위한 이송 모듈들의 배열은 "클러스터 톨 아키텍처" 시스템으로 지칭될 수도 있다. 로드 록 또는 이송 모듈로 또한 공지된 에어록 (930) 은, 다양한 제조 프로세스들을 수행하도록 개별적으로 최적화될 수도 있는, 4 개의 프로세싱 모듈들 (920a 내지 920d) 을 갖는 VTM (938) 에 도시된다. 예로서, 프로세싱 모듈들 (920a 내지 920d) 은 기관 예칭, 증착, 이온 주입, 기관 세정, 스퍼터링, 및/또는 다른 반도체 프로세스들뿐만 아니라 레이저 계측 및 다른 결함 검출 및 결함 식별 방법들을 수행하도록 구현될 수도 있다. 프로세싱 모듈들 중 하나 이상 (920a 내지 920d 중 임의의 프로세싱 모듈) 이 본 명세서에 개시된 바와 같이, 즉, 기관들 내로 리세스된 피쳐들을 예칭하기 위해 구현될 수도 있다. 에어록 (930) 및 프로세스 모듈들 (920a 내지 920d) 은 "스테이션들"로 지칭될 수도 있다. 스테이션 각각은 스테이션을 VTM (938) 에 인터페이싱하는 패킷 (facet) (936) 을 갖는다. 패킷들 내부에서, 센서 1 내지 센서 18은 각각의 스테이션들 사이에서 이동할 때 기관 (926) 의 통과를 검출하기 위해 사용된다.

[0148] 로봇 (922) 은 스테이션들 사이에서 기관들을 이송한다. 일 구현 예에서, 로봇은 하나의 암을 가질 수도 있고, 또 다른 구현 예에서, 로봇은 2 개의 암들을 가질 수도 있고, 암 각각은 이송을 위해 기관들을 픽킹하기 (pick) 위한 엔드 이펙터 (end effector) (924) 를 갖는다. ATM (Atmospheric Transfer Module) (940) 의 프론트-엔드 로봇 (932) 은 카세트 또는 LPM (Load Port Module) (942) 의 FOU (Front Opening Unified Pod) (934) 로부터 에어록 (930) 으로 기관들을 이송하기 위해 사용될 수도 있다. 프로세스 모듈들 (920a 내지 920d) 내부의 모듈 중심 (928) 은 기관을 배치하기 위한 일 위치일 수도 있다. ATM (940) 내의 정렬기 (aligner) (944) 는 기관들을 정렬하기 위해 사용될 수도 있다.

[0149] 예시적인 프로세싱 방법에서, 기관은 LPM (924) 내의 FOU들 (934) 중 하나에 배치된다. 프론트-엔드 로봇 (932) 은 FOU (934) 로부터 기관 (926) 으로 하여금 예칭되거나, 증착되거나, 달리 프로세싱되기 전에 적절히 센터링되게 하는, 정렬기 (944) 로 기관을 이송한다. 정렬된 후, 기관은 프론트-엔드 로봇 (932) 에 의해 에어록 (930) 내로 이동된다. 에어록 모듈들이 ATM과 VTM 사이의 분위기를 매칭하는 능력을 갖기 때문에, 기관은 손상되지 않고 2 개의 압력 분위기들 사이에서 이동할 수 있다. 에어록 모듈 (930) 로부터, 기관은 로봇 (922) 에 의해 VTM (938) 을 통해 그리고 프로세스 모듈들 (920a 내지 920d) 중 하나, 예를 들어 프로세스 모듈 (920a) 내로 이동된다. 이 기관 이동을 달성하기 위해, 로봇 (922) 은 암들 각각 상의 엔드 이펙터들 (924) 을 사용한다. 프로세스 모듈 (920a) 에서, 기관은 기술된 바와 같이 예칭을 겪는다. 다음에, 로봇 (922) 은 프로세싱 모듈 (920a) 로부터 다음 목표된 위치로 기관을 이동시킨다.

[0150] 기관 이동을 제어하는 컴퓨터는 클러스터 아키텍처에 국부적일 수 있거나, 제작 현장에서 클러스터 아키텍처 외부에, 또는 원격 위치에 위치될 수 있고, 네트워크를 통해 클러스터 아키텍처에 연결될 수 있다는 것을 주의해야 한다.

[0151] 증착 장치들

[0152] 도 10은 어느 하나가 플라즈마 강화될 수도 있는, ALD 및/또는 CVD를 사용하여 재료를 증착하도록 사용될 수도 있는 프로세스 스테이션 (1000) 의 실시 예를 개략적으로 도시한다. 간략함을 위해, 프로세싱 스테이션 (1000) 은 저압 분위기를 유지하기 위한 프로세스 챔버 바디 (1002) 를 갖는 독립형 프로세스 스테이션으로서 도시된다. 그러나, 복수의 프로세스 스테이션들 (1000) 이 공통 프로세스 톨 환경에 포함될 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 또한, 일부 실시 예들에서, 이하에 상세히 논의된 하드웨어 파라미터들을 포함하는, 프로세스 스테이션 (1000) 의 하나 이상의 하드웨어 파라미터들이 하나 이상의 컴퓨터 제어기들에 의해 프로그램적으로

조정될 수도 있다는 것이 인식될 것이다.

- [0153] 프로세스 스테이션 (1000) 은 분배 샤워헤드 (1006) 로 프로세스 가스들을 전달하기 위해 반응 물질 전달 시스템 (1001) 과 유체로 연통한다 (fluidly communicate). 반응 물질 전달 시스템 (1001) 은 샤워헤드 (1006) 로 전달을 위해, 프로세스 가스들을 블렌딩 (blending) 및/또는 컨디셔닝하기 (conditioning) 위한 혼합 용기 (mixing vessel) (1009) 를 포함한다. 하나 이상의 혼합 용기 유입구 밸브들 (1020) 은 프로세스 가스들의 혼합 용기 (1004) 로의 도입을 제어할 수도 있다. 유사하게, 샤워헤드 유입구 밸브 (1005) 는 샤워헤드 (1006) 로의 프로세스 가스들의 도입을 제어할 수도 있다.
- [0154] BTBAS와 같은 일부 반응 물질들은 기화 및 프로세스 스테이션으로의 후속 전달 전에 액체 형태로 저장될 수도 있다. 예를 들어, 도 10의 실시 예는 혼합 용기 (1004) 로 공급될 액체 반응 물질을 기화시키기 위한 기화 지점 (1003) 을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 기화 지점 (1003) 은 가열된 기화기일 수도 있다. 이러한 기화기들로부터 생성된 반응 물질 증기가 다운스트림 (downstream) 전달 파이프링 (piping) 에서 응결될 수도 있다. 응결된 반응 물질로의 양립할 수 없는 가스들의 노출은 작은 입자들을 생성할 수도 있다. 이들 작은 입자들은 파이프를 막고 (clog), 밸브 동작을 방해하고 (impede), 기관들을 오염시키는, 등을 할 수도 있다. 이들 문제들을 해결하기 위한 일부 접근법들은 잔류 반응 물질을 제거하기 위해 전달 파이프를 스위핑 (sweep) 및/또는 배기하는 것을 수반한다. 그러나, 전달 파이프를 스위핑하는 것은 프로세스 스테이션 사이클 시간을 증가시킬 수도 있어, 프로세스 스테이션 쓰루풋을 저하시킨다. 따라서, 일부 실시 예들에서, 기화 지점 (1003) 의 다운스트림 전달 파이프는 열 추적될 수도 있다. 일부 예들에서, 혼합 용기 (1004) 는 또한 열 추적될 수도 있다. 일 비-제한적인 예에서, 기화 지점 (1003) 의 다운스트림 파이프는 혼합 용기 (1004) 에서 대략 100 °C로부터 대략 150 °C로 연장하는, 상승하는 온도 프로파일을 갖는다.
- [0155] 일부 실시 예들에서, 반응 물질 액체는 액체 주입기에서 기화될 수도 있다. 예를 들어, 액체 주입기는 액체 반응 물질의 펄스들을 혼합 용기의 업스트림 (upstream) 의 캐리어 가스 스트림 내로 주입할 수도 있다. 일 시나리오에서, 액체 주입기는 보다 높은 압력으로부터 보다 낮은 압력으로 액체를 플래싱함으로써 (flash) 반응 물질을 기화시킬 수도 있다. 또 다른 시나리오에서, 액체 주입기는 가열된 전달 파이프 내에서 후속하여 기화되는 분산된 (disperse) 마이크로 액적들 (microdroplets) 로 액체를 원자화할 수도 있다. 보다 작은 액적들은 보다 큰 액적들보다 보다 빠르게 기화될 수도 있고, 액체 주입과 완전한 기화 사이의 지연을 감소시킨다는 것이 인식될 것이다. 보다 빠른 기화는 기화 지점 (1003) 으로부터 다운스트림의 파이프 길이를 감소시킬 수도 있다. 일 시나리오에서, 액체 주입기는 혼합 용기 (1004) 에 바로 장착될 수도 있다. 또 다른 시나리오에서, 액체 주입기는 샤워헤드 (1006) 에 직접 장착될 수도 있다.
- [0156] 일부 실시 예들에서, 기화 지점 (1003) 의 업스트림의 액체 유량 제어기 (liquid flow controller; LFC) 가 기화 및 프로세스 스테이션 (1000) 으로의 전달을 위해 액체의 질량 유량 (mass flow) 를 제어하기 위해 제공될 수도 있다. 예를 들어, LFC는 LFC의 다운스트림에 위치한 열적 질량 유량 미터 (mass flow meter; MFM) 를 포함할 수도 있다. 이어서 LFC의 플런저 (plunger) 밸브가 MFM과 전기적으로 통신하는 PID (proportional-integral-derivative) 제어기에 의해 제공된 피드백 제어 신호들에 응답하여 조정될 수도 있다. 그러나, 이는 피드백 제어를 사용하여 액체 플로우를 안정화시키기 위해 1 초 이상 소요될 수도 있다. 이는 액체 반응 물질을 도즈하기 (dose) 위한 시간을 연장할 수도 있다. 따라서, 일부 실시 예들에서, LFC는 피드백 제어 모드와 직접 제어 모드 사이에서 동적으로 스위칭될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, LFC는 LFC 및 PID 제어기의 센싱 튜브를 디스에이블함으로써 (disable) 피드백 제어 모드로부터 직접 제어 모드로 동적으로 스위칭될 수도 있다.
- [0157] 샤워헤드 (1006) 는 기관 (1012) 을 향해 프로세스 가스들을 분배한다. 도 10에 도시된 실시 예에서, 기관 (1012) 은 샤워헤드 (1006) 밑에 위치되고 페데스탈 (1008) 상에 놓인 것으로 도시된다. 샤워헤드 (1006) 는 임의의 적합한 형상을 가질 수도 있고, 기관 (1012) 으로 프로세스 가스들을 분배하기 위해 임의의 적합한 수 및 배열의 포트들을 가질 수도 있다는 것이 인식될 것이다.
- [0158] 일부 실시 예들에서, 마이크로볼륨 (microvolume) (1007) 이 샤워헤드 (1006) 밑에 위치된다. 프로세스 스테이션의 전체 볼륨이 아니라 마이크로볼륨에서 ALD 및/또는 CVD 프로세스를 수행하는 것은 반응 물질 노출 및 스위핑 시간들을 감소시킬 수도 있고, 프로세스 조건들 (예를 들어, 압력, 온도, 등) 을 변경하기 위한 시간들을 감소시킬 수도 있고, 프로세스 스테이션 로봇들의 프로세스 가스들로의 노출을 제한할 수도 있는, 등을 할 수도 있다. 예시적인 마이크로볼륨 사이즈들은 이로 제한되는 것은 아니지만, 0.1 리터 내지 2 리터의 체적들을 포함한다. 이 마이크로볼륨은 또한 생산성 쓰루풋에 영향을 준다. 사이클 당 증착 레이트가 떨어지지만, 사이클

시간 또한 동시에 감소한다. 특정한 경우들에서, 후자의 효과는 미리 결정된 (given) 타겟 두께의 막에 대한 모듈의 전체 쓰루풋을 개선하기에 충분히 극적이다.

[0159] 일부 실시 예들에서, 페테스탈 (1008) 은 기관 (1012) 을 마이크로볼륨 (1007) 에 노출하고 그리고/또는 마이크로볼륨 (1007) 의 체적을 가변시키도록 상승되거나 하강될 수도 있다. 예를 들어, 기관 이송 페이지에서, 페테스탈 (1008) 은 기관 (1012) 으로 하여금 페테스탈 (1008) 상으로 로딩되게 하도록 하강될 수도 있다. 증착 프로세스 페이지 동안, 페테스탈 (1008) 은 마이크로볼륨 (1007) 내에 기관 (1012) 을 포지셔닝시키도록 (position) 상승될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 마이크로볼륨 (1007) 은 증착 프로세스 동안 고 플로우 (high flow) 임피던스 (impedance) 의 영역을 생성하도록 페테스탈 (1008) 의 일부뿐만 아니라 기관 (1012) 을 완전히 인클로징할 (enclose) 수도 있다.

[0160] 선택 가능하게, 페테스탈 (1008) 은 마이크로볼륨 (1007) 내에서 프로세스 압력, 반응 물질 농도, 등을 조절하기 (modulate) 위해 증착 프로세스의 부분들 동안 하강 및/또는 상승될 수도 있다. 프로세스 챔버 바디 (1002) 가 증착 프로세스 동안 기준 압력으로 유지되는 일 시나리오에서, 페테스탈 (1008) 을 하강시키는 것은 마이크로볼륨 (1007) 으로 하여금 배기되게 할 수도 있다. 마이크로볼륨 대 프로세스 챔버 체적의 예시적인 비들은 이로 제한되는 것은 아니지만, 1:900 내지 1:10의 체적 비들을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 페테스탈 높이는 적합한 컴퓨터 제어기에 의해 프로그램적으로 조정될 수도 있다는 것이 인식될 것이다.

[0161] 또 다른 시나리오에서, 페테스탈 (1008) 의 높이를 조정하는 것은 플라스마 밀도로 하여금 증착 프로세스에 포함된 플라스마 활성화 및/또는 처리 사이클들 동안 가변되게 할 수도 있다. 증착 프로세스 페이지의 종료 시, 페테스탈 (1008) 은 페테스탈 (1008)로부터 기관 (1012) 의 제거를 허용하도록 또 다른 기관 이송 페이지 동안 하강될 수도 있다.

[0162] 본 명세서에 기술된 예시적인 마이크로볼륨 변동들이 높이 조정 가능한 페테스탈을 참조하지만, 일부 실시 예들에서, 샤워헤드 (1006) 의 포지션은 마이크로볼륨 (1007) 의 체적을 가변시키도록 페테스탈 (1008) 에 대해 조정될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 또한, 페테스탈 (1008) 및/또는 샤워헤드 (1006) 의 수직 포지션은 본 개시의 범위 내의 임의의 적합한 메커니즘에 의해 가변될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 일부 실시 예들에서, 페테스탈 (1008) 은 기관 (1012) 의 배향을 회전시키기 위한 회전 축을 포함할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 이들 예시적인 조정들 중 하나 이상이 하나 이상의 적합한 컴퓨터 제어기들에 의해 프로그램적으로 수행될 수도 있다는 것이 인식될 것이다.

[0163] 도 10에 도시된 실시 예를 다시 참조하면, 샤워헤드 (1006) 및 페테스탈 (1008) 은 플라스마에 전력을 공급하기 위해 RF 전력 공급부 (1014) 및 매칭 네트워크 (1016) 와 전기적으로 통신한다. 일부 실시 예들에서, 플라스마 에너지는 프로세스 스테이션 압력, 가스 농도, RF 소스 전력, RF 소스 주파수 및 플라스마 전력 펄스 타이밍 중 하나 이상을 제어함으로써 제어될 수도 있다. 예를 들어, RF 전력 공급부 (1014) 및 매칭 네트워크 (1016) 는 목표된 조성의 라디칼 종을 갖는 플라스마를 형성하도록 임의의 적합한 전력에서 동작될 수도 있다. 적합한 전력들의 예들은 상기에 포함되었다. 유사하게, RF 전력 공급부 (1014) 는 임의의 적합한 주파수의 RF 전력을 제공할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, RF 전력 공급부 (1014) 는 고주파수 RF 전력 소스 및 저주파수 RF 전력 소스를 서로 독립적으로 제어하도록 구성될 수도 있다. 예시적인 저주파수 RF 주파수들은, 이로 제한되는 것은 아니지만, 50 kHz 내지 900 kHz의 주파수들을 포함할 수도 있다. 예시적인 고주파수 RF 주파수들은, 이로 제한되는 것은 아니지만, 1.8 MHz 내지 2.45 GHz의 주파수들을 포함할 수도 있다. 임의의 적합한 파라미터들은 표면 반응들을 위한 플라스마 에너지를 제공하도록 이산적으로 (discretely) 또는 연속적으로 (continuously) 조절될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 일 비-제한적인 예에서, 플라스마 전력은 연속적으로 전력 공급된 플라스마들에 대해 기관 표면과의 이온 충돌 (ion bombardment) 을 감소시키도록 간헐적으로 펄스될 수도 있다.

[0164] 일부 실시 예들에서, 플라스마는 하나 이상의 플라스마 모니터들에 의해 인 시츄 모니터링될 수도 있다. 일 시나리오에서, 플라스마 전력은 하나 이상의 전압 센서들, 전류 센서들 (예를 들어, VI 프로브들) 에 의해 모니터링될 수도 있다. 또 다른 시나리오에서, 플라스마 밀도 및/또는 프로세스 가스 농도는 하나 이상의 광 방출 분광법 (optical emission spectroscopy; OES) 센서들에 의해 측정될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 하나 이상의 플라스마 파라미터들은 이러한 인 시츄 플라스마 모니터들로부터의 측정 값들에 기초하여 프로그램적으로 조정될 수도 있다. 예를 들어, OES 센서는 플라스마 전력의 프로그램적 제어를 제공하기 위해 피드백 루프 (feedback loop) 내에서 사용될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 다른 모니터들이 플라스마 및 다른 프로세스 특성들을 모니터링하도록 사용될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 이러한 모니터들은 이로 제한되는 것은 아니지만, 적외선 (IR) 모니터들, 음향 모니터들 및 압력 트랜스듀서들 (transducers) 을 포함할 수도 있다.

- [0165] 일부 실시 예들에서, 플라즈마는 입력/출력 제어 (input/output control; IOC) 시퀀싱 인스트럭션들을 통해 제어될 수도 있다. 일 예에서, 플라즈마 프로세스 페이지에 대한 플라즈마 조건들을 설정하기 위한 인스트럭션들은 증착 프로세스 레시피의 대응하는 플라즈마 활성화 레시피 페이지에 포함될 수도 있다. 일부 경우들에서, 프로세스 레시피 페이지들은 증착 프로세스 페이지에 대한 모든 인스트럭션들이 해당 프로세스 페이지와 동시에 실행되도록 순차적으로 배열될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 하나 이상의 플라즈마 파라미터들을 설정하기 위한 인스트럭션들은 플라즈마 프로세스 페이지에 선행하는 레시피 페이지에 포함될 수도 있다. 예를 들어, 제 1 레시피 페이지는 불활성 가스 및/또는 반응 물질 가스의 플로우 레이트를 설정하기 위한 인스트럭션들, 플라즈마 생성기를 전력 설정점으로 설정하기 위한 인스트럭션들 및 제 1 레시피 페이지에 대한 시간 지연 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. 제 2, 후속 레시피 페이지는 플라즈마 생성기를 인에이블 하기 (enable) 위한 인스트럭션들 및 제 2 레시피 페이지에 대한 시간 지연 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. 제 3 레시피 페이지는 플라즈마 생성기를 디스에이블하기 (disable) 위한 인스트럭션들 및 제 3 레시피 페이지에 대한 시간 지연 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. 이들 레시피 페이지들은 본 개시의 범위 내에서 임의의 적합한 방식으로 더 세분되고 그리고/또는 반복될 수도 있다는 것이 인식될 것이다.
- [0166] 일부 증착 프로세스들에서, 플라즈마 스트라이크들 (strikes) 은 대략 수 초 이상의 지속 기간 지속된다. 특정한 구현 예들에서, 훨씬 보다 짧은 플라즈마 스트라이크들이 사용될 수도 있다. 이들은 대략 10 ms 내지 1 초, 통상적으로 약 20 내지 80 ms일 수도 있고, 50 ms가 특정한 예이다. 이러한 매우 짧은 RF 플라즈마 스트라이크들은 플라즈마의 매우 신속한 안정화를 필요로 한다. 이를 달성하기 위해, 플라즈마 생성기는 임피던스 매칭이 특정한 전압으로 미리 설정되는 한편, 주파수가 플로팅되도록 구성될 수도 있다. 통상적으로, 고주파수 플라즈마들은 약 13.56 MHz의 RF 주파수에서 생성된다. 본 명세서에 개시된 다양한 실시 예들에서, 주파수는 이 표준 값과 상이한 값으로 플로팅되게 된다. 임피던스 매칭을 미리 결정된 전압으로 고정하는 동안 주파수가 플로팅하게 함으로써, 플라즈마는 일부 타입들의 증착 사이클들과 연관된 매우 짧은 플라즈마 스트라이크들을 사용할 때 중요할 수도 있는 결과를 훨씬 보다 신속하게 안정화할 수 있다.
- [0167] 일부 실시 예들에서, 페테스탈 (1008) 은 히터 (1010) 를 통해 온도 제어될 수도 있다. 또한, 일부 실시 예들에서, 증착 프로세스 스테이션 (1000) 에 대한 압력 제어가 버터플라이 밸브 (1018) 에 의해 제공될 수도 있다. 도 10의 실시 예에 도시된 바와 같이, 버터플라이 밸브 (1018) 는 다운스트림 진공 펌프 (미도시) 에 의해 제공된 진공을 쓰로틀한다 (throttle). 그러나, 일부 실시 예들에서, 프로세스 스테이션 (1000) 의 압력 제어는 또한 프로세스 스테이션 (1000) 으로 도입된 하나 이상의 가스들의 플로우 레이트를 가변시킴으로써 조정될 수도 있다.
- [0168] 도 11은 인바운드 로드 록 (inbound load lock) (1102) 및 아웃바운드 로드 록 (outbound load lock) (1004) 을 갖는 멀티-스테이션 프로세싱 툴 (1100) 의 실시 예의 개략도를 도시하고, 인바운드 로드 록 (1102) 및 아웃바운드 로드 록 (1104) 중 하나 또는 모두는 리모트 플라즈마 소스를 포함할 수도 있다. 대기압에서 로봇 (1106) 은, 카세트로부터 포드 (pod) (1108) 를 통해 인바운드 로드록 (1102) 으로 로딩된 웨이퍼들을 대기 포트 (1110) 를 통해 이동시키도록 구성된다. 웨이퍼는 인바운드 로드록 (1102) 내의 페테스탈 (1112) 상에 로봇 (1106) 에 의해 배치되고, 대기 포트 (1110) 는 폐쇄되고, 로드록은 펌핑 다운된다 (pump down). 인바운드 로드 록 (1102) 이 리모트 플라즈마 소스를 포함하면, 웨이퍼는 프로세싱 챔버 (1114) 내로 도입되기 전에 로드록 내에서 리모트 플라즈마 처리에 노출될 수도 있다. 또한, 웨이퍼는 또한 예를 들어, 수분 및 흡착된 가스들을 제거하기 위해 인바운드 로드록 (1102) 내에서 또한 가열될 수도 있다. 다음에, 프로세싱 챔버 (1114) 로의 챔버 이송 포트 (1116) 가 개방되고, 또 다른 로봇 (미도시) 이 프로세싱을 위한 반응기 내에 도시된 제 1 스테이션의 페테스탈 상의 반응기 내로 웨이퍼를 배치한다. 도 11에 도시된 실시 예는 로드 록들을 포함하지만, 일부 실시 예들에서, 프로세스 스테이션 내로 웨이퍼의 직접 진입이 제공될 수도 있다는 것이 인식될 것이다.
- [0169] 도시된 프로세싱 챔버 (1114) 는 도 11에 도시된 실시 예에서 1 내지 4로 번호가 붙여진, 4 개의 프로세스 스테이션들을 포함한다. 스테이션 각각은 가열된 페테스탈 (스테이션 1에 대해 (1118) 로 도시됨), 및 가스 라인 유입구들을 갖는다. 일부 실시 예들에서, 프로세스 스테이션 각각이 상이한 목적들 또는 복수의 목적들을 가질 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 도시된 프로세싱 챔버 (1114) 는 4 개의 스테이션들을 포함하지만, 본 개시에 따른 프로세싱 챔버는 임의의 적합한 수의 스테이션들을 가질 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서, 프로세싱 챔버는 5 개 이상의 스테이션들을 가질 수도 있는 반면, 다른 실시 예들에서 프로세싱 챔버는 3 개 이하의 스테이션들을 가질 수도 있다.
- [0170] 도 11은 또한 프로세싱 챔버 (1114) 내에서 웨이퍼들을 이송하기 위한 웨이퍼 핸들링 시스템 (1190) 의 실시 예를 도시한다. 일부 실시 예들에서, 웨이퍼 핸들링 시스템 (1190) 은 다양한 프로세스 스테이션들 사이 그리고/

또는 프로세스 스테이션과 로드 록 사이에서 웨이퍼들을 이송할 수도 있다. 임의의 적합한 웨이퍼 핸들링 시스템이 채용될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 비-제한적인 예들은 웨이퍼 캐로절들(carousels) 및 웨이퍼 핸들링 로봇들을 포함한다. 도 11은 또한 프로세스 툴(1100)의 프로세스 조건들 및 하드웨어 상태들을 제어하도록 채용된 시스템 제어기(1150)의 실시 예를 도시한다. 시스템 제어기(1150)는 하나 이상의 메모리 디바이스들(1156), 하나 이상의 대용량 저장 디바이스들(1154), 및 하나 이상의 프로세서들(1152)을 포함할 수도 있다. 프로세서(1152)는 CPU 또는 컴퓨터, 아날로그 입력/출력 연결부, 및/또는 디지털 입력/출력 연결부, 스텝퍼 모터 제어 보드들, 등을 포함할 수도 있다.

[0171] 도 12은 특정한 실시 예들에 따른 박막 증착 프로세스들을 수행하기에 적합한 프로세싱 시스템의 블록도이다. 시스템(1200)은 이송 모듈(1203)을 포함한다. 이송 모듈(1203)은 다양한 반응기 모듈들 사이에서 이동될 때 프로세싱될 기관들의 오염 위험을 최소화하도록 클린, 가압된 분위기를 제공한다. 이송 모듈(1203)상에 특정한 실시 예들에 따라 ALD 및/또는 CVD를 각각 수행할 수 있는, 2개의 멀티-스테이션 반응기들(1209 및 1210)이 장착된다. 반응기들(1209 및 1210)은 개시된 실시 예들에 따라 순차적으로 또는 비-순차적으로 동작들을 수행할 수도 있는 복수의 스테이션들(1211, 1213, 1215, 및 1217)을 포함할 수도 있다. 스테이션들은 가열된 페테스탈 또는 기관 지지부, 하나 이상의 가스 유입구들 또는 샤워헤드 또는 분산(dispersion) 플레이트를 포함할 수도 있다.

[0172] 또한, 플라스마 또는 화학적(비-플라스마) 사전-세정들, 또는 개시된 방법들과 관련하여 기술된 임의의 다른 프로세스들을 수행할 수 있는 하나 이상의 단일 스테이션 모듈들 또는 멀티-스테이션 모듈들(1207)이 이송 모듈(1203)상에 장착될 수도 있다. 모듈(1207)은 일부 경우들에서, 예를 들어, 증착 프로세스를 위해 기관을 준비하도록 다양한 처리들에 사용될 수도 있다. 모듈(1207)은 또한 에칭 또는 폴리싱과 같은 다양한 다른 프로세스들을 수행하도록 설계/구성될 수도 있다. 시스템(1200)은 또한 웨이퍼들이 프로세싱 전후에 저장되는, 하나 이상의 웨이퍼 소스 모듈들(1201)을 포함한다. 대기 이송 챔버(1219)의 대기 로봇(미도시)가 소스 모듈들(1201)로부터 로드 록들(loadlocks)(1221)로 웨이퍼들을 먼저 제거할 수도 있다. 이송 모듈(1203)의 웨이퍼 이송 디바이스(일반적으로 로봇 암 유닛)가 로드 록들(1221)로부터 이송 모듈(1203)상에 장착된 모듈들로 그리고 이들 사이에 웨이퍼들을 이동시킨다.

[0173] 다양한 실시 예들에서, 시스템 제어기(1229)가 본 명세서에 기술된 증착 동안 프로세스 조건들을 제어하기 위해 채용된다.

[0174] 복수의 프로세스 스테이션들이 멀티-스테이션 프로세싱 툴의 실시 예의 개략도를 도시하는, 도 13에 도시된 바와 같이, 멀티-스테이션 프로세싱 툴 환경에 포함될 수도 있다는 것이 인식될 수도 있다. 프로세싱 장치(1300)는, 각각 특정한 프로세스 스테이션에서, 페테스탈과 같은 웨이퍼 홀더 내에 홀딩된 기관 상에서 프로세싱 동작들을 수행하도록 사용될 수도 있는, 복수의 제조 프로세스 스테이션들을 포함하는 집적 회로 제조 챔버(1363)를 채용한다. 도 13의 실시 예에서, 4개의 프로세스 스테이션들(1351, 1352, 1353, 및 1354)을 갖는 집적 회로 제조 챔버(1363)가 도시된다. 다른 유사한 멀티-스테이션 프로세싱 장치들은 구현 예, 그리고 예를 들어, 병렬 웨이퍼 프로세싱의 목표된 레벨, 사이즈/공간 제약들, 비용 제약들, 등에 따라 보다 많거나 보다 적은 프로세스 스테이션들을 가질 수도 있다. 또한, 웨이퍼 카세트(도 13에 미도시)로부터 기관들을 로딩 포트(1380)로부터 집적 회로 제조 챔버(1363)내로, 그리고 프로세스 스테이션들(1351, 1352, 1353, 및 1354)중 하나 상으로 이동시키도록 구성된, 시스템 제어기(1390)의 제어 하에 동작할 수도 있는 기관 핸들러 로봇(1375)이 도 2에 도시된다.

[0175] 도 13은 또한 프로세싱 장치(1300)의 프로세스 조건들 및 하드웨어 상태들을 제어하도록 채용된 시스템 제어기(1390)의 실시 예를 도시한다. 시스템 제어기(1390)는 본원에 개시된 바와 같이, 하나 이상의 메모리 디바이스들, 하나 이상의 대용량 저장 디바이스들, 및 하나 이상의 프로세서들을 포함할 수도 있다.

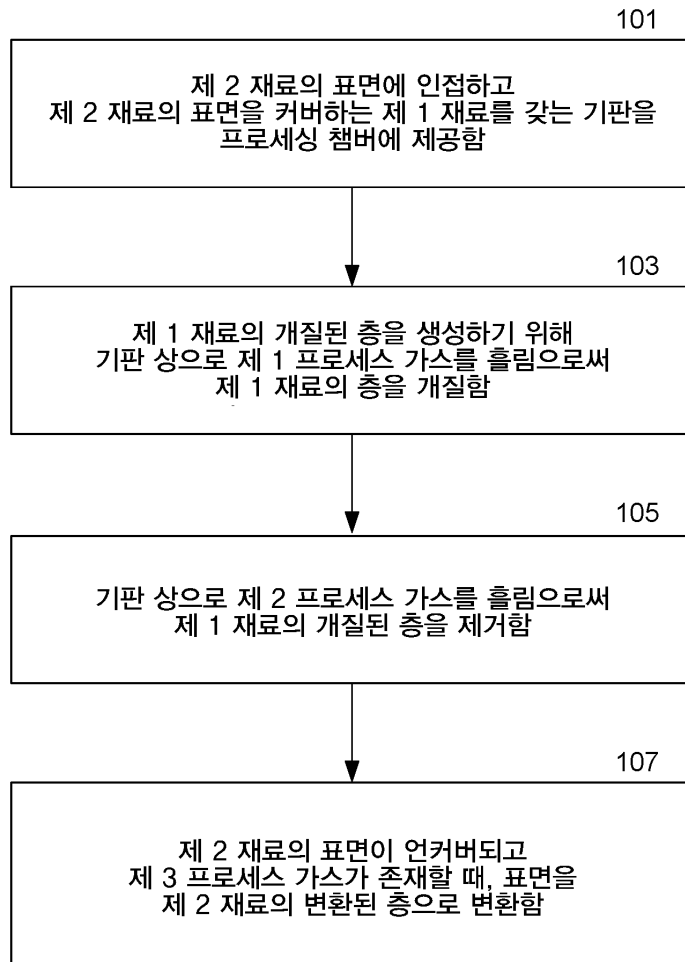
[0176] RF 서브 시스템(1395)은 RF 전력을 생성하고 무선 주파수 입력 포트들(1367)을 통해 집적 회로 제조 챔버(1363)로 RF 전력을 전달할 수도 있다. 특정한 실시 예들에서, 집적 회로 제조 챔버(1363)는 무선 주파수 입력 포트들(1367)에 더하여 입력 포트들(도 13에 도시되지 않은 부가적인 입력 포트들)을 포함할 수도 있다. 따라서, 집적 회로 제조 챔버(1363)는 8개의 RF 입력 포트들을 활용할 수도 있다. 특정한 실시 예들에서, 집적 회로 제조 챔버(165)의 프로세스 스테이션들(1351 내지 1354)은 각각 제 1 입력 포트 및 제 2 입력 포트들을 활용할 수도 있고, 제 1 입력 포트가 제 1 주파수를 갖는 신호를 전달할 수도 있고 제 2 입력 포트가 제 2 주파수를 갖는 신호를 전달할 수도 있다. 듀얼 주파수들의 사용은 향상된 플라스마 특성들을 야기할 수도 있다.

- [0177] 상기 기술된 바와 같이, 하나 이상의 프로세스 스테이션들이 멀티-스테이션 프로세싱 툴에 포함될 수도 있다. 도 14은 인바운드 로드 록 (inbound load lock) (1402) 및 아웃바운드 로드 록 (outbound load lock) (1404) 을 갖는 멀티-스테이션 프로세싱 툴 (1400) 의 실시 예의 개략도를 도시하고, 인바운드 로드 록 (1402) 및 아웃바운드 로드 록 (1404) 중 하나 또는 모두는 리모트 플라즈마 소스를 포함할 수도 있다. 대기압에서, 로봇 (1406) 이 카세트로부터 포드 (1408) 를 통해 로딩된 기판들 또는 웨이퍼들을 대기 포트 (1410) 를 통해 인바운드 로드 록 (1402) 으로 이동시키도록 구성된다. 기판은 인바운드 로드 록 (1402) 내의 페데스탈 (1412) 상에 로봇 (1406) 에 의해 배치되고, 대기 포트 (1410) 는 폐쇄되고, 로드 록은 펌핑 다운된다 (pump down). 인바운드 로드 록 (1402) 이 리모트 플라즈마 소스를 포함하는, 기판은 프로세싱 챔버 (1414) 내로 도입되기 전에 로드 록 내에서 리모트 플라즈마 처리에 노출될 수도 있다. 또한, 기판은 예를 들어, 수분 및 흡착된 가스들을 제거하기 위해 인바운드 로드 록 (1402) 내에서도 또한 가열될 수도 있다. 다음에, 프로세싱 챔버 (1414) 로의 챔버 이송 포트 (1416) 가 개방되고, 또 다른 로봇 (미도시) 이 프로세싱을 위한 반응기 내에 도시된 제 1 스테이션의 페데스탈 상의 반응기 내로 기판을 배치한다. 도 14에 도시된 실시 예는 로드 록들을 포함하지만, 일부 실시 예들에서, 프로세스 스테이션 내로 기판의 직접 진입이 제공될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 다양한 실시 예들에서, 기판이 로봇 (1406) 에 의해 페데스탈 (1412) 상에 배치될 때 소크 가스가 스테이션으로 도입된다.
- [0178] 도시된 프로세싱 챔버 (1414) 는 도 14에 도시된 실시 예에서 1 내지 4로 번호가 붙여진, 4 개의 프로세스 스테이션들을 포함한다. 스테이션 각각은 가열된 페데스탈 (스테이션 1에 대해 1418로 도시됨), 및 가스 라인 유입 구들을 갖는다. 일부 실시 예들에서, 프로세스 스테이션 각각이 상이한 목적들 또는 복수의 목적들을 가질 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서, 프로세스 스테이션은 ALD 프로세스 모드와 PEALD 프로세스 모드 사이에서 스위칭 가능할 수도 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 일부 실시 예들에서, 프로세싱 챔버 (1414) 는 ALD 및 PEALD 프로세스 스테이션들에서 하나 이상의 매칭된 쌍들을 포함할 수도 있다. 도시된 프로세싱 챔버 (1414) 는 4 개의 스테이션들을 포함하지만, 본 개시에 따른 프로세싱 챔버는 임의의 적합한 수의 스테이션들을 가질 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서, 프로세싱 챔버는 5 개 이상의 스테이션들을 가질 수도 있는 반면, 다른 실시 예들에서 프로세싱 챔버는 3 개 이하의 스테이션들을 가질 수도 있다.
- [0179] 도 14는 프로세싱 챔버 (1414) 내에서 기판들을 이송하기 위한 웨이퍼 핸들링 시스템 (1490) 의 실시 예를 도시한다. 일부 실시 예들에서, 웨이퍼 핸들링 시스템 (1490) 은 다양한 프로세스 스테이션들 사이 그리고/또는 프로세스 스테이션과 로드 록 사이에서 기판들을 이송할 수도 있다. 임의의 적합한 웨이퍼 핸들링 시스템이 채용될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 비-제한적인 예들은 웨이퍼 캐로절들 (carousels) 및 웨이퍼 핸들링 로봇들을 포함한다. 도 14는 또한 프로세스 툴 (1400) 의 프로세스 조건들 및 하드웨어 상태들을 제어하도록 채용된 시스템 제어기 (1450) 의 실시 예를 도시한다. 시스템 제어기 (1450) 는 하나 이상의 메모리 디바이스들 (1456), 하나 이상의 대용량 저장 디바이스들 (1454), 및 하나 이상의 프로세서들 (1452) 을 포함할 수도 있다. 프로세서 (1452) 는 CPU 또는 컴퓨터, 아날로그 입력/출력 연결부, 및/또는 디지털 입력/출력 연결부, 스텝퍼 모터 제어 보드들, 등을 포함할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 시스템 제어기 (1450) 는 본 명세서에 기술된 것과 같은 동작들을 수행하기 위한 머신 판독 가능 인스트럭션들을 포함한다.
- [0180] 일부 실시 예들에서, 시스템 제어기 (1450) 는 프로세스 툴 (1400) 의 액티비티들을 제어한다. 시스템 제어기 (1450) 는 대용량 저장 디바이스 (1454) 에 저장되고 메모리 디바이스 (1456) 내로 로딩되어 프로세서 (1452) 상에서 실행되는 시스템 제어 소프트웨어 (1458) 를 실행한다. 대안적으로, 제어 로직은 시스템 제어기 (1450) 에 하드코딩될 수도 있다. ASICs (applications specific integrated circuits), PLDs (programmable logic devices) (예를 들어, field-programmable gate arrays, 또는 FPGAs) 등이 이들 목적들을 위해 사용될 수도 있다. 이하의 논의에서, "소프트웨어" 또는 "코드"가 사용될 때마다, 기능적으로 비슷한 하드코딩된 로직이 그 자리에 사용될 수도 있다. 시스템 제어 소프트웨어 (1458) 는 타이밍, 가스들의 혼합물, 가스 플로우 양, 챔버 및/또는 스테이션 압력, 챔버 및/또는 스테이션 온도, 기판 온도, 타겟 전력 레벨들, RF 전력 레벨들, 기판 페데스탈, 척 및/또는 서셉터 (susceptor) 위치, 및 프로세스 툴 (1400) 에 의해 수행되는 특정한 프로세스의 다른 파라미터들을 제어하기 위한 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. 시스템 제어 소프트웨어 (1458) 는 임의의 적합한 방식으로 구성될 수도 있다. 예를 들어, 다양한 프로세스 툴 프로세스들을 실행하는데 사용된 프로세스 툴 컴포넌트들의 동작을 제어하도록 다양한 프로세스 툴 컴포넌트 서브루틴들 또는 제어 객체들이 작성될 수도 있다. 시스템 제어 소프트웨어 (1458) 는 임의의 적합한 컴퓨터 판독가능 프로그래밍 언어로 코딩될 수도 있다.

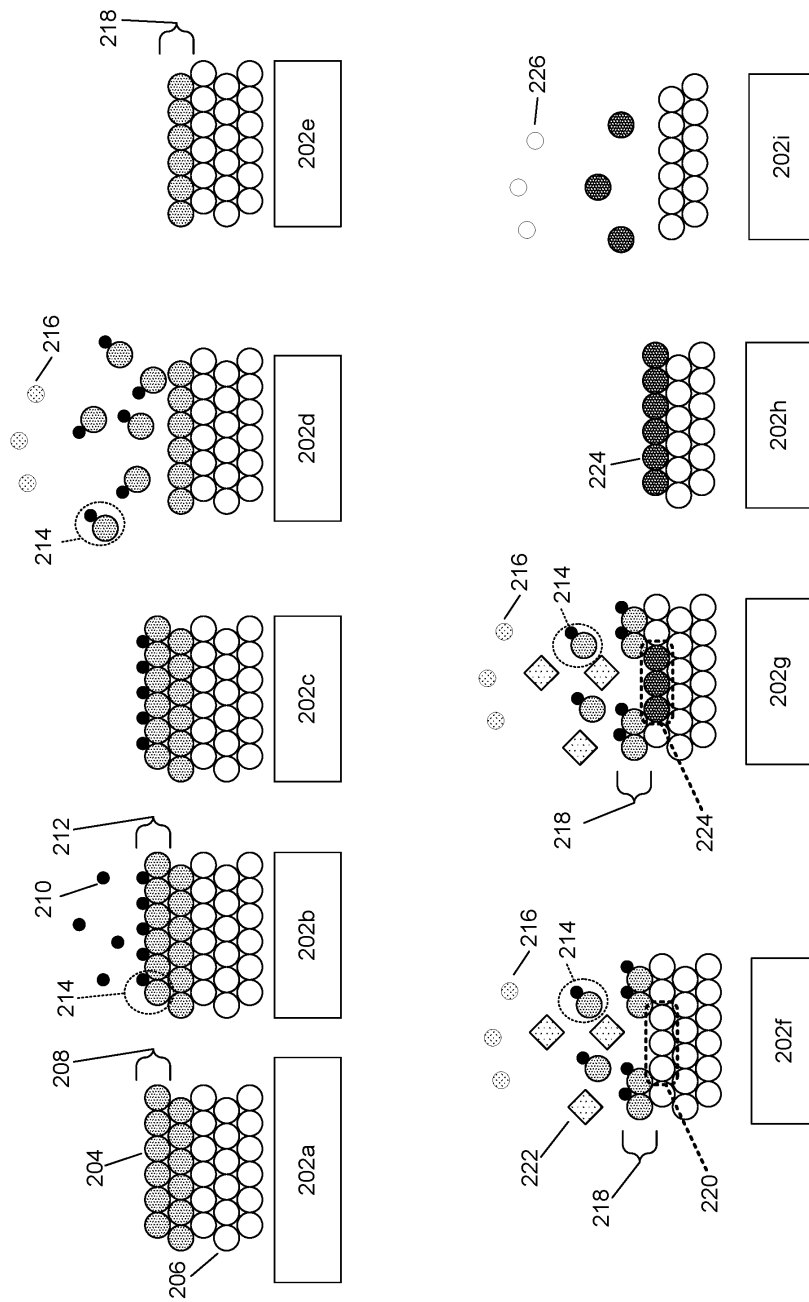
[0181] 본 명세서에 개시된 주제가 예시된 실시 예들에 대해 구체적으로 기술되었지만, 다양한 변경들, 수정들 및 적응들이 본 개시에 기초하여 이루어질 수도 있고, 본 발명의 범위 내에 있도록 의도된다는 것이 인식될 것이다. 기술이 개시된 실시 예들로 제한되지 않고, 반대로, 청구항들의 범위 내에 포함된 다양한 수정들 및 동등한 구성들을 커버하도록 의도된다는 것이 이해되어야 한다.

도면

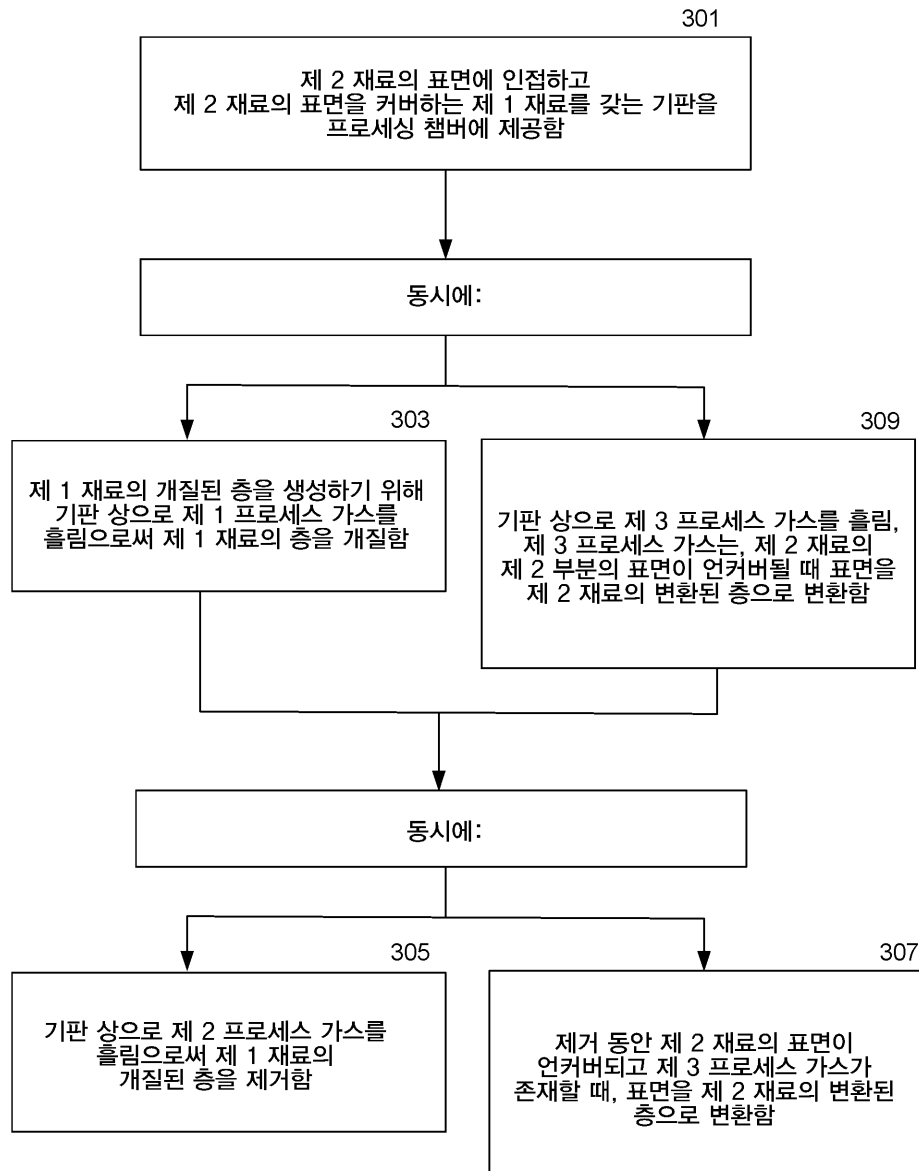
도면1



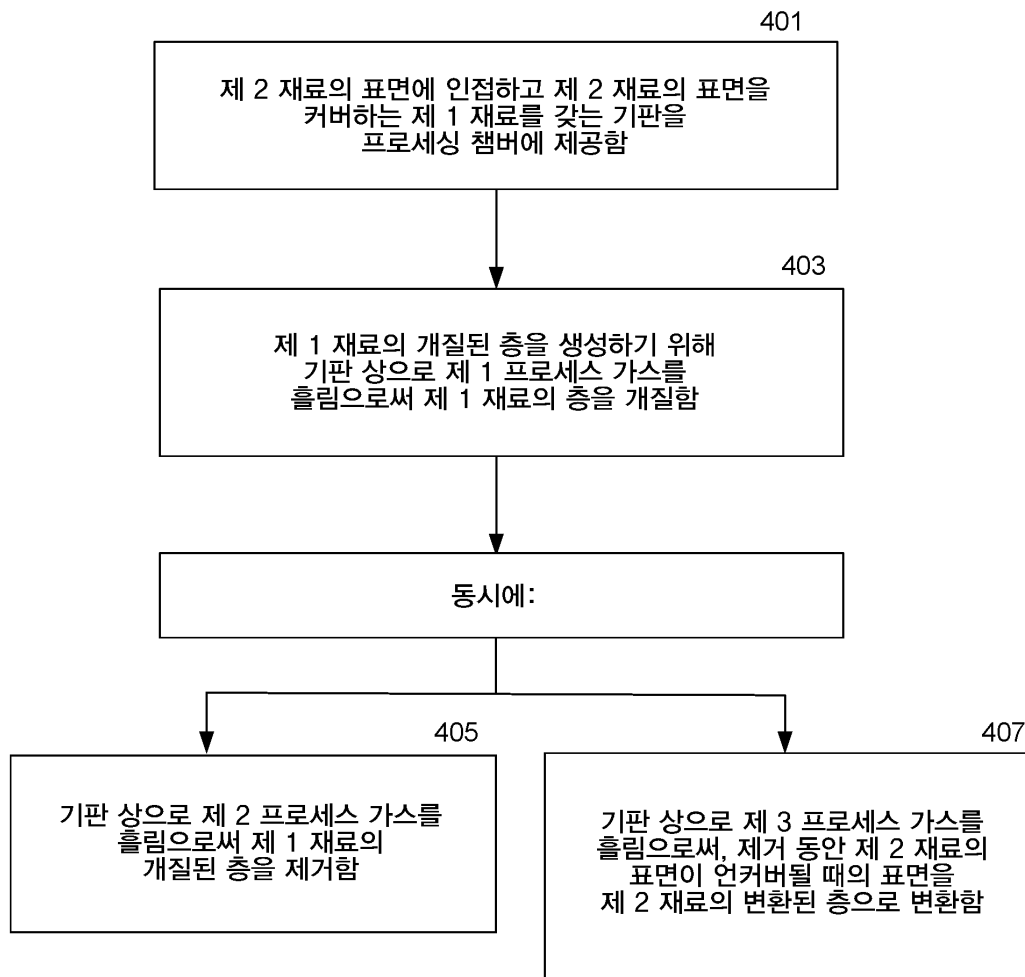
도면2



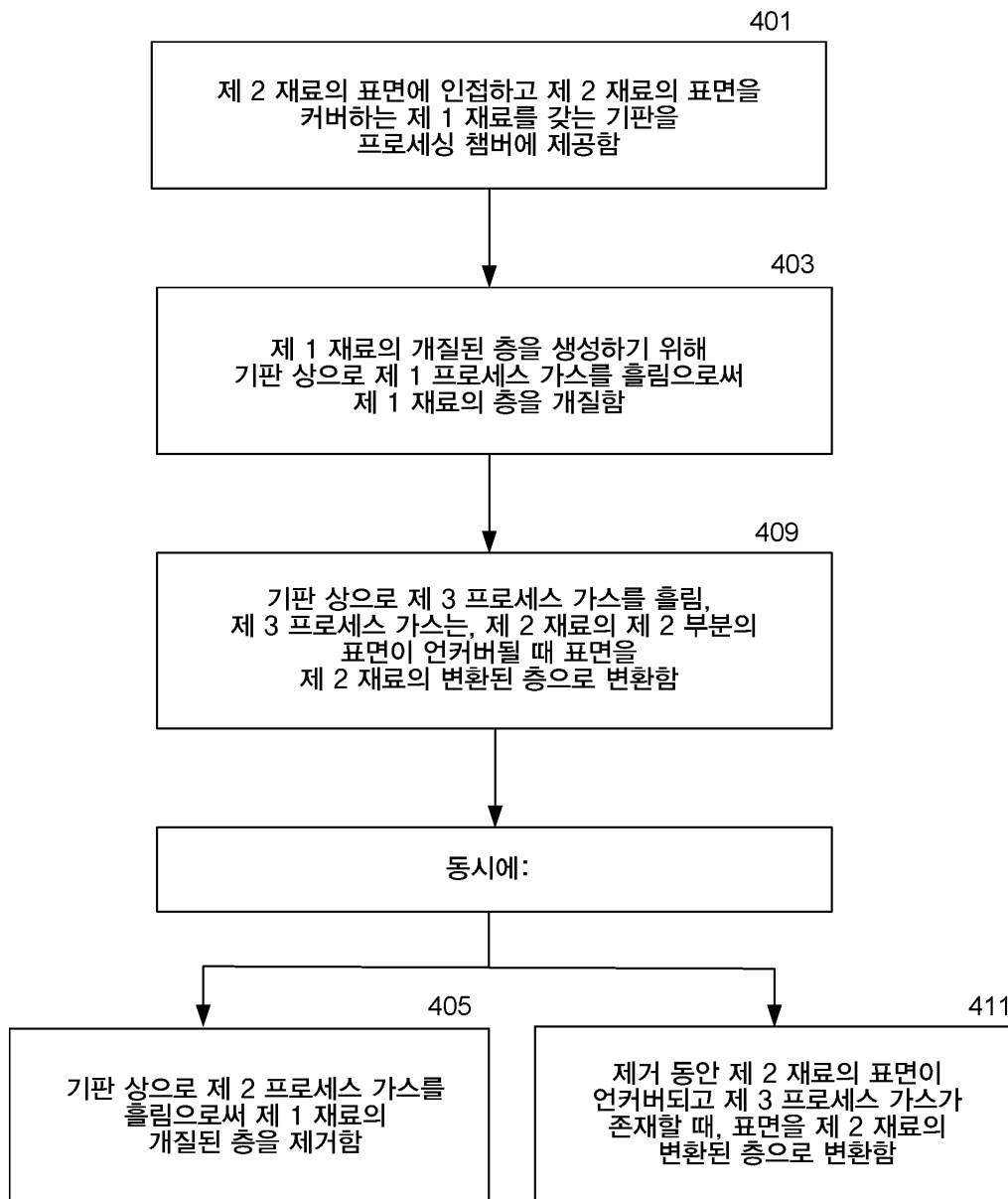
도면3



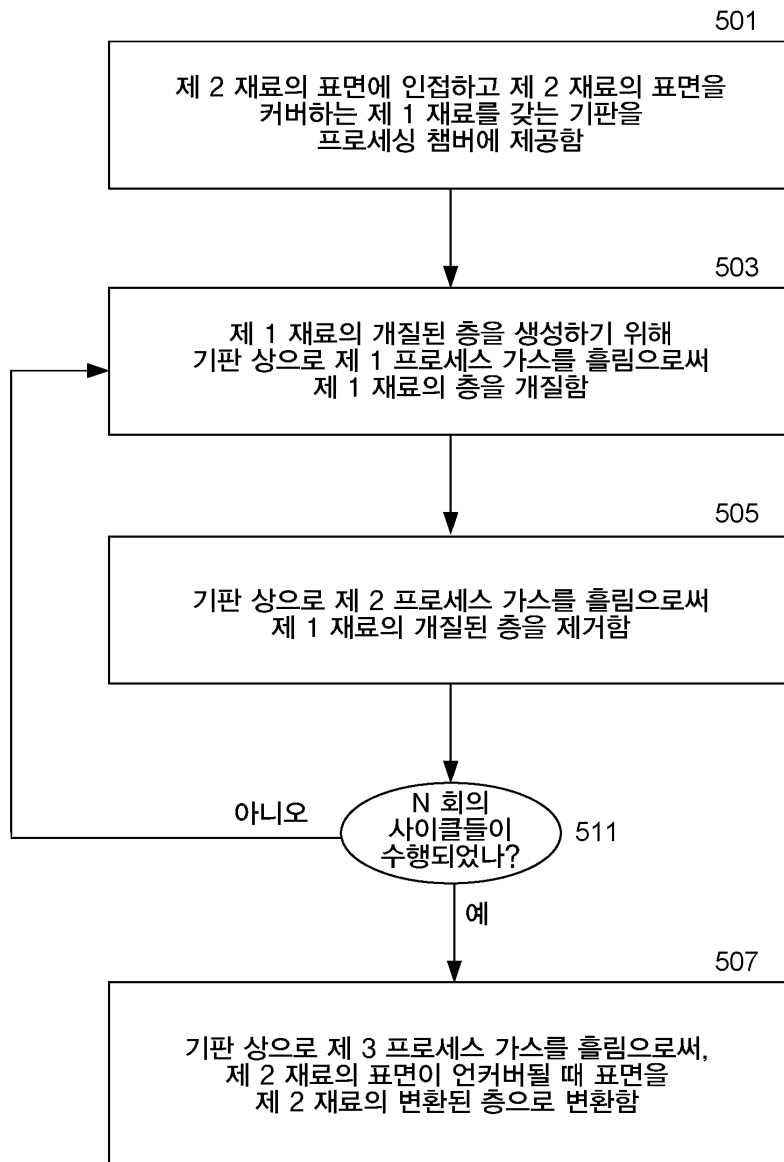
도면4a



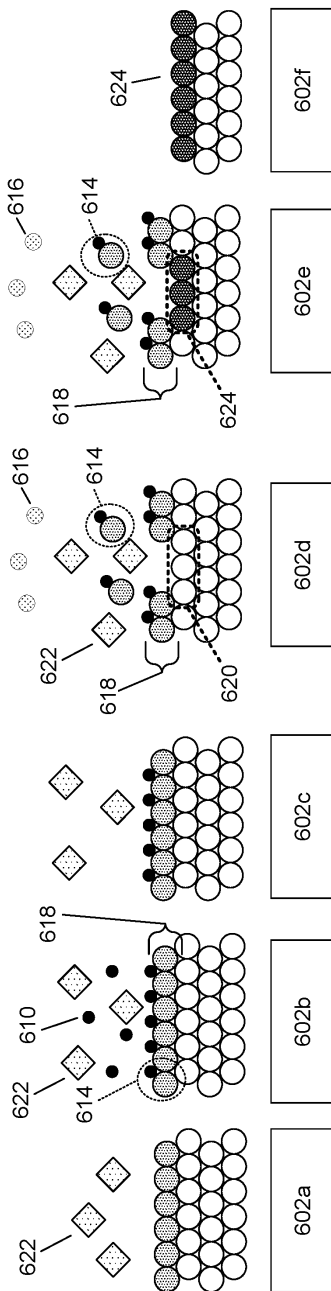
도면4b



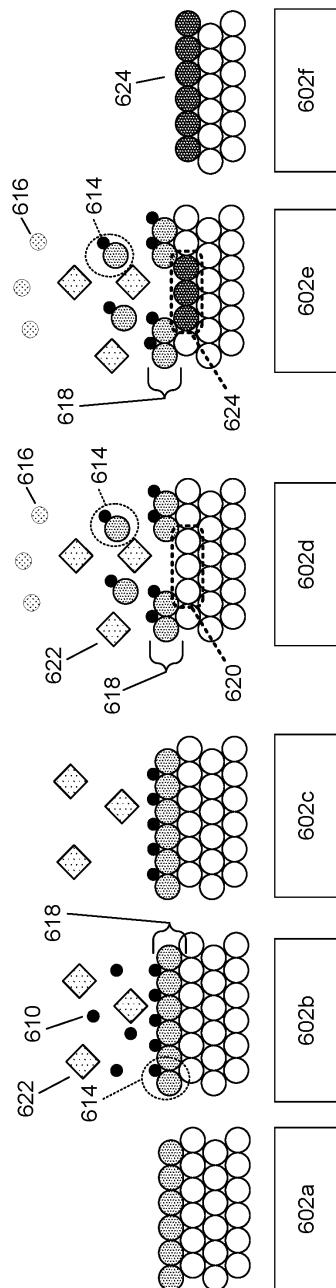
도면5



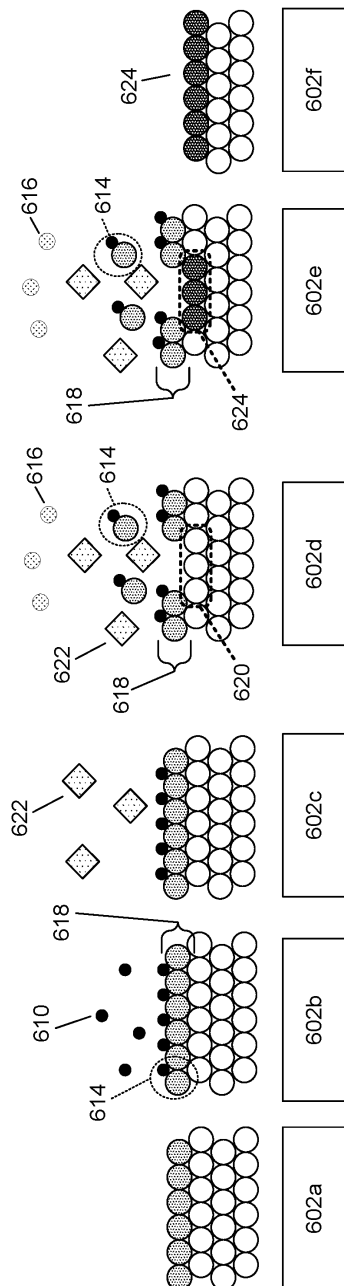
도면6a



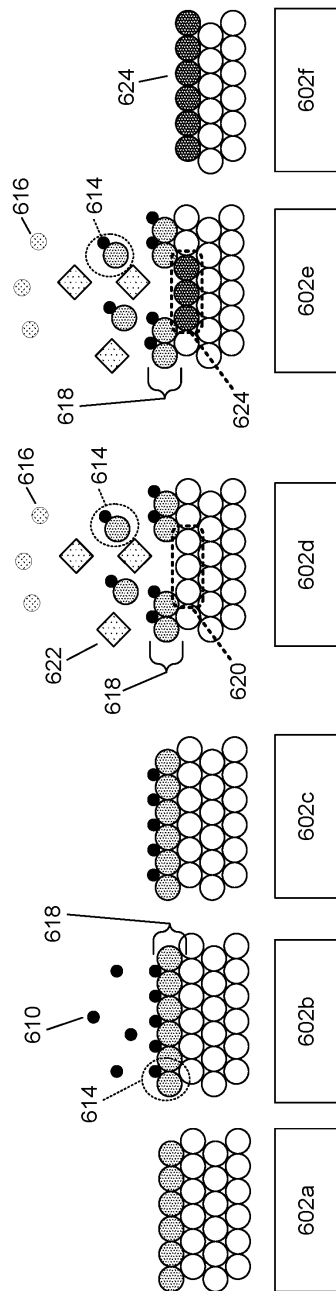
도면6b



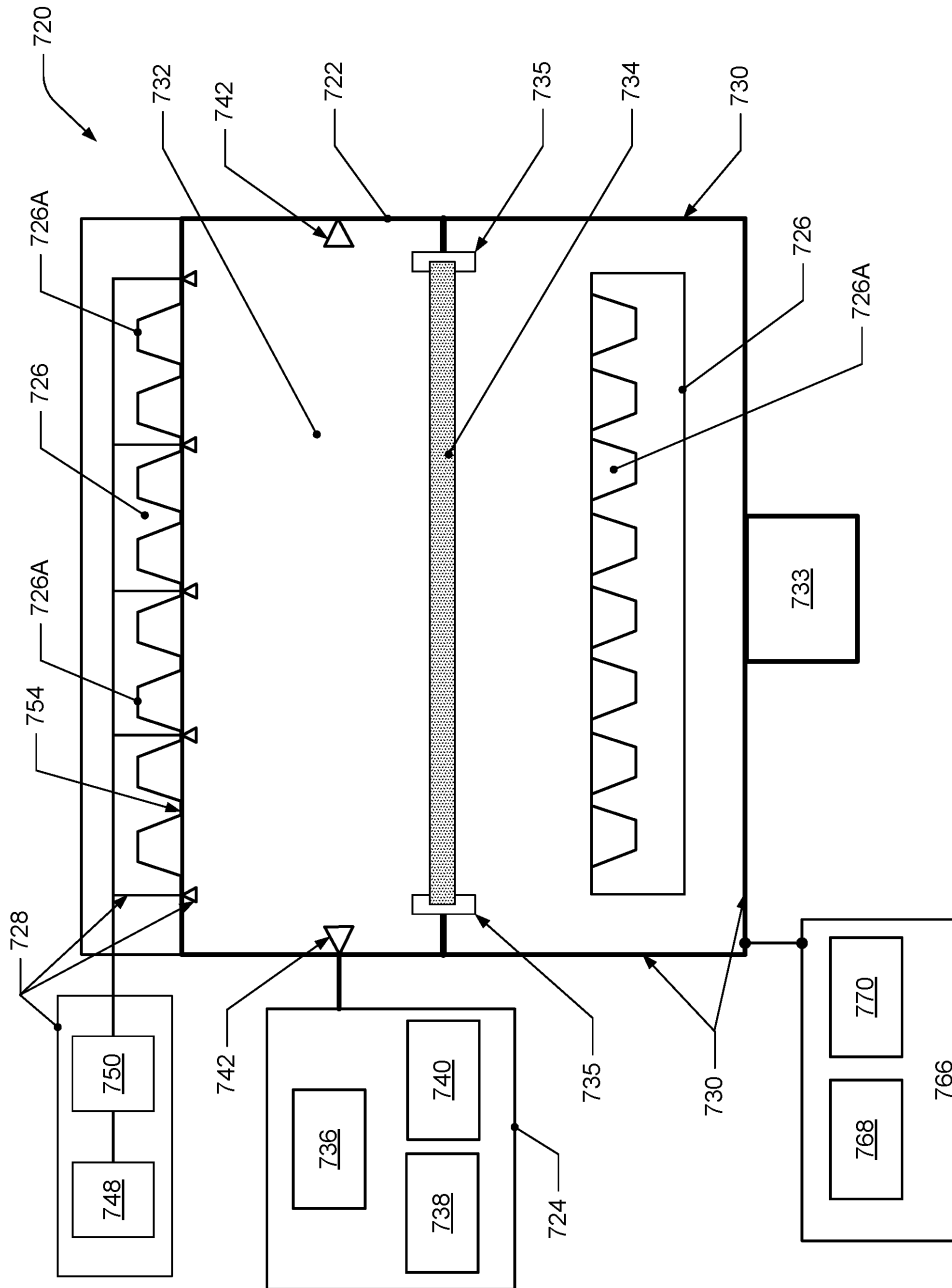
도면6c



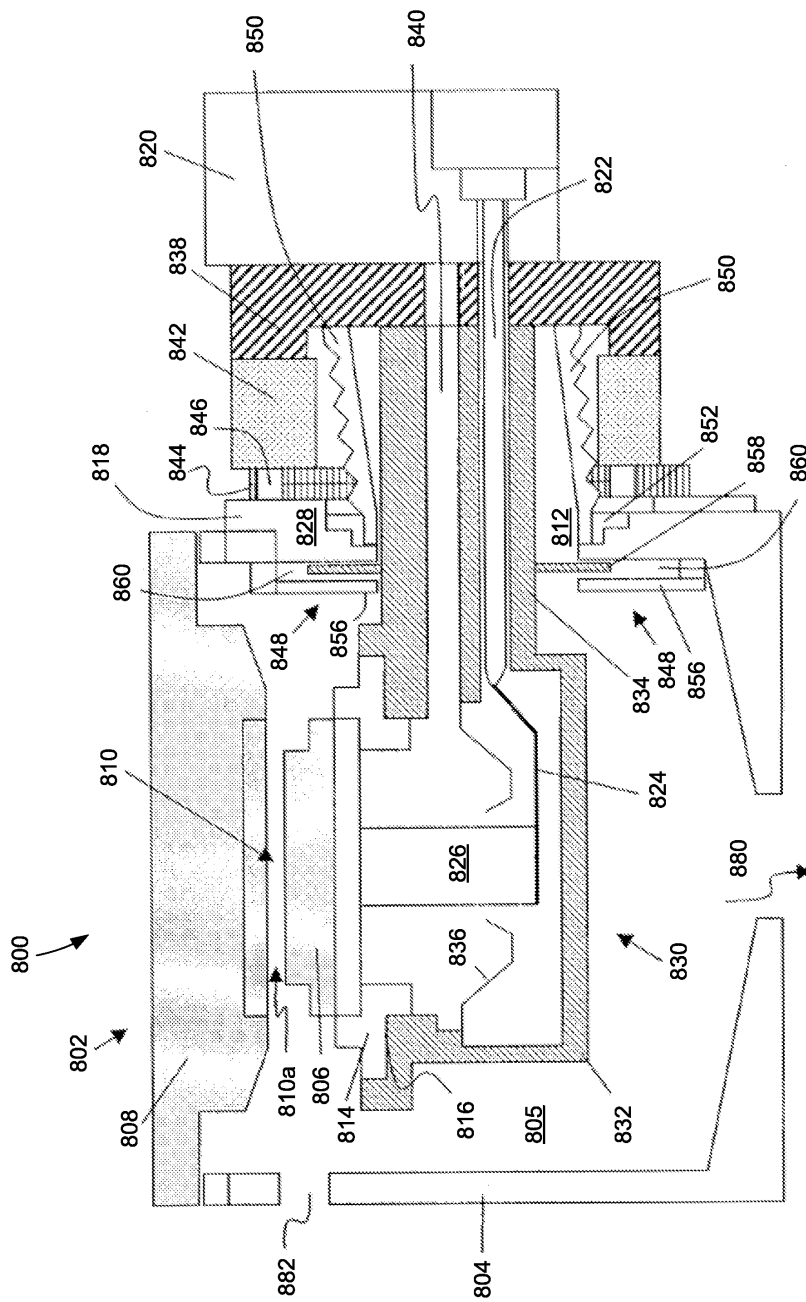
도면6d



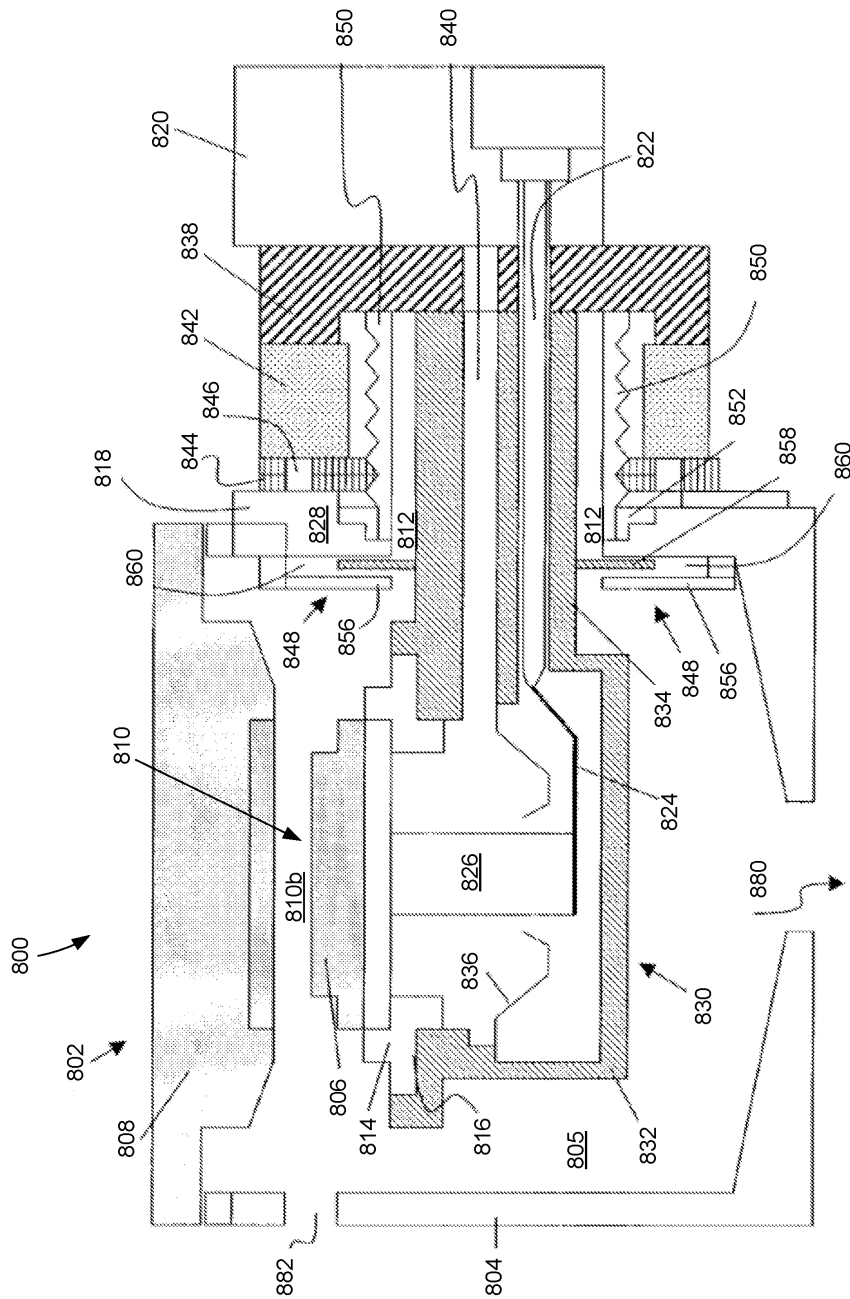
도면7



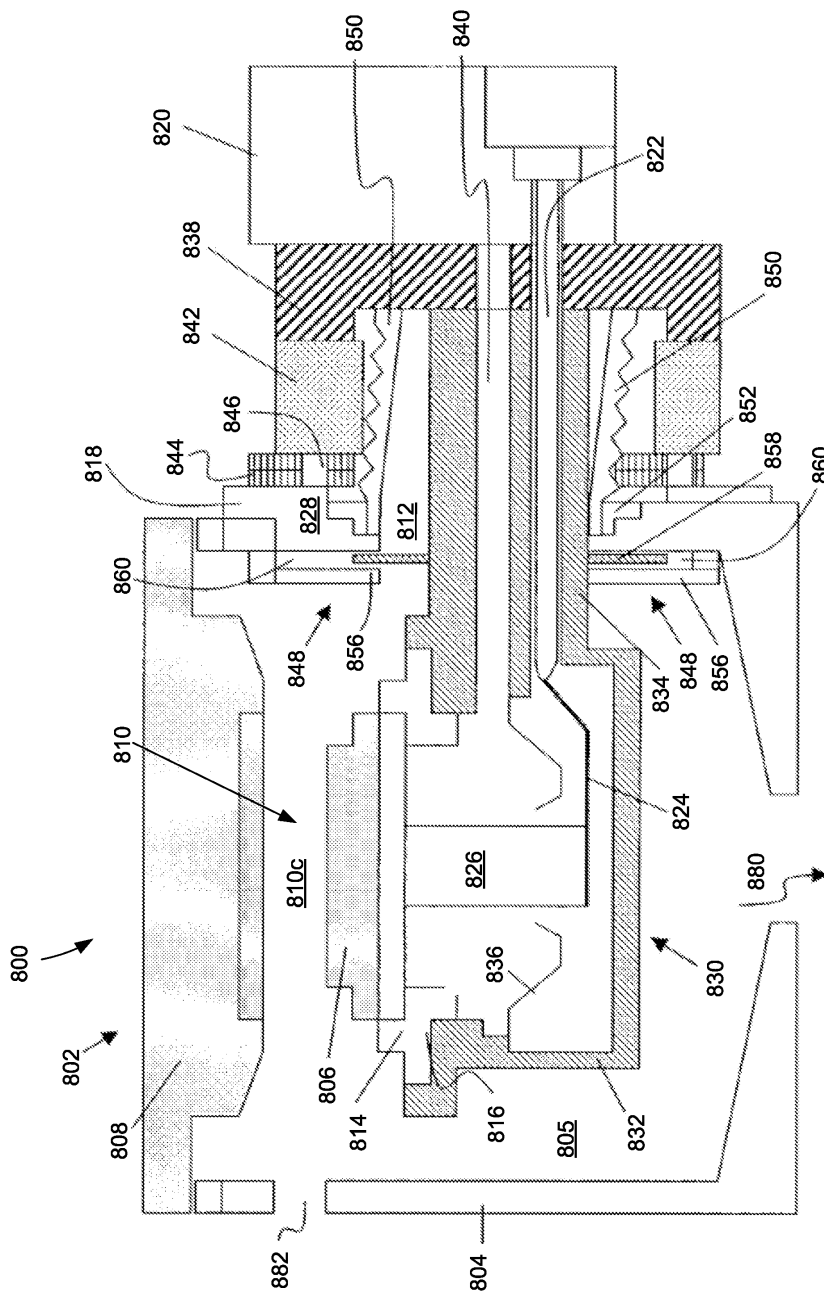
도면 8a



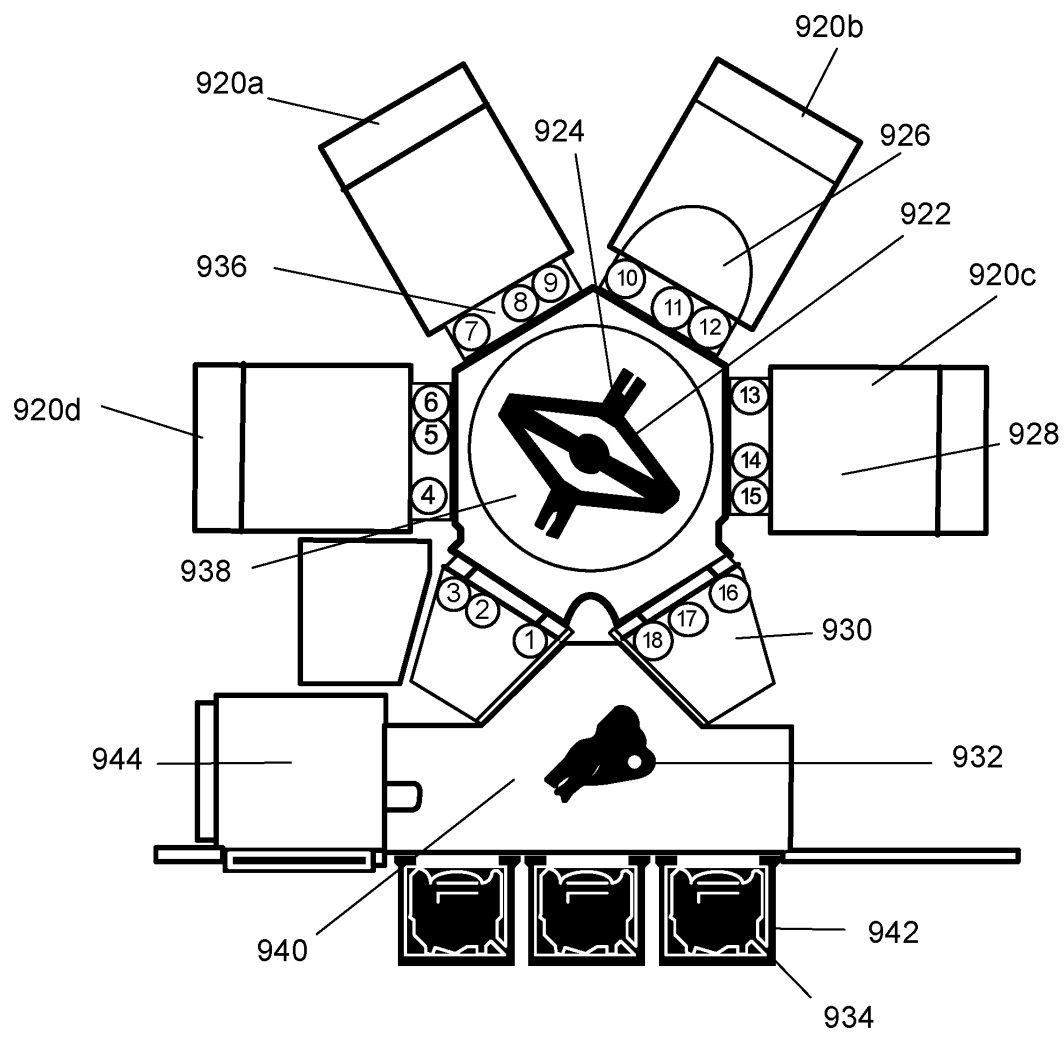
도면 8b



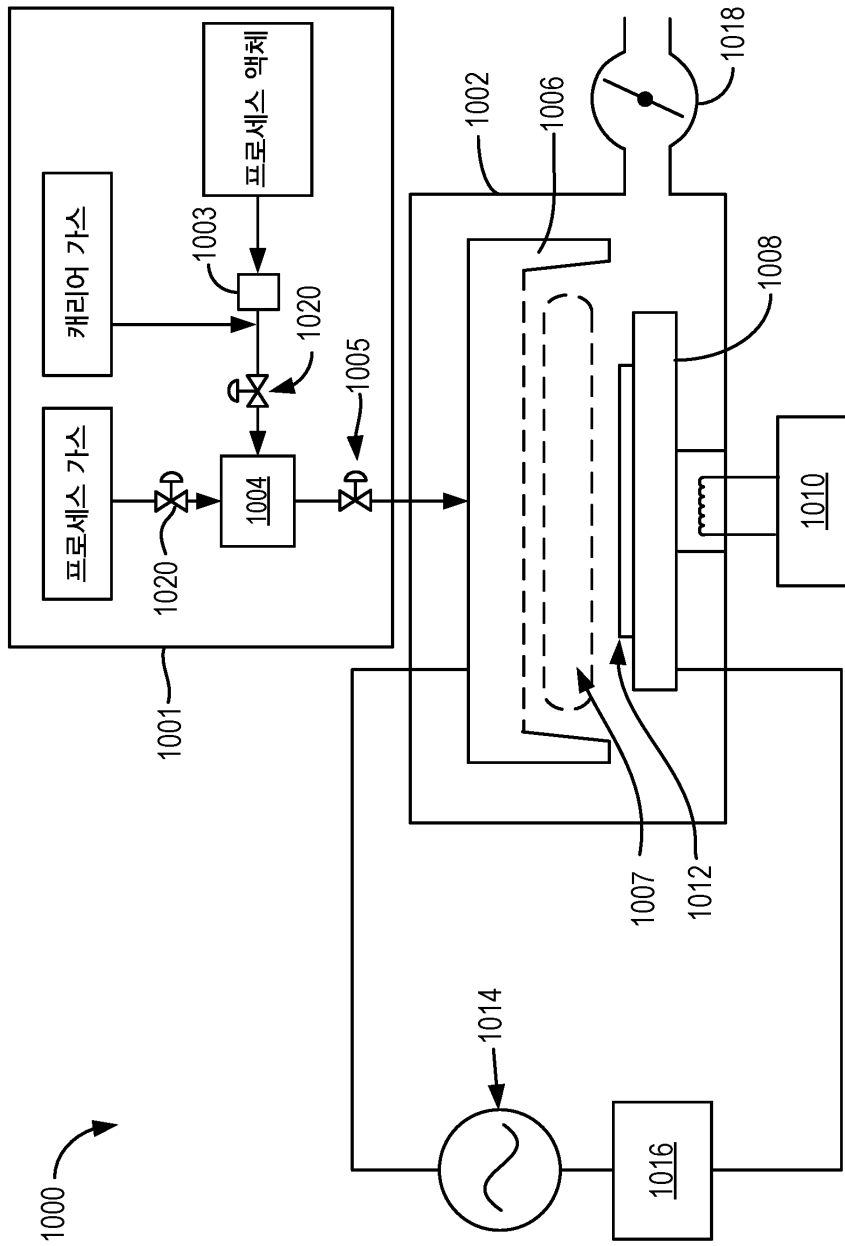
도면8c



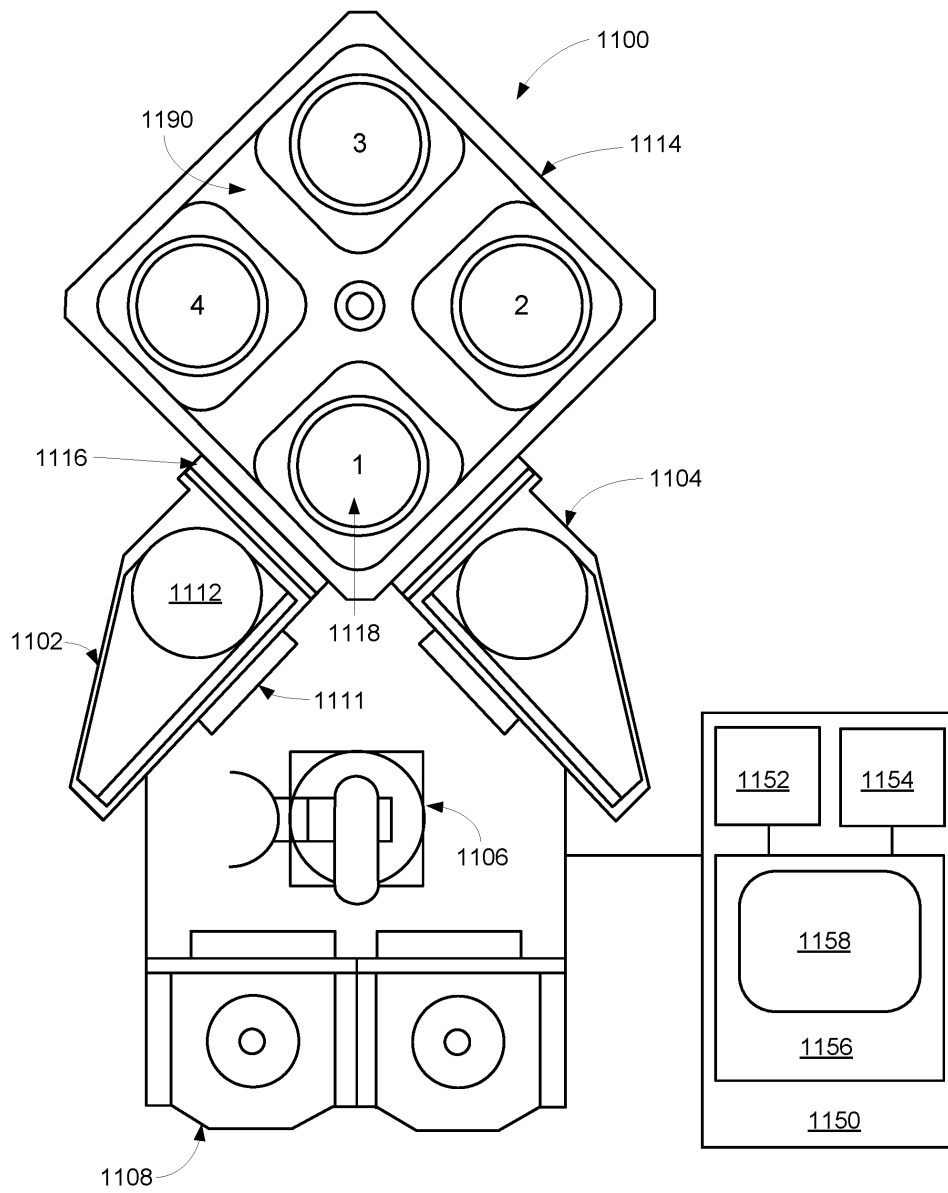
도면9



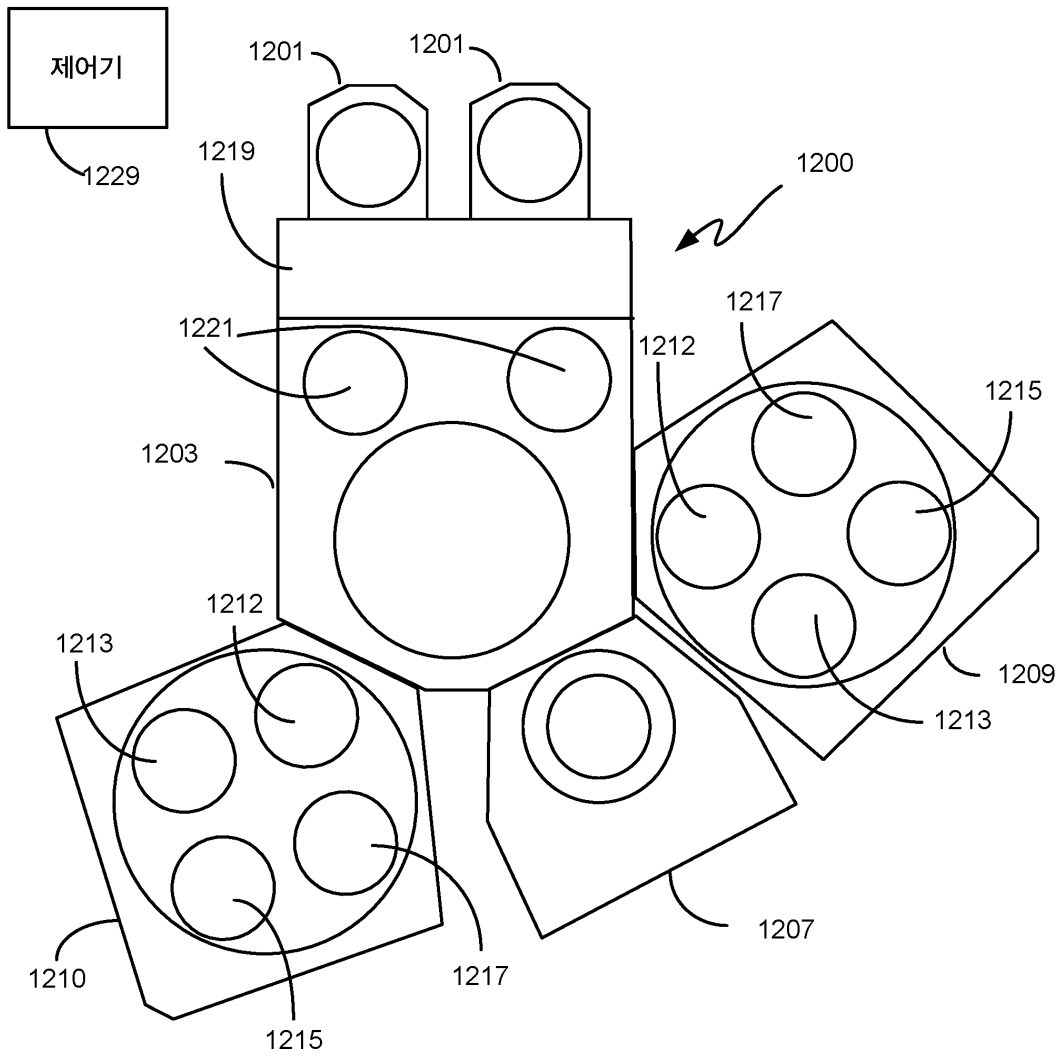
도면10



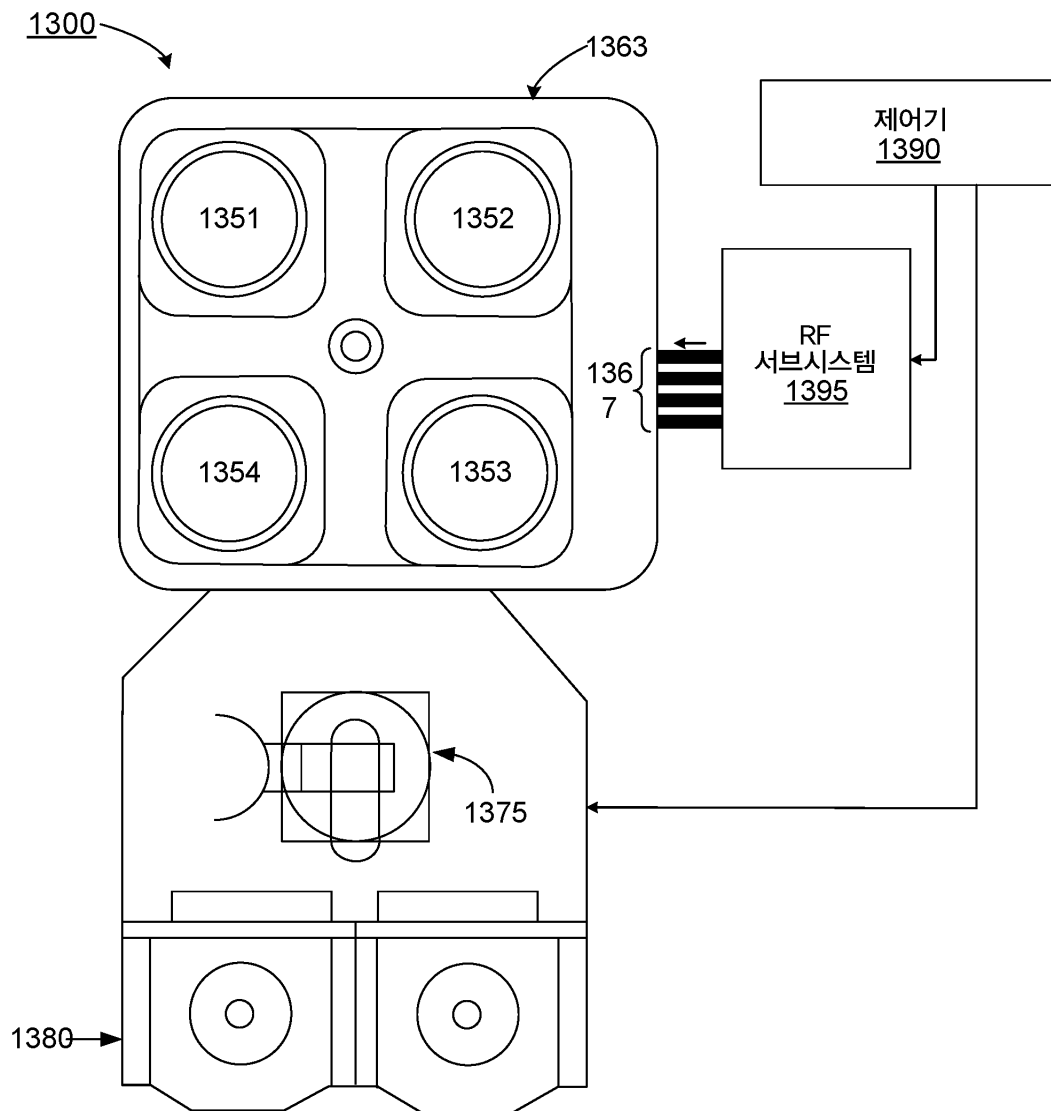
도면11



도면12



도면13



도면14

