



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0149595  
(43) 공개일자 2022년11월08일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C23C 16/455 (2006.01) C23C 16/04 (2006.01)  
C23C 16/14 (2006.01) C23C 16/34 (2006.01)  
C23C 16/54 (2006.01) H01L 21/285 (2006.01)  
H01L 21/768 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
C23C 16/45523 (2013.01)  
C23C 16/045 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7034311
- (22) 출원일자(국제) 2021년03월03일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2022년09월30일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2021/020748
- (87) 국제공개번호 WO 2021/178593  
국제공개일자 2021년09월10일
- (30) 우선권주장  
202031009211 2020년03월04일 인도(IN)

- (71) 출원인  
램 리써치 코포레이션  
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
- (72) 발명자  
비루, 크리슈나  
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650  
코, 레너드 와이 평  
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
특허법인인벤싱코

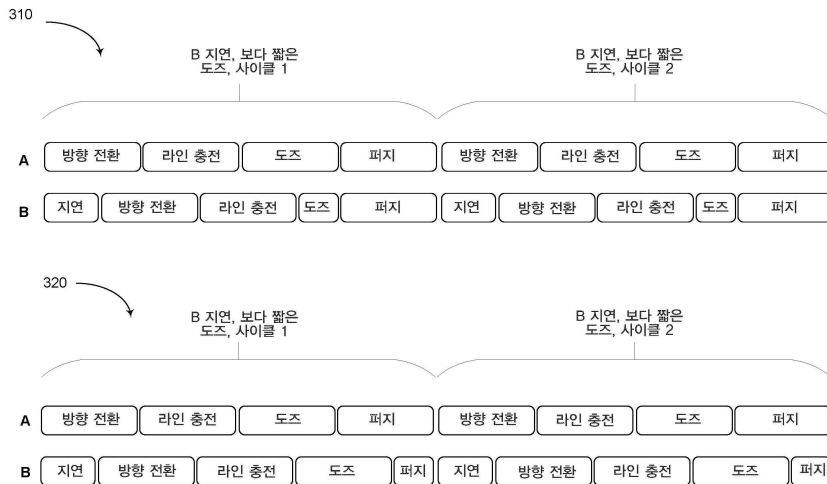
전체 청구항 수 : 총 27 항

(54) 발명의 명칭 반응 물질 가스 펄스 전달

(57) 요약

프로세싱 챔버 및 관련 장치로의 가스 반응 물질들의 전달 방법들이 본 명세서에 제공된다.

대표도



(52) CPC특허분류

*C23C 16/14* (2013.01)

*C23C 16/34* (2013.01)

*C23C 16/45534* (2013.01)

*C23C 16/45544* (2013.01)

*C23C 16/54* (2013.01)

*H01L 21/28562* (2013.01)

*H01L 21/76816* (2013.01)

(72) 발명자

**찬드라쉐카, 아난드**

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이  
4650

**보웬스, 마이클**

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이  
4650

**선, 용**

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이  
4650

**장, 성**

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이  
4650

**성, 수밋 솅하시**

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이  
4650

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

제 1 가스 소스로부터의 반응성 억제 가스 및 제 2 가스 소스로부터 금속 전구체 가스의 코-플로우 펄스들을 챔버로 흘리는 것을 포함하는 상기 챔버 내에서 기판 상에 억제 처리를 수행하는 단계를 포함하고, 코-플로우 펄스 각각은 상기 반응성 억제 가스의 펄스 및 상기 금속 전구체 가스의 펄스를 포함하고, 상기 반응성 억제 가스의 상기 펄스 및 상기 금속 전구체 가스의 상기 펄스는, 가스 각각이 가스 소스로부터 흐를 때로부터 측정될 때, 시간상 (in time) 오프셋되고 (offset) 오버랩되고 (overlap), 그리고 상기 억제 처리는 금속 핵생성을 억제하는, 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 금속 전구체 가스의 상기 펄스와 상기 반응성 억제 가스의 상기 펄스는 동시에 종료되거나 시작되는, 방법.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 반응성 억제 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 상기 반응성 억제 가스의 후속 펄스들로부터 분리되고 그리고 상기 금속 전구체 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 상기 금속 전구체 가스의 후속 펄스들로부터 분리되는, 방법.

#### 청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 금속은 텅스텐 (W), 몰리브덴 (Mo), 코발트 (Co) 및 루테튬 (Ru) 중 하나인, 방법.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 반응성 억제 가스는 질소-함유인, 방법.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 반응성 억제 가스는 암모니아 (NH<sub>3</sub>) 또는 하이dra진 (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 인, 방법.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

자연 파라미터들로부터 오프셋을 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 오프셋은 웨이퍼 내 균일성을 최적화함으로써 결정되는, 방법.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 억제 처리 전에, 상기 기관 상에 제 1 금속 층을 증착하는 단계를 더 포함하는, 방법.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 억제 처리 후에, 상기 기관 상에 제 2 금속 층을 증착하는 단계를 더 포함하는, 방법.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 제 1 금속 층의 증착은 멀티-스테이션 챔버의 제 1 스테이션에서이고, 상기 억제 처리는 멀티-스테이션 챔버의 제 2 스테이션에서이고, 그리고 상기 제 2 금속 층의 증착은 멀티-스테이션 챔버의 제 3 층에서인, 방법.

**청구항 12**

제 1 항에 있어서,

상기 반응성 억제 가스 및 상기 금속 전구체 가스는 상기 샤워헤드를 나간 후에만 혼합되는, 방법.

**청구항 13**

하나 이상의 스테이션들을 포함하는 챔버로서, 스테이션 각각은 페테스탈 및 상기 페테스탈 위에 배치되고 제 1 가스 소스 및 제 2 가스 소스에 유체로 연통하도록 (fluidically connect) 구성된 샤워헤드를 포함하는 상기 챔버; 및

제어기를 포함하고, 상기 제어기는,

상기 제 1 가스 및 상기 제 2 가스의 복수의 코-플로우 펄스들을 상기 챔버의 스테이션 내로 도입하기 위한 인스트럭션들을 포함하고, 코-플로우 펄스 각각은 상기 제 1 가스의 펄스 및 상기 제 2 가스의 펄스를 포함하고, 상기 제 1 가스의 상기 펄스 및 상기 제 2 가스의 상기 펄스는 시간상 오프셋되고 오버랩되고, 그리고 상기 제 1 가스의 상기 펄스 각각은 퍼지에 의해 상기 제 1 가스의 후속 펄스들로부터 분리되고 그리고 상기 제 2 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 상기 제 2 가스의 후속 펄스들로부터 분리되는, 장치.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기 제어기는 하나 이상의 파라미터들로부터 오프셋을 결정하기 위한 인스트럭션들을 더 포함하는, 장치.

**청구항 15**

제 13 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 하나 이상의 파라미터들을 수신하기 위한 인스트럭션들을 더 포함하는, 장치.

**청구항 16**

제 15 항에 있어서,

상기 하나 이상의 파라미터들은, 지연될 가스의 아이덴티티 (identity), 상기 오프셋의 길이 및 펄스 또는 퍼지를 단축할지 여부를 포함하는, 장치.

**청구항 17**

제 13 항 내지 제 16 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 결정된 오프셋에 따라 상기 제 1 가스 또는 상기 제 2 가스의 펄스 시퀀스를 수정하기 위한 인스트럭션들을 더 포함하는, 장치.

**청구항 18**

제 1 가스 및 제 2 가스의 복수의 코-플로우 펄스들을 프로세싱 챔버 내로 도입하는 단계를 포함하고, 코-플로우 펄스 각각은 제 1 가스 소스로부터의 상기 제 1 가스의 펄스 및 제 2 가스 소스로부터의 상기 제 2 가스의 펄스를 포함하고, 상기 제 1 가스의 상기 펄스 및 상기 제 2 가스의 상기 펄스는 가스 각각이 가스 소스로부터 흐를 때로부터 측정될 때, 시간상 오프셋되고 오버랩하고, 그리고 상기 제 1 가스의 상기 펄스 각각은 퍼지에 의해 상기 제 1 가스의 후속 펄스들로부터 분리되고 그리고 상기 제 2 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 상기 제 2 가스의 후속 펄스들로부터 분리되는, 방법.

**청구항 19**

제 18 항에 있어서,  
하나 이상의 파라미터들로부터 오프셋을 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

**청구항 20**

제 19 항에 있어서,  
상기 하나 이상의 파라미터들을 수신하는 단계를 더 포함하는, 방법.

**청구항 21**

제 20 항에 있어서,  
상기 하나 이상의 파라미터들은, 상기 지연될 가스의 아이덴티티, 상기 오프셋의 길이 및 상기 펄스 또는 퍼지를 단축할지 여부를 포함하는, 방법.

**청구항 22**

제 18 항 내지 제 21 항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 결정된 오프셋에 따라 상기 제 1 가스 또는 상기 제 2 가스의 펄스 시퀀스를 수정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

**청구항 23**

제 1 가스 및 제 2 가스의 복수의 코-플로우 펄스들을 프로세싱 챔버 내로 도입하기 위한 인스트럭션들을 포함하고, 코-플로우 펄스 각각은 상기 제 1 가스의 펄스 및 상기 제 2 가스의 펄스를 포함하고, 상기 제 1 가스의 상기 펄스 및 상기 제 2 가스의 상기 펄스는 시간상 오프셋되고 오버랩되고, 그리고 상기 제 1 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 상기 제 1 가스의 후속 펄스들로부터 분리되고 그리고 상기 제 2 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 상기 제 2 가스의 후속 펄스들로부터 분리되는, 유형의 머신-판독 가능 매체.

**청구항 24**

제 23 항에 있어서,  
하나 이상의 파라미터들로부터 오프셋을 결정하기 위한 인스트럭션들을 더 포함하는, 유형의 머신-판독 가능 매체.

**청구항 25**

제 23 항에 있어서,  
사용자 입력으로부터 상기 하나 이상의 파라미터들을 수신하기 위한 인스트럭션들을 더 포함하는, 유형의 머신-판독 가능 매체.

**청구항 26**

제 24 항에 있어서,  
상기 하나 이상의 파라미터들은, 지연될 가스의 아이덴티티, 오프셋의 길이 및 펄스 또는 퍼지를 단축할지 여부를 포함하는, 유형의 머신-판독 가능 매체.

**청구항 27**

제 23 항 내지 제 26 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 결정된 오프셋에 따라 상기 제 1 가스 또는 상기 제 2 가스의 펄스 시퀀스를 수정하기 위한 인스트럭션들을 더 포함하는, 유형의 머신-판독 가능 매체.

**발명의 설명**

**배경 기술**

[0001] 반도체 프로세싱의 과정은 가능한 한 많은 프로세싱된 웨이퍼에 걸쳐 프로세스 균일성을 달성하는 것이다.

[0002] 본 명세서에 제공된 배경기술 기술 (description) 은 본 개시의 맥락을 일반적으로 제시할 목적이다. 이 배경 기술 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] 참조로서 인용

[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 인용되었다.

[0005] 본 개시의 일 양태는 기판 상에서 억제 처리를 수행하는 것을 수반하는 방법에 관한 것이다. 방법은 반응성 억제 가스 및 금속 전구체 가스의 코-플로우 (co-flow) 펄스들 (pulses) 을 챔버로 도입하는 단계를 수반하고, 코-플로우 펄스 각각은 반응성 억제 가스의 펄스 및 금속 전구체 가스의 펄스를 포함하고, 반응성 억제 가스의 펄스 및 금속 전구체 가스의 펄스는 시간상 (in time) 오프셋되고 (offset) 오버랩된다 (overlap). 펄스들 (또한 도즈들로 지칭됨) 은 가스가 가스 소스 (gas source) 로부터 흐를 때로부터 측정된다. 억제 처리는 금속 핵생성을 억제한다.

[0006] 일부 실시 예들에서, 금속 전구체 가스의 펄스 및 반응성 억제 가스의 펄스는 동시에 종료되거나 시작된다.

[0007] 일부 실시 예들에서, 반응성 억제 가스의 펄스 각각은 퍼지에 (purge) 의해 반응성 억제 가스의 후속 펄스들로부터 분리되고 그리고 금속 전구체 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 금속 전구체 가스의 후속 펄스들로부터 분리된다.

[0008] 일부 실시 예들에서, 금속은 텅스텐 (W), 몰리브덴 (Mo), 코발트 (Co) 및 루테튬 (Ru) 중 하나이다.

[0009] 일부 실시 예들에서, 반응성 억제 가스는 질소-함유이다. 일부 실시 예들에서, 반응성 억제 가스는 암모니아 (NH<sub>3</sub>) 또는 하이드라진 (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)이다.

[0010] 일부 실시 예들에서, 방법은 지연 파라미터들로부터 오프셋을 결정하는 단계를 더 포함한다. 일부 이러한 실시 예들에서, 오프셋을 결정하는 단계는 웨이퍼 내 균일성을 최적화하는 것을 포함한다.

[0011] 일부 실시 예들에서, 방법은 억제 처리 전 및/또는 후에 금속의 증착을 더 포함한다. 증착 동작은 억제 처리와 동일하거나 상이한 챔버에서 수행될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 이는 멀티-스테이션 챔버의 제 1 스테이션에서 수행되고, 억제 처리는 제 2 스테이션에서 수행된다. 일부 실시 예들에서, 증착은 금속 전구체 및 환원성 가스를 사용하는 원자 층 증착 (atomic layer deposition; ALD) 에 의해 수행된다. 코-플로우 펄스를 포함할 수도 있고 포함하지 않을 수도 있다.

[0012] 본 개시의 또 다른 양태는, 하나 이상의 스테이션들을 포함하는 챔버로서, 스테이션 각각은 페테스탈 및 페테스탈 위에 배치되고 제 1 가스 소스 및 제 2 가스 소스에 유체로 연통하도록 (fluidically connect) 구성된 샤워 헤드를 포함하는 챔버; 및 제어기를 포함하고, 제어기는, 제 1 가스 및 제 2 가스의 복수의 코-플로우 펄스들을 챔버의 스테이션 내로 도입하기 위한 인스트럭션들을 포함하고, 코-플로우 펄스 각각은 제 1 가스의 펄스 및 제 2 가스의 펄스를 포함하고, 제 1 가스의 펄스 및 제 2 가스의 펄스는 시간상 오프셋되고 오버랩되고, 그리고 제 1 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 제 1 가스의 후속 펄스들로부터 분리되고 그리고 제 2 가스의 펄스 각각은

퍼지에 의해 제 2 가스의 후속 펄스들로부터 분리되는, 장치에 관한 것이다. 펄스들 (또한 도즈들로 지칭됨) 은 가스가 가스 소스로부터 흐를 때로부터 측정된다.

- [0013] 일부 실시 예들에서, 제어기는 하나 이상의 파라미터들로부터 오프셋을 결정하기 위한 인스트럭션들을 더 포함한다. 일부 이러한 실시 예들에서, 제어기는 하나 이상의 파라미터들을 수신하기 위한 인스트럭션들을 더 포함한다.
- [0014] 일부 이러한 실시 예들에서, 하나 이상의 파라미터들은 지연될 가스의 아이덴티티 (identity), 오프셋의 길이 및 펄스를 단축할지 퍼지를 단축할지 여부의 서브 세트 또는 모두를 포함한다.
- [0015] 일부 실시 예들에서, 제어기는 결정된 오프셋에 따라 제 1 가스 또는 제 2 가스의 펄스 시퀀스를 수정하기 위한 인스트럭션들을 더 포함한다.
- [0016] 본 개시의 또 다른 양태는 제 1 가스 및 제 2 가스의 복수의 코-플로우 펄스들을 프로세싱 챔버 내로 도입하는 단계를 포함하고, 코-플로우 펄스 각각은 제 1 가스의 펄스 및 제 2 가스의 펄스를 포함하고, 제 1 가스의 펄스 및 제 2 가스의 펄스는 시간상 오프셋되고 오버랩하고, 그리고 제 1 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 제 1 가스의 후속 펄스들로부터 분리되고 그리고 제 2 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 제 2 가스의 후속 펄스들로부터 분리되는, 방법에 관한 것이다. 펄스들 (또한 도즈들로 지칭됨) 은 가스가 가스 소스로부터 흐를 때로부터 측정된다.
- [0017] 일부 실시 예들에서, 방법은 하나 이상의 파라미터들로부터 오프셋을 결정하는 단계를 더 수반한다. 일부 이러한 실시 예들에서, 방법은 하나 이상의 파라미터들을 수신하는 단계를 수반한다. 일부 실시 예들에서, 하나 이상의 파라미터들은 지연될 가스의 아이덴티티, 오프셋의 길이 및 펄스 또는 퍼지를 단축할지 여부 모두의 서브 세트를 포함한다.
- [0018] 일부 이러한 실시 예들에서, 방법은 결정된 오프셋에 따라 제 1 가스 또는 제 2 가스의 펄스 시퀀스를 수정하는 단계를 더 포함한다.
- [0019] 본 개시의 또 다른 양태는 제 1 가스 및 제 2 가스의 복수의 코-플로우 펄스들을 프로세싱 챔버 내로 도입하기 위한 인스트럭션들을 포함하고, 코-플로우 펄스 각각은 제 1 가스의 펄스 및 제 2 가스의 펄스를 포함하고, 제 1 가스의 펄스 및 제 2 가스의 펄스는 시간상 오프셋되고 오버랩하고, 그리고 제 1 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 제 1 가스의 후속 펄스들로부터 분리되고 그리고 제 2 가스의 펄스 각각은 퍼지에 의해 제 2 가스의 후속 펄스들로부터 분리되는, 유형의 머신-판독 가능 매체에 관한 것이다. 펄스들 (또한 도즈들로 지칭됨) 은 가스가 가스 소스로부터 흐를 때로부터 측정된다.
- [0020] 일부 실시 예들에서, 유형의 머신 판독 가능 매체는 하나 이상의 파라미터들로부터 오프셋을 결정하기 위한 인스트럭션들을 더 포함한다.
- [0021] 일부 실시 예들에서, 유형의 머신 판독 가능 매체는 사용자 입력으로부터 하나 이상의 파라미터들을 수신하기 위한 인스트럭션들을 더 포함한다. 일부 실시 예들에서, 하나 이상의 파라미터들은 지연될 가스의 아이덴티티, 오프셋의 길이 및 펄스 또는 퍼지를 단축할지 여부의 서브 세트 또는 모두를 포함한다. 일부 실시 예들에서, 유형의 머신 판독 가능 매체는 결정된 오프셋에 따라 제 1 가스 또는 제 2 가스의 펄스 시퀀스를 수정하는 단계를 더 포함한다.
- [0022] 본 개시의 이들 및 다른 양태들은 도면들을 참조하여 이하에 더 기술된다.

**도면의 간단한 설명**

- [0023] 도 1은 본 명세서에 기술된 다양한 실시 예들에 따라 구현될 수도 있는 피쳐 충전 (feature fill) 을 위한 증착-억제-증착 (deposition-inhibition-deposition; DID) 프로세스의 일 예를 도시한다.  
 도 2는 위상 시프트 (phase shift) 를 갖지 않는 코-플로우 (co-flow) 펄스들 (pulses) 및 위상 시프트를 갖는 코-플로우 펄스들에 대한 예시적인 타이밍 시퀀스들을 도시한다.  
 도 3은 B 지연을 갖는 A 프로세스 가스 및 B 프로세스 가스의 2 사이클들의 코-플로우 펄스들에 대한 예시적인 타이밍 시퀀스들을 도시한다.  
 도 4는 도 2에 도시된 타이밍 시퀀스들에 대응하는 A 가스 및 B 가스의 웨이퍼 상 플로우들을 도시한다.

도 5는 시뮬레이션에 의해 생성될 때 웨이퍼의 중심으로부터 위치에 대한 NH<sub>3</sub> 질량 분율 및 WF<sub>6</sub> 질량 분율의 과도 시뮬레이션 (transient simulation) 결과들의 예들을 도시한다.

도 6은 다양한 NH<sub>3</sub>/WF<sub>6</sub> 억제 프로세스들에 대한 반응 물질 지연의 함수로서 웨이퍼의 중심 및 에지에서 핵생성 지연의 플롯들을 도시한다.

도 7은 디보란을 사용하여 텅스텐 핵생성 층을 증착하기 위한 방법의 예시적인 사이클들을 도시하는 타이밍 시퀀스 다이어그램 (timing sequence diagram) 의 일 예를 도시한다.

도 8은 지연을 포함하도록 수정된 도 7의 타이밍 시퀀스 다이어그램의 일 예를 도시한다.

도 9a는 2 개의 가스들을 챔버로 개별적으로 전달하도록 구성된 듀얼 플레넘 샤워헤드의 일 예를 도시한다.

도 9b는 샤워헤드에 연결된 충전 용기들 (charge vessels; CV) 의 일 예를 도시한다.

도 10은 질량 유량 제어기 (mass flow controller; MFC), CV (charge vessels) 및 샤워헤드에 연결된 유출구 밸브를 포함하는 가스 플로우의 개략적인 예시를 도시한다.

도 11은 특정한 실시 예들에 따라 사용될 수도 있는 장치를 도시한다.

도 12는 특정한 실시 예들과 함께 사용될 수도 있는 멀티-스테이션 장치의 일 예를 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 다양한 실시 예들의 예들은 첨부된 도면들에 예시되고 이하에 더 기술된다. 본 명세서의 논의가 기술된 특정한 실시 예들로 청구항을 제한하도록 의도되지 않았다는 것이 이해될 것이다. 반대로, 이는 본 개시 및 첨부된 청구항들의 정신 및 범위 내에 포함될 수도 있는 바와 같이 대안들, 수정들, 및 등가물들을 커버하도록 의도된다. 이하의 기술에서, 개시된 주제의 완전한 이해를 제공하기 위해 수많은 구체적 상세들이 제시된다. 주제의 다양한 구현 예들은 이들 구체적 상세들의 일부 또는 전부 없이 실시될 수도 있다. 다른 예들에서, 공지된 프로세스 동작들은 본 명세서에 기술된 주제를 불필요하게 모호하게 하지 않기 위해 상세히 기술되지 않았다.
- [0025] 반도체 기관들로 반응 물질 전달을 위한 방법들 및 장치들이 본 명세서에 제공된다. 방법들 및 장치들은 가스들의 펄싱된 (pulse) 코-플로우 (co-flow) 를 포함하는 프로세스들에서 사용될 수도 있다. 가스들의 펄싱된 코-플로우는 가스들이 챔버 내에 동시에 존재하도록 펄스들로 기관을 하우징하는 챔버로 전달된 가스들을 지칭한다. 이들은 챔버로 개별적으로 전달되고 미리 혼합되지 않는다. 반응 물질들의 펄싱된 코-플로우를 포함할 수도 있는 프로세스의 일 예는 증착-억제-증착 (deposition-inhibition-deposition; DID) 시퀀스의 억제 동작이다. 코-플로우된 가스들은 반응 물질들로서 본 명세서에 기술될 수도 있지만, 프로세스 동안 반드시 반응할 필요는 없다는 것을 주의해야 한다.
- [0026] 도 1은 본 명세서에 기술된 다양한 실시 예들에 따라 구현될 수도 있는 DID 프로세스의 일 예를 도시한다. 먼저, (100) 에서, 충전되지 않은 피처 (unfilled feature) (102) 가 충전-전 (pre-fill) 스테이지에서 도시된다. 피처 (102) 는 반도체 기관 상의 하나 이상의 층들에 형성될 수도 있고 선택 가능하게 (optionally) 피처의 측벽들 및/또는 하단부를 라이닝하는 (line) 하나 이상의 층들을 가질 수도 있다. (110) 에서, 피처 (102) 내에서 충전될 재료 (104) 의 층을 형성하도록 충전 재료의 최초 증착 후 피처 (102) 가 도시된다. 재료의 예들은 텅스텐, 코발트, 몰리브덴 및 루테튬을 포함하지만, 본 명세서에 기술된 기법들은 임의의 적절한 재료의 억제를 위해 사용될 수도 있다.
- [0027] (120) 에서, 억제 처리 후 피처 (202) 가 도시된다. 억제 처리는 처리된 표면들 (106) 상의 후속하는 증착을 억제하는 효과를 갖는 처리이다. 억제는 처리될 표면들 및 억제 화학 물질을 포함하는 다양한 요인들에 따라 다양한 메커니즘들을 수반할 수도 있다. 본 명세서에 기술된 방법들에서, 억제는 열적 (즉, 비-플라즈마) 프로세스이다. 일 예에서, 텅스텐 핵생성, 따라서 텅스텐 증착은 질소-함유 화학 물질에 대한 노출에 의해 억제된다. 이는 열적 프로세스의 일 예에서 암모니아 증기에 대한 노출을 수반할 수 있다.
- [0028] 억제 메커니즘들의 예들은 텅스텐 나이트라이드 (WN) 또는 텅스텐 카바이드 (WC) 와 같은 화합물 재료의 박층을 형성하기 위해 억제 종과 피처 표면 사이의 화학적 반응을 포함할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 억제는 화합물 재료의 층을 형성하지 않고 표면을 패시베이션하는 (passivate) 흡착과 같은 표면 효과를 수반할 수 있다. 본 명세서에 기술된 방법들은 억제 거동을 유발하는 물리적 메커니즘들의 상세하거나 완전한 이해에 의존하지 않는다는 것을 주의해야 한다.

- [0029] 억제제는 억제 깊이 및 억제 변화량 (gradient) 을 특징으로 할 수도 있다. 즉, 억제제는 피처의 하단부에서보다 피처 개구부에서 보다 크고 그리고 피처 내로 부분적으로만 연장할 수 있도록, 깊이에 따라 가변할 수도 있다. 도시된 예에서, 억제 깊이는 전체 피처 깊이의 약 절반이다. 이에 더하여, 억제 처리는 피처 내에 보다 깊게 접선으로 그래픽으로 도시된 바와 같이, 피처의 상단부에서 보다 강하다.
- [0030] 증착이 피처 개구부 근방에서 억제되기 때문에, (130) 에 도시된 Dep2 스테이지 동안, 재료는 피처 개구부에서 보다 적은 정도로 증착되거나 증착되지 않는 동안 피처 하단부에 우선적으로 증착된다. 이는 충전된 피처 내 보이드들 및 심들 (seam) 의 형성을 방지할 수 있다. 이와 같이, Dep2 동안, 재료 (104) 는 컨포멀한 (conformal) Dep1 충전 대신 보텀-업 (bottom-up) 충진을 특징으로 하는 방식으로 충전될 수도 있다. 증착이 계속됨에 따라, 약하게 처리된 표면들 상의 증착이 더 이상 억제되지 않도록, 억제 효과가 제거될 수도 있다. 이는 (130) 에 예시되고, 처리된 표면들 (106) 은 Dep2 스테이지 전보다 덜 광범위하다. 도 1의 예에서, Dep2 가 진행됨에 따라, 억제제는 결국 모든 표면들 상에서 극복되고 그리고 피처는 (140) 으로 도시된 바와 같이 재료 (104) 로 완전히 충전된다.
- [0031] 도 1의 DID 프로세스는 피처의 상단에서 우선적으로 억제된 피처를 도시하지만, 일부 실시 예들에서, 전체 피처가 억제될 수도 있다. 이러한 프로세스는 예를 들어, 라인 벤딩 (line bending) 을 방지하는 데 유용할 수 있다.
- [0032] 억제 동작은 억제 가스 및 전구체 가스의 펄싱된 코-플로우를 포함할 수 있다. 예를 들어, 텅스텐 충진을 위한 DID 프로세스에서, 억제 동작 (120) 은 암모니아 (NH<sub>3</sub>) 와 같은 반응성 억제 가스 및 WF<sub>6</sub>와 같은 텅스텐 전구체를 포함하는 프로세스 가스들의 펄스들을 수반할 수 있다. 억제 가스의 펄스들은 아르곤 (Ar) 과 같은 불활성 퍼지 가스에 의해 분리된다. 전구체의 펄스들은 또한 불활성 퍼지 가스에 의해 분리된다. 프로세스 가스들이 코-플로우할 때, 이들은 챔버로 개별적으로 도입되고 그리고 챔버 내에서 동시에 증기상 (vapor phase) 이다.
- [0033] 본 명세서에 제공된 방법들에서, 가스들의 코-플로우는 개선된 균일성 및/또는 성능을 위해 위상 시프트될 (phase shift) 수도 있다. 도 2는 위상 시프트를 갖지 않는 코-플로우 펄스들 및 위상 시프트를 갖는 코-플로우 펄스들에 대한 예시적인 타이밍 시퀀스들을 도시한다. 위상 시프트는 또한 지연으로 지칭될 수도 있다. 펄스는 또한 도즈로 지칭된다.
- [0034] 도 2에서, "A 유출구" 및 "B 유출구"는 가스 소스 유출구들에서 각각 A 및 B의 플로우들을 지칭한다. 시퀀스 (210) 에서, 시간 t1에서 턴온된 (turn on) 두 가스들의 플로우에 대한 지연이 없다. 시퀀스 (220) 에서, 가스 A는 가스 A의 플로우가 가스 소스 유출구로부터 시간 t2에서 턴온되도록 지연된다.
- [0035] 일부 실시 예들에서, 방법들은 하나 이상의 파라미터들을 명시함으로써 구현된다. 예를 들어, 사용자는 지연을 명시하기 위해 다음의 파라미터들을 입력할 수도 있다.

**표 1**

파라미터	설명	값
지연	A와 B 사이의 코-플로우 지연 명시	지연 시간 (예를 들어, 0.5 초)
지연 타입 (DelayType)	도즈 또는 퍼지 단축	0 = 도즈 단축 1 = 퍼지 단축
지연 가스 (DelayGas)	지연시킬 가스 명시	0 = 지연 B 1 = 지연 A

- [0037] 상기 표에서, 다음의 파라미터들이 도시된다. 지연은 가스 소스 유출구로부터 흐르는 가스 A와 가스 B 사이의 지연 시간 값을 지칭한다. 일 예에서, 지연은 0.5 초이다. 일부 실시 예들에서, 두 가지 타입들의 지연, 하나는 도즈가 단축되는 지연 및 다른 하나는 순차적인 도즈들 사이의 퍼지가 단축되는 지연이 있다. 위의 표에서, 지연 타입 (DelayType) 파라미터는 도즈를 단축하는 것에 대해 0이고 그리고 퍼지를 단축하는 것에 대해 1이다. 지연 가스 (DelayGas) 파라미터는 지연시킬 가스, 예를 들어, B 지연에 대해 0 그리고 A 지연에 대해 1을 나타낸다.
- [0038] 도즈 개시 (dose onset) 는 샤워헤드로의 플로우를 허용하는 밸브가 개방될 때라는 것을 주의해야 한다. 이는 충전 용기 (charge vessel), 분배 라인, 또는 가스가 담기는 임의의 다른 컨테이너 또는 라인일 수 있는, "가스

소스"로 지칭된다. 일부 실시 예들에서, 충전 용기 및/또는 분배 라인은 가스 박스 내에 하우징된다.

- [0039] 지연이 없고 A 및 B 후 동일한 퍼지 시간들 및 가스 A 및 가스 B에 대해 동일한 도즈 시간들을 갖는 코-플로우 시퀀스가 기준으로서 사용될 수 있다. 도즈 또는 퍼지를 단축함으로써, A 사이클 및 B 사이클은 일부 실시 예들에서 동시에 종료될 수 있다. 다른 실시 예들에서, 가스의 퍼지 후 및 도즈 모두는 다른 것에 대해 단축될 수도 있다. 그리고 일부 실시 예들에서, 도즈 시간 및 퍼지 시간은 전체 A 사이클 및 B 사이클이 오프셋되어, 동일할 수도 있다. 그러나, 많은 실시 예들에서, 도즈들은 오버랩된다.
- [0040] 도 3은 B 지연을 갖는 A 프로세스 가스 및 B 프로세스 가스의 코-플로우 펄스들의 2 사이클들의 2 개의 예들에 대한 타이밍 시퀀스들을 도시한다. 가스 "A" 및 가스 "B" 각각의 타이밍 시퀀스들은 방향 전환 (divert), 라인 충전 (line charge), 도즈 및 퍼지를 도시한다. 가스들이 흐르는 증착 스테이션은 프로세스 가스들이 증착 스테이션을 바이패스할 수 있도록 프로세스 진공 배기부로 직행하는 방향 전환 라인을 포함할 수도 있다. 가스 매니폴드 시스템이 다양한 가스 분배 라인들에 라인 충전들을 제공하기 위해 사용될 수도 있다. 라인 충전은 분배 라인을 가압하는 것을 지칭한다. 이하에 더 기술된 바와 같이, 특정한 실시 예들에서, 충전 용기가 사용될 수도 있다. 시간의 적절한 증분 후, 충전 용기의 유출구 밸브가 개방되고 가스가 챔버로 전달된다. 가스의 전달에 적합한 시간 (도즈 시간) 후, 밸브는 폐쇄된다. 이어서 챔버는 퍼지될 수 있다. 도즈 및/또는 퍼지 지연은 방향 전환 및/또는 라인 충전의 존재 또는 부재를 포함하는 챔버로의 특정한 전달 모드에 종속되지 않는다.
- [0041] 도 3의 예에서, (310) 에서, B가 지연되어 A 도즈보다 보다 짧은 도즈 시간을 갖는다. A 퍼지 및 B 퍼지는 동일하게 유지된다. (320) 에서, B가 지연되어 보다 짧은 퍼지 시간을 갖는다. A 도즈와 B 도즈는 동일하게 유지된다.
- [0042] (310 및 320) 에 도시된 B 지연 동안, 아르곤 또는 다른 퍼지 가스가 B 유입구를 통해 증착 스테이션으로 흐르거나 흐르지 않을 수도 있다. 도즈는 밸브가 도즈로 하여금 스테이션으로 흐르게 하는 시간으로부터 시작되고 밸브가 폐쇄될 때 (또는 플로우가 중지될 때) 종료된다. 도즈는 또한 가스의 펄스로 지칭될 수도 있다.
- [0043] 일부 실시 예들에서, 지연은 기관으로의 상이한 전달 시간들을 보상한다. 이러한 차이는 예를 들어, 플로우 레이트들의 차이, 또는 가스 박스들, 전달 라인들, 또는 샤워헤드 플레넘들의 위치 또는 체적에 기인할 수도 있다. 이와 같이, 도 2에서와 같이 가스 박스 또는 다른 소스 유출구에서 A의 펄스 지연은 웨이퍼에서 "진정한 코-플로우"를 발생시킬 수 있다. 일 예에서, (220) 으로 도 2에 도시된 지연은 도 4의 (420) 으로 도시된 바와 같이 웨이퍼에서 진정한 코-플로우를 발생시킨다.
- [0044] 도 5는 시뮬레이션에 의해 생성될 때 웨이퍼의 중심으로부터 위치에 대한 NH<sub>3</sub> 질량 분율 및 WF<sub>6</sub> 질량 분율의 과도 시뮬레이션 (transient simulation) 결과들의 예들을 도시한다. 플롯들 각각에서, 라인들은 0.2 초, 0.3 초, 0.4 초, 0.5 초, 0.6 초, 0.7 초, 0.8 초, 0.9 초, 1 초, 1.3 초, 1.7 초 및 3 초를 나타낸다. 결과들은 NH<sub>3</sub>가 WF<sub>6</sub> 전에 웨이퍼에 도달한다는 것을 나타낸다. 따라서, WF<sub>6</sub>에 대한 NH<sub>3</sub>의 지연은 도 5의 예들에서 가스들이 웨이퍼에 동시에 도달하게 한다.
- [0045] 통상적으로 웨이퍼에서 코-플로우를 허용하기 위한 지연은 도즈들이 시간상 오버랩하도록 도즈 시간 자체보다 보다 짧다. 그러나, 예를 들어, 웨이퍼에 도달하는 시간의 차가 도즈 시간보다 보다 길다면, 도즈들이 오버랩되지 않는 예들이 있을 수도 있다.
- [0046] 대안적인 실시 예들에서, 도즈의 지연은 웨이퍼 표면에서 지연을 발생시킬 수도 있고, 이는 특정한 프로세싱에서 유리할 수도 있다.
- [0047] 실험 결과 또는 시뮬레이션 결과가 어느 가스가 지연되는지 그리고 얼마나 오래 지연되는지를 결정하는 것을 돕도록 사용될 수 있지만, 일부 실시 예들에서, 본 명세서에 기술된 방법들은 웨이퍼 표면에서 가스 플로우들의 상세하거나 완전한 이해에 의존하지 않는다.
- [0048] 일부 실시 예들에서, 지연은 균일성 및/또는 성능 특성과 같은 결과들을 최적화함으로써 결정될 수도 있다. 도 6은 2 개의 억제 프로세스들에 대한 웨이퍼 내 균일성을 개선하기 위해 지연들을 결정하는 예들을 도시한다. 웨이퍼의 에지 및 중심에서 핵생성 지연들은 다양한 가스 플로우 지연들에 대해 낮은 WF<sub>6</sub>를 사용하는 NH<sub>3</sub>/WF<sub>6</sub> 코-플로우 억제 프로세스에 대해 측정되고 그리고 플롯 (610) 에 플롯팅된다. 플롯의 왼쪽은 WF<sub>6</sub> 지연에 대한 결과를 도시하고 그리고 오른쪽은 NH<sub>3</sub> 지연에 대한 결과를 도시한다.

- [0049] 중심 지연 및 에지 지연은 별개의 곡선들로 나타나고 박스 (611) 로 나타낸 위치들에서 가장 가깝고,  $\text{NH}_3$  지연은 약 0.5 초 내지 1 초이다. 이는 중심에서 에지까지 최상의 균일성을 나타낸다. 웨이퍼 내 불균일성 (Within wafer non-uniformity; WiW NU) 은 지연이 없고 최적화된 지연에 대해 측정되었다. 지연은 7 %로부터 3.5 %로의 WiW NU 감소를 발생시킨다.
- [0050] 유사한 플롯 (620) 이 고  $\text{WF}_6$  플로우를 사용하는  $\text{NH}_3/\text{WF}_6$  코-플로우 억제 프로세스에 대해 생성되었다. 여기서, 최상의 균일성은 약 1 초 내지 2 초의  $\text{WF}_6$  지연에서 획득된다. WiW NU는 지연이 없는 것에 대해 그리고 최적화된 지연에 대해 측정되었다. 지연은 8 %로부터 5 %로의 WiW NU 감소를 발생시킨다.
- [0051] 균일성에 더하여 또는 대신에, 지연은 특정한 성능 특성을 튜닝하도록 사용될 수 있다. 예를 들어, 에지 억제를 최대화하기 위해 저  $\text{WF}_6$  프로세스에서 약 0.5 초 내지 1 초의 지연이 사용될 수도 있다.
- [0052] 억제 프로세스들에 더하여, 본 명세서에 기술된 방법들 및 장치는 다른 필싱된 코-플로우 프로세스들과 함께 구현될 수도 있다. 일 예는 반응 물질들 중 하나가 또 다른 가스와 코-플로우하는 ALD (atomic layer deposition) 프로세스들을 포함한다. 예를 들어, 도 7은 디보란을 사용하여 텅스텐 핵생성 층을 증착하기 위한 방법의 예시적인 사이클들을 도시하는 타이밍 시퀀스 다이어그램의 일 예를 도시한다. 도 7에 도시된 바와 같이, 수소는 디보란 펄스 동안에만 흐른다.  $\text{H}_2$ 가 붕소-함유 환원제와 코-플로우하지만 텅스텐-함유 전구체 플로우와 코-플로우하지 않음으로써, 핵생성 층의 단차 커버리지 및 컨포멀성이 개선될 수 있다. 도 8에서, 단축된 도즈를 갖는  $\text{B}_2\text{H}_6$  지연의 타이밍 시퀀스가 도시된다.
- [0053] 본 명세서에 기술된 프로세스들은 2 개 이상의 가스들을 챔버로 개별적으로 전달하도록 구성된 임의의 챔버 및 가스 전달 시스템과 함께 사용될 수도 있다. 도 9a는 2 개의 가스들을 챔버로 개별적으로 전달하도록 구성된 듀얼 플레넘 샤워헤드의 일 예를 도시한다. 도 9a의 예에서,  $\text{WF}_6$  및  $\text{NH}_3$ 가 전달된다.  $\text{WF}_6$ 는 상부 플레넘을 통해 그리고  $\text{NH}_3$ 는 하부 플레넘을 통해 전달되고, 가스들은 샤워헤드를 나갈 때까지 분리된다. 단일 플레넘 샤워헤드들이 또한 사용될 수도 있고, 가스들은 잠재적으로 샤워헤드 내에서 혼합된다. 샤워헤드와 무관하게, 상이한 가스 소스들은, 예를 들어, 상기 기술된 바와 같이  $\text{B}_2\text{H}_6/\text{H}_2$  코-플로우를 사용하여 금속 핵생성 층을 증착하기 위한 구성을 예시하는, 도 9b에 도시된 바와 같이 연결된다. 도 10은 질량 유량 제어기 (mass flow controller; MFC), CV (charge vessels) 및 샤워헤드에 연결된 유출구 밸브를 포함하는 가스 플로우의 개략적인 예시를 도시한다. 상기 기술된 바와 같이, 도즈는 가스 소스 (도 10의 예에서 가스 박스) 로부터 샤워헤드로의 플로우를 허용하도록 유출구 밸브(들)가 개방될 때 시작된다.
- [0054] 다른 실시 예들에서, 2 개의 반응 물질 플로우들 중 하나는 억제 또는 다른 프로세스 동안 연속적인 플로우 모드에 있을 수도 있고, 다른 반응 물질 플로우는 지연과 함께 또는 지연 없이 필싱된다. 이는 또한 웨이퍼에서 코-플로우를 허용할 수 있다.
- [0055] 금속-함유 전구체들
- [0056] 특정한 실시 예들에서, 방법들은 코발트, 몰리브덴, 또는 루테튬 막들 또는 이들 금속들을 함유하는 화합물 막들의 DID 프로세스들을 포함하는, 억제-증착 프로세스들의 일부로서 사용될 수도 있다.  $\text{WF}_6$ 이 상기 기술에서 텅스텐-함유 전구체의 일 예로서 사용되지만, 다른 텅스텐-함유 전구체들이 개시된 실시 예들을 수행하는 데 적합할 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 금속-유기 텅스텐-함유 전구체가 사용될 수도 있다. 유기-금속 전구체들 및 MDNOW (methylcyclopentadienyl-dicarbonylnitrosyl-tungsten) 및 EDNOW (ethylcyclopentadienyl-dicarbonylnitrosyl-tungsten) 과 같은 불소가 없는 (free of fluorine) 전구체들이 또한 사용될 수도 있다. 텅스텐 펜타클로라이드 ( $\text{WCl}_5$ ) 및 텅스텐 헥사클로라이드 ( $\text{WCl}_6$ ) 와 같은 염소-함유 텅스텐 전구체들 ( $\text{WCl}_x$ ) 이 사용될 수도 있다.
- [0057] 몰리브덴 (Mo) 을 증착하기 위해, 몰리브덴 헥사플루오라이드 ( $\text{MoF}_6$ ), 몰리브덴 펜타클로라이드 ( $\text{MoCl}_5$ ), 몰리브덴 디클로라이드 다이옥사이드 ( $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$ ), 몰리브덴 테트라클로라이드 옥사이드 ( $\text{MoOCl}_4$ ), 및 몰리브덴 헥사카르보닐 ( $\text{Mo}(\text{CO})_6$ ) 을 포함하는 Mo-함유 전구체들이 사용될 수도 있다.
- [0058] 루테튬 (Ru) 을 증착하기 위해, Ru-전구체들이 사용될 수도 있다. 산화 반응들에 사용될 수도 있는 루테튬 전구체들의 예들은 (에틸벤질)(1-에틸-1,4-사이클로헥사디에닐)Ru(0) ((ethylbenzyl)(1-ethyl-1,4-

cyclohexadienyl)Ru(0)), (1-이소프로필-4-메틸벤질)(1,3-사이클로헥사디에닐)Ru(0) ((1-isopropyl-4-methylbenzyl)(1,3-cyclohexadienyl)Ru(0)), 2,3-디메틸-1,3-부타디에닐)Ru(0)트리카르보닐 (2,3-dimethyl-1,3-butadienyl)Ru(0)tricarboxyl), (1,3-시클로헥사디에닐)Ru(0)트리카르보닐 ((1,3-cyclohexadienyl)Ru(0)tricarboxyl) 및 (시클로펜타디에닐)(에틸)Ru(II)디카르보닐 ((cyclopentadienyl)(ethyl)Ru(II)dicarbonyl) 을 포함한다. 비산화 반응 물질들과 반응하는 루테튬 전구체들의 예들은 비스(5-메틸-2,4-헥사디케토나토)Ru(II)디카르보닐 (bis(5-methyl-2,4-hexanediketonato)Ru(II)dicarbonyl) 및 비스(에틸시클로펜타디에닐)Ru(II) (bis(ethylcyclopentadienyl)Ru(II)) 이다.

[0059] 코발트 (Co) 를 증착하기 위해, 디카르보닐 사이클로펜타디에닐 코발트 (I) (dicarbonyl cyclopentadienyl cobalt (I)), 코발트 카르보닐 (cobalt carbonyl), 다양한 코발트 아마이드네이트 전구체들 (cobalt amidinate precursors), 코발트 디아자디에닐 착체들 (cobalt diazadienyl complexes), 코발트 아마이드네이트/구아니디네이트 전구체들 (cobalt amidinate/guanidinate precursors) 및 이들의 조합들을 포함하는 코발트-함유 전구체들이 사용될 수도 있다.

[0060] 금속-함유 전구체는 상기 기술된 바와 같이 환원제와 반응할 수도 있다. 일부 실시 예들에서, H<sub>2</sub>는 고 순도 막들을 증착하도록 벌크 층 증착을 위한 환원제로서 사용된다.

[0061] 핵생성 층 증착

[0062] 일부 구현 예들에서, 본 명세서에 기술된 방법들은 벌크 층의 증착 전에 핵생성 층의 증착을 수반한다. 핵생성 층은 통상적으로 그 위에 벌크 재료의 후속 증착을 용이하게 하는 박형의 컨포멀한 층이다. 예를 들어, 핵생성 층은 피처의 임의의 층진 전에 그리고/또는 웨이퍼 표면 상의 피처 (예를 들어, 비아 상호연결부) 의 층진 동안 후속 지점들에서 증착될 수도 있다. 예를 들어, 일부 구현 예들에서, 핵생성 층은 피처 내의 텅스텐의 예칭에 이어서, 뿐만 아니라 최초 텅스텐 증착 전에 증착될 수도 있다.

[0063] 특정한 실시 예들에서, DID 프로세스의 제 1 증착은 핵생성 층이다. 제 1 증착은 또한 벌크 층 또는 핵생성 + 벌크 층일 수도 있다.

[0064] 특정한 구현 예들에서, 핵생성 층은 펄싱된 핵생성 층 (pulsed nucleation layer; PNL) 기법을 사용하여 증착된다. 텅스텐 핵생성 층을 증착하기 위한 PNL 기법에서, 환원제, 선택 가능한 퍼지 가스들 및 텅스텐 함유 전구체의 펄스들은 반응 챔버 내로 순차적으로 주입되고 반응 챔버로부터 퍼지된다. 프로세스는 목표된 두께가 달성될 때까지 순환적 방식으로 반복된다. PNL은 ALD 기법들을 포함하는, 반도체 기관 상의 반응을 위해 순차적으로 반응 물질들을 추가하는 임의의 순환적 프로세스를 광범위하게 구현한다. 핵생성 층 두께는 핵생성 층 증착 방법뿐만 아니라 벌크 증착의 목표된 품질에 종속될 수 있다. 일반적으로, 핵생성 층 두께는 고품질, 균일한 벌크 증착을 지지하기에 충분하다. 예들은 10 Å 내지 100 Å 범위일 수도 있다.

[0065] 본 명세서에 기술된 방법들은 핵생성 층 증착의 특정한 방법에 제한되지 않고, PNL, ALD, CVD 및 PVD (Physical Vapor Deposition) 를 포함하는 임의의 방법에 의해 형성된 핵생성 층들 상에 벌크 막의 증착을 포함한다. 게다가, 특정한 구현 예들에서, 벌크 텅스텐은 핵생성 층을 사용하지 않고 피처 내에 직접 증착될 수도 있다. 예를 들어, 일부 구현 예들에서, 피처 표면 및/또는 이미-증착된 하부 층 (under-layer) 은 벌크 증착을 지지한다. 일부 구현 예들에서, 핵생성 층을 사용하지 않는 벌크 텅스텐 증착 프로세스가 수행될 수도 있다.

[0066] 다양한 구현 예들에서, 텅스텐 핵생성 층 증착은 텅스텐 헥사플루오라이드 (WF<sub>6</sub>), 텅스텐 헥사클로라이드 (WCl<sub>6</sub>) 및 텅스텐 헥사카르보닐 (W(CO)<sub>6</sub>) 과 같은 텅스텐 함유 전구체로의 노출을 수반할 수 있다. 특정한 구현 예들에서, 텅스텐 함유 전구체는 WF<sub>6</sub>와 같은 할로젠 함유 화합물이다. 유기-금속 전구체들, 및 MDNOW (methylcyclopentadienyl-dicarbonylnitrosyl-tungsten) 및 EDNOW (ethylcyclopentadienyl-dicarbonylnitrosyl-tungsten) 과 같은 불소가 없는 전구체들이 또한 사용될 수도 있다.

[0067] 환원제들의 예들은 디보란 (B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 및 다른 보란들을 포함하는 붕소 함유 환원제들, 실란 (SiH<sub>4</sub>) 및 다른 실란들을 포함하는 실리콘 함유 환원제들, 하이드라진들 및 게르만들을 포함할 수 있다. 일부 구현 예들에서, 금속-함유 전구체들의 펄스들은 하나 이상의 환원제들, 예를 들어, S/W/S/W/B/W, 등의 펄스들과 교번될 수 있고, W는 텅스텐-함유 전구체를 나타내고, S는 실리콘-함유 전구체를 나타내고, 그리고 B는 붕소-함유 전구체를 나타낸다. 일부 구현 예들에서, 별개의 환원제는 사용되지 않을 수도 있고, 예를 들어, 텅스텐 함유 전구체가

열적 분해 또는 플라즈마-보조된 분해를 겪을 수도 있다.

[0068]

다른 금속들에 대한 금속 전구체들은 상기 기술되었다.

[0069]

벌크 증착

[0070]

상기 기술된 바와 같이, 벌크 증착은 웨이퍼에 걸쳐 수행될 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 벌크 증착은 피치 내에 벌크 충전 층을 증착하기 위해 환원제 및 금속-함유 전구체가 증착 챔버 내로 흐르는 CVD 프로세스에 의해 발생할 수 있다. 불활성 캐리어 가스가 사전-혼합될 수도 있고 사전-혼합되지 않을 수도 있는, 하나 이상의 반응 물질 스트림들을 전달하도록 사용될 수도 있다. PNL 또는 ALD 프로세스들과 달리, 이 동작은 일반적으로 목표된 양이 증착될 때까지 연속적으로 반응 물질들을 흘리는 동작을 수반한다. 특정한 구현 예들에서, CVD 동작은 방향 전환된 하나 이상의 반응 물질 플로우들의 기간들에 의해 분리된 반응 물질들의 연속적 플로우 및 동시 플로우의 복수의 기간들을 갖는, 복수의 단계들로 발생할 수도 있다. 벌크 증착은 또한 금속-함유 전구체가 H<sub>2</sub>와 같은 환원제로 교번되는 ALD 프로세스들을 사용하여 수행될 수도 있다.

[0071]

본 명세서에 기술된 금속 막들이 사용된 특정한 전구체들 및 프로세스들에 따라, 일부 양의 다른 화합물들, 도펀트들 (dopants) 및/또는 질소, 탄소, 산소, 붕소, 인, 황, 실리콘, 게르마늄 등과 같은 불순물들을 포함할 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 막 내의 금속 함량은 20 % 내지 100 % (원자) 금속 범위일 수도 있다. 많은 구현 예들에서, 막들은 적어도 50 % (원자) 금속, 또는 심지어 적어도 약 60 %, 75 %, 90 %, 또는 99 % (원자) 금속을 갖는, 금속-풍부 (metal-rich) 이다. 일부 구현 예들에서, 막들은 금속 또는 원소 금속 (예를 들어, W, Mo, Co, 또는 Ru) 및 다른 금속-함유 화합물들, 예컨대 텅스텐 카바이드 (WC), 텅스텐 나이트라이드 (WN), 몰리브덴 나이트라이드 (MoN) 등의 혼합물일 수도 있다. 이들 재료들의 CVD 및 ALD 증착은 상기 기술된 바와 같이 임의의 적절한 전구체들을 사용하는 것을 포함할 수 있다.

[0072]

일부 실시 예들에서, DID 프로세스의 제 1 증착 및 제 2 증착은 환원제로서 H<sub>2</sub>를 사용하는 ALD 프로세스를 사용하는 벌크 증착을 수반한다. 금속 전구체들은 상기 기술되었다.

[0073]

금속 핵생성의 억제

[0074]

열적 억제 프로세스들은 일반적으로 피치 개구부 근방의 피치를 비-컨포멀하게 (non-conformally) 억제하도록 암모니아 (NH<sub>3</sub>) 또는 하이드라진 (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) 과 같은 질소-함유 화합물에 피치를 노출하는 단계를 수반한다. 일부 실시 예들에서, 열적 억제 프로세스들은 250 °C 내지 450 °C 범위의 온도들에서 수행된다. 이들 온도들에서, 이전에 형성된 텅스텐 또는 다른 층의 NH<sub>3</sub>로의 노출은 억제 효과를 발생시킨다. 질소 (N<sub>2</sub>) 또는 수소 (H<sub>2</sub>) 와 같은 다른 잠재적으로 억제하는 화학 물질들이 보다 고온들 (예를 들어, 900 °C) 에서 열적 억제를 위해 사용될 수도 있다. 그러나, 많은 적용 예들에서, 이들 고온들은 열 예산을 초과한다. 암모니아에 더하여, 하이드라진 과 같은 다른 수소-함유 질화제들은 BEOL (back end of line) 적용 예들에 적절한 보다 낮은 온도들에서 사용될 수도 있다.

[0075]

표면의 질화 (nitridation) 가 이를 패시베이션할 수 있다. 나이트라이드 표면 상의 텅스텐 또는 몰리브덴 또는 코발트와 같은 다른 금속의 후속하는 증착은 정규 벌크 텅스텐 막 상에서와 비교하여, 상당히 지연된다. NF<sub>3</sub> 에 더하여, CF<sub>4</sub> 또는 C<sub>2</sub>F<sub>8</sub>과 같은 플루오로카본들이 사용될 수도 있다. 그러나, 특정한 구현 예들에서, 억제 중은 억제 동안 에칭을 방지하기 위해 불소가 없다.

[0076]

상기 기술된 표면들에 더하여, 핵생성은 TiN 표면 및/또는 WN 표면과 같은 라이너 층 표면/배리어 층 표면 상에서 억제될 수도 있다. 이들 표면들을 패시베이션하는 임의의 화학 물질들이 사용될 수도 있다. 억제 화학 물질은 또한 사용된 활성화 억제 중의 상이한 비율로, 억제 프로파일을 튜닝하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, W 표면들의 억제를 위해, 질소는 수소보다 강한 억제 효과를 가질 수도 있다; 형성 가스에서 N<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub> 가스의 비를 조정하는 것은 프로파일을 튜닝하기 위해 사용될 수 있다.

[0077]

특정한 구현 예들에서, 기판은 억제 전 가열되거나 냉각될 수 있다. 기판에 대한 미리 결정된 온도가 피치 표면과 억제 중 사이에 화학 반응을 유도하고 그리고/또는 억제 중의 흡착을 촉진하고, 뿐만 아니라 반응 또는 흡착의 레이트를 제어하기 위해 선택될 수 있다. 예를 들어, 온도가 가스 소스 근방에 보다 많은 억제가 발생하도록, 고 반응 레이트를 갖도록 선택될 수도 있다.

[0078]

일부 실시 예들에서, 억제는 금속 나이트라이드 막과 같은 화합물 재료의 박층을 형성하도록 열적 억제제 종과

피처 표면 사이의 화학적 반응을 수반할 수 있다. 일부 실시 예들에서, 억제제는 화합물 재료의 층을 형성하지 않고 표면을 패시베이션하는 흡착과 같은 표면 효과를 수반할 수 있다.

[0079] 본 명세서에 기술된 방법들의 실시 예들은 특정한 억제 화학 물질로 제한되지 않는다. 억제 가스는 억제 메커니즘과 무관하게 반응성 억제 가스로서 지칭될 수도 있다. 이는 헬륨 (He) 및 아르곤 (Ar) 과 같은 불활성 가스들 및 반응하거나 표면 효과를 유발하지 않고 가스 플로우를 지향시키도록 사용될 수도 있는 다른 비반응성 가스들과 구별된다.

[0080] 상기 기술된 바와 같이, 본 명세서에 기술된 방법들에서, 금속 전구체 가스가 또한 억제 동안 흐를 수도 있다. 다양한 실시 예들에 따라, 전구체의 존재로 인해 억제 동안 소량의 막이 증착될 수도 있다.

[0081] 장치

[0082] 본 명세서에 제시된 방법들은 다양한 판매 회사들로부터 입수 가능한 다양한 타입들의 증착 장치들로 수행될 수도 있다. 적합한 장치의 예들은 Concept-1 ALTUS™, Concept 2 ALTUS™, Concept-2 ALTUS-S™, Concept 3 ALTUS™ 증착 시스템, ALTUS Max™, ALTUS ICEFi11™ 또는 임의의 다양한 다른 상업적으로 입수 가능한 증착 틀들을 포함한다. 단일 스테이션 증착 장치 및 복수의 스테이션 증착 장치 모두의 스테이션들이 상기 기술된 방법들을 수행하도록 사용될 수 있다.

[0083] 도 11은 이전에 기술된 다양한 방법들에 따라 사용될 수도 있는 장치 (1160) 를 도시한다. 증착 스테이션 (1102) 은 증착 동안 웨이퍼를 지지하는 기관 지지부 (1103) 를 갖는다. 배제 링 (1100) 및 샤워헤드 (1105) 가 도시된다. 상기 논의된 바와 같이, 일부 실시 예들에서, 프로세스 가스들은 진공 및 처리 가스 소스를 구비한 기관 지지부에, 샤워헤드 (1105) 를 통해 피딩될 수도 있다. 일부 실시 예들에서, 샤워헤드 (1105) 는 듀얼 플래넵 샤워헤드이다. 기관 지지부가 처리 가스 소스를 구비하면, 억제 처리 가스 (예를 들어, NH<sub>3</sub>) 는 샤워헤드를 통한 것에 더하여 기관 지지부를 통해 웨이퍼의 후면 및/또는 에지로 흐를 수도 있다. 이러한 경우들에서, 후면 처리 가스는 전면 처리 가스와 함께 펄싱될 수도 있고, 전면 처리 가스가 펄싱되는 동안 연속적으로, 또는 달리 적절하게 흐를 수도 있다.

[0084] 가스 센서들, 압력 센서들, 온도 센서들, 등이 다양한 실시 예들 동안 스테이션 조건들에 대한 정보를 제공하기 위해 사용될 수도 있다. 실시 예들 동안 모니터링될 수도 있는 스테이션 센서들의 예들은 질량 유량 제어기들, 마노미터들 (manometers) 과 같은 압력 센서들, 페테스탈에 위치한 열전대들 (thermocouples) 및 스테이션 내의 가스 또는 가스들의 존재를 모니터링하기 위한 적외선 검출기들을 포함한다. 특정한 실시 예들에서, 제어기 (1174) 가 스테이션의 프로세스 조건들을 제어하도록 채용된다. 제어기들의 타입들에 대한 상세들은 도 11을 참조하여 이하에 더 논의되고, 이 도면에 대한 논의는 챔버뿐만 아니라 스테이션을 위한 제어기에 적용 가능하다. (1176) 과 같은 센서들은 제어기 (1174) 에 정보를 제공하기 위해 사용될 수도 있다.

[0085] 도 12는 특정한 실시 예들과 함께 사용될 수도 있는 멀티-스테이션 장치 (1200) 의 일 예를 도시한다. 장치 (1200) 는 복수의 스테이션들을 하우징하는, 프로세싱 챔버 (1201) 를 포함한다. 프로세싱 챔버는 적어도 2 개의 스테이션들, 또는 적어도 3 개의 스테이션들, 또는 적어도 4 개의 스테이션들, 또는 그 이상을 하우징할 수 있다. 도 12는 4 개의 스테이션들 (1231, 1232, 1233 및 1234) 을 갖는 장치 (1200) 를 도시한다. 일부 실시 예들에서, 프로세싱 챔버 (1201) 를 갖는 멀티-스테이션 장치 (900) 의 모든 스테이션들은 시스템 제어기 (1274) 에 의해 제어되는 동일한 압력 환경에 노출될 수도 있다. 센서들 (미도시) 이 또한 챔버 압력 판독 값들 (readings) 을 제공하기 위한 압력 센서를 포함할 수도 있다. 그러나, 스테이션 각각은 개별적인 온도 조건들 또는 다른 조건들을 가질 수도 있다.

[0086] 증착 프로세스에서, 프로세싱될 웨이퍼는 로드 록을 통해 스테이션 (1231) 내로 로딩될 수도 있다. 이 스테이션에서, 핵생성 및/또는 벌크 층 증착 프로세스가 수행될 수도 있다. 이어서 웨이퍼는 상기 기술된 바와 같은 지연을 포함하는 억제 처리를 위해 스테이션 (1232) 으로 인덱싱될 수도 있다. 이어서 벌크 증착이 스테이션들 (1233 및 1234) 에서 수행될 수도 있다. 다른 실시 예들에서, 처리는 DID 시퀀스의 증착 동작 중 하나 또는 둘 모두와 동일한 스테이션에서 발생할 수도 있다. 또한, 이들 동작들 중 임의의 동작은 별개의 챔버에서 수행될 수도 있다.

[0087] 일 예에서, 제 1 증착은 제 1 스테이션에서 금속 전구체 및 환원제의 교번하는 도즈들, 이어서 지연을 사용한 억제 처리를 위해 제 2 스테이션으로 기관의 이송, 이어서 제 1 스테이션에서 금속 전구체 및 환원제의 교번하는 도즈들을 포함하는 제 2 증착을 위해 제 3 스테이션으로 기관의 이송을 포함한다. 예시적인 증착 시퀀스들

은 도 7 및 도 8에 제공된다. 일부 실시 예들에서, H<sub>2</sub> 환원제가 (코-플로우와 함께 또는 없이) 사용될 수도 있다.

[0088] 시스템 제어기 (1274) 는 챔버의 가스 플로우들 및 압력과 같은, 인덱싱, 스테이션들 및 프로세싱 챔버의 조건들을 제어할 수 있다. (하나 이상의 물리적 또는 논리적 제어기들을 포함할 수도 있는) 시스템 제어기 (1274) 는 프로세스 챔버 (1201) 의 일부 또는 모든 동작들을 제어한다. 시스템 제어기 (1274) 는 하나 이상의 메모리 디바이스들 및 하나 이상의 프로세서들을 포함할 수도 있다. 일부 구현 예들에서, 시스템 제어기 (1274) 는 상기 기술된 예들의 일부일 수도 있는, 시스템의 일부이다. 이러한 시스템들은, 프로세싱 툴 또는 툴들, 챔버 또는 챔버들, 프로세싱용 플랫폼 또는 플랫폼들 및/또는 특정 프로세싱 컴포넌트들 (웨이퍼 페데스탈, 가스 플로우 시스템, 등) 을 포함하는, 반도체 프로세싱 장비를 포함할 수 있다. 이들 시스템들은 반도체 웨이퍼 또는 기판의 프로세싱 이전에, 프로세싱 동안에 그리고 프로세싱 이후에 그들의 동작을 제어하기 위한 전자 장치와 통합될 수도 있다. 전자 장치는 시스템 또는 시스템들의 다양한 컴포넌트들 또는 하위부분들을 제어할 수도 있는, 시스템 제어기로 통합될 수도 있다. 시스템의 프로세싱 파라미터들 및/또는 타입에 따른 시스템 제어기는, 프로세싱 가스들의 전달, 온도 설정들 (예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정들, 진공 설정들, 플로우 레이트 설정들 및 시간들, 유체 전달 설정들, 위치 설정 및 동작 설정, 툴 및 다른 이송 툴들 및/또는 특정 시스템과 연결되거나 인터페이싱된 로드 록들 내외로의 웨이퍼 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 프로세스들 중 임의의 프로세스들을 제어하도록 프로그래밍될 수도 있다.

[0089] 일반적으로 말하면, 시스템 제어기는 인스트럭션들을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 동작을 제어하고, 설정 동작들을 인에이블하고 (enable), 엔드포인트 측정들을 인에이블하는, 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 (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 프로세스를 실행하기 위한 동작 파라미터들을 규정하는, 다양한 개별 설정 사항들 (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 또는 제거 동안 하나 이상의 프로세싱 단계들을 달성하도록 프로세스 엔지니어들에 의해서 규정된 레시피의 일부일 수도 있다.

[0090] 시스템 제어기는, 일부 구현 예들에서, 시스템과 통합되거나, 시스템에 커플링되거나, 이와 달리 시스템에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합으로 될 수 있는 컴퓨터에 커플링되거나 이의 일부일 수도 있다. 예를 들어, 제어기는 웨이퍼 프로세싱의 원격 액세스를 가능하게 할 수 있는 공장 (fab) 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부이거나 "클라우드" 내에 있을 수도 있다. 컴퓨터는 제조 동작들의 현 진행을 모니터링하고, 과거 제조 동작들의 이력을 조사하고, 복수의 제조 동작들로부터 경향들 또는 성능 예측치들을 조사하고, 현 프로세싱의 파라미터들을 변경하고, 현 프로세싱을 따르는 프로세싱 단계들을 설정하고, 또는 새로운 프로세스를 시작하기 위해서 시스템으로의 원격 액세스를 인에이블할 수도 있다. 일부 예들에서, 원격 컴퓨터 (예를 들어, 서버) 는 로컬 네트워크 또는 인터넷을 포함할 수도 있는 네트워크를 통해 시스템에 프로세스 레시피들을 제공할 수 있다. 원격 컴퓨터는 차후에 원격 컴퓨터로부터 시스템으로 전달될 파라미터들 및/또는 설정사항들의 입력 또는 프로그래밍을 인에이블하는 사용자 인터페이스를 포함할 수도 있다. 일부 예들에서, 시스템 제어기는 하나 이상의 동작들 동안 수행될 프로세스 단계들 각각에 대한 파라미터들을 특정하는, 데이터의 형태의 인스트럭션들을 수신한다. 파라미터들은 제어기가 제어하거나 인터페이싱하도록 구성되는 툴의 타입 및 수행될 프로세스의 타입에 특정적일 수도 있다. 따라서 상기 기술된 바와 같이, 시스템 제어기는 예컨대 본 명세서에 기술된 프로세스들 및 제어들과 같은, 예컨대 공동의 목적을 향해 함께 네트워킹되고 작동되는 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.

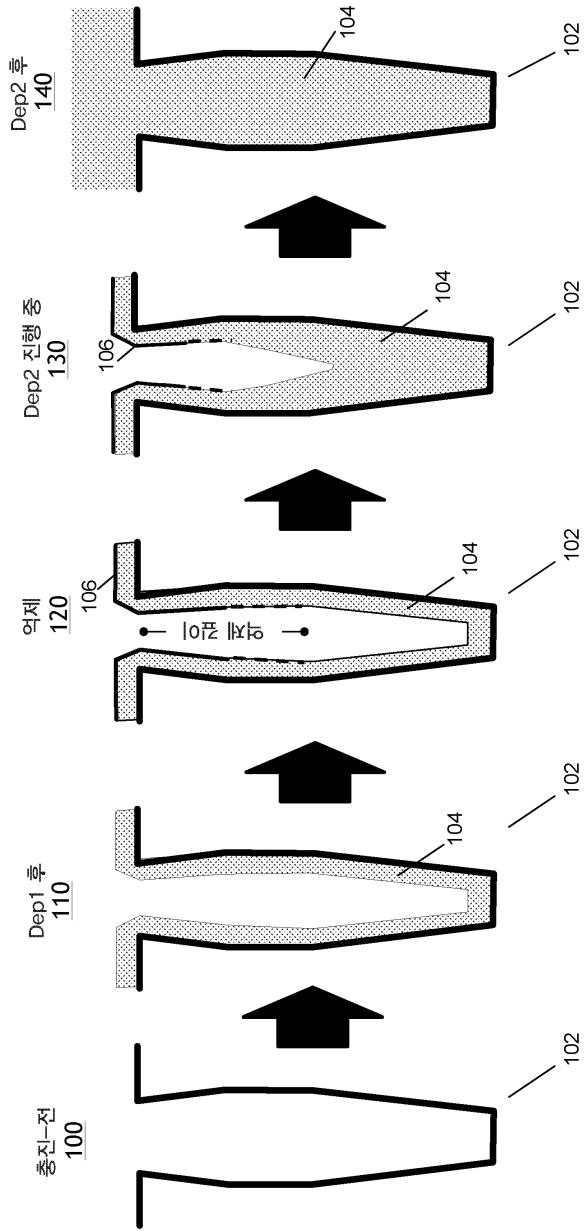
[0091] 비한정적으로, 예시적인 시스템들은 플라즈마 에칭 챔버 또는 모듈, 증착 챔버 또는 모듈, 스핀-린스 챔버 또는 모듈, 금속 도금 챔버 또는 모듈, 세정 챔버 또는 모듈, 베벨 에지 에칭 챔버 또는 모듈, PVD 챔버 또는 모듈, CVD 챔버 또는 모듈, ALD 챔버 또는 모듈, ALE 챔버 또는 모듈, 이온 주입 챔버 또는 모듈, 트랙 (track) 챔버 또는 모듈 및 반도체 웨이퍼들의 제조 및/또는 제작 시에 사용될 수도 있거나 연관될 수도 있는 임의의 다른 반도체 프로세싱 시스템들을 포함할 수도 있다.

[0092] 상기 주지된 바와 같이, 틀에 의해서 수행될 프로세스 단계 또는 단계들에 따라서, 제어기는, 반도체 제작 공장 내의 틀 위치들 및/또는 로드 포트들로부터/로드 포트들로 웨이퍼들의 컨테이너들을 이동시키는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 틀 회로들 또는 모듈들, 다른 틀 컴포넌트들, 클러스터 틀들, 다른 틀 인터페이스들, 인접 틀들, 이웃하는 틀들, 공장 도처에 위치한 틀들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기, 또는 틀들 중 하나 이상과 통신할 수도 있다.

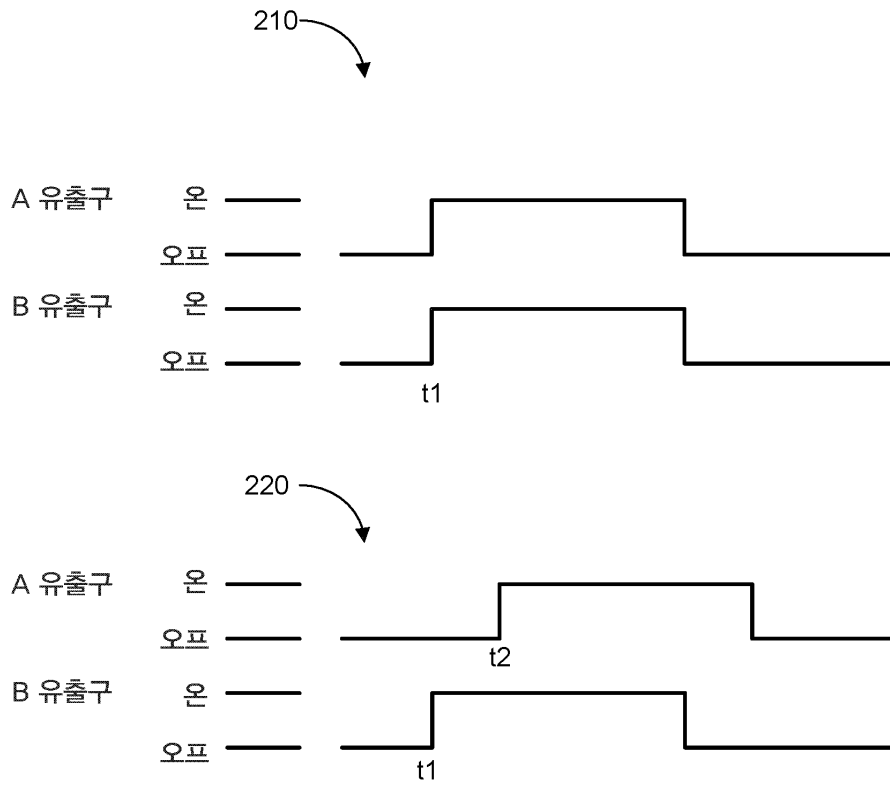
[0093] 패터닝 방법/장치:

[0094] 상기 본 명세서에 기술된 장치/프로세스는 예를 들어, 반도체 디바이스들, 디스플레이들, LED들, 광전 패널들 등의 제조 또는 제작을 위해 리소그래픽 패터닝 틀들 또는 프로세스들과 함께 사용될 수도 있다. 통상적으로, 반드시 그러한 것은 아니지만, 이러한 틀들/프로세스들은 공통 제조 설비에서 함께 사용되거나 수행될 것이다. 막의 리소그래픽 패터닝은 통상적으로 단계 각각이 다수의 가능한 틀들을 사용하여 인에이블되는 이하의 단계들: (1) 스피논 (spin-on) 틀 또는 스프레이온 (spray-on) 틀을 사용하여 워크피스, 즉, 기판 상에 포토레지스트를 도포하는 단계; (2) 핫 플레이트 또는 노 또는 UV 경화 틀을 사용하여 포토레지스트를 경화하는 단계; (3) 웨이퍼 스텝퍼와 같은 틀을 사용하여 가시광선 또는 UV 또는 x-선 광에 포토레지스트를 노출시키는 단계; (4) 습식 벤치와 같은 틀을 사용하여 레지스트를 선택적으로 제거하여 레지스트를 패터닝하도록 레지스트를 현상하는 단계; (5) 건식 또는 플라즈마 보조 에칭 틀을 사용함으로써 아래에 놓인 막 또는 워크피스 내로 레지스트 패턴을 전사하는 단계; 및 (6) RF 또는 마이크로파 플라즈마 레지스트 스트립퍼와 같은 틀을 사용하여 레지스트를 제거하는 단계 중 일부 또는 전부를 포함한다.

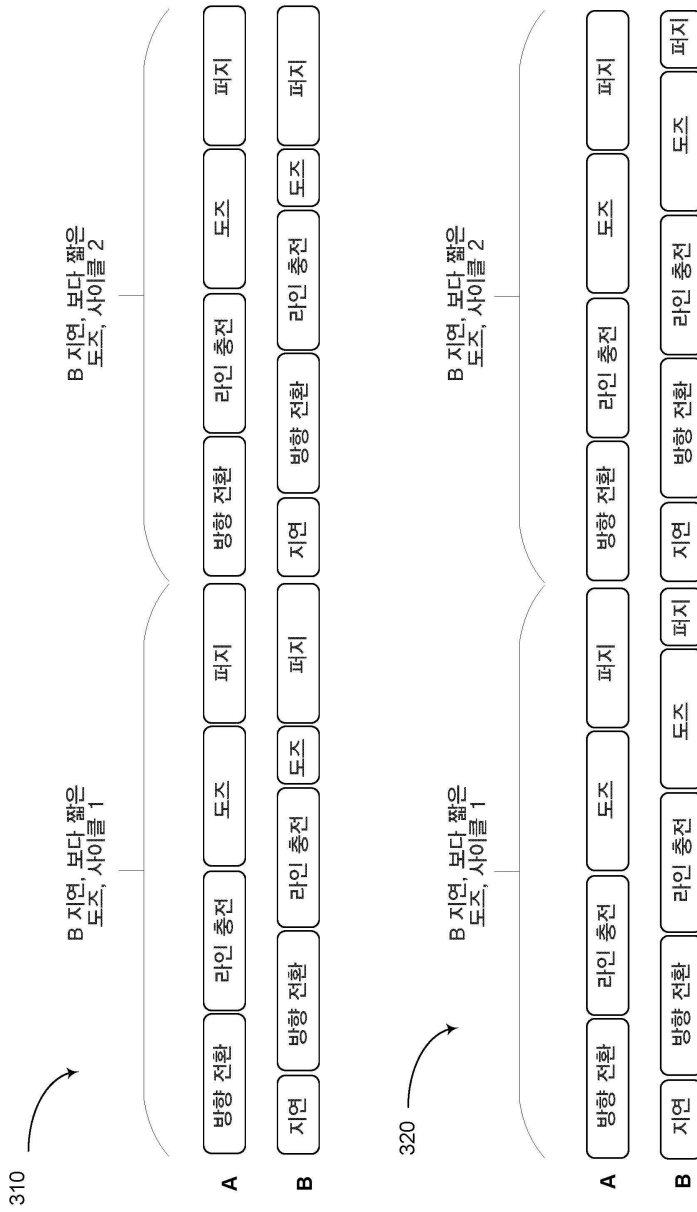
도면  
도면1



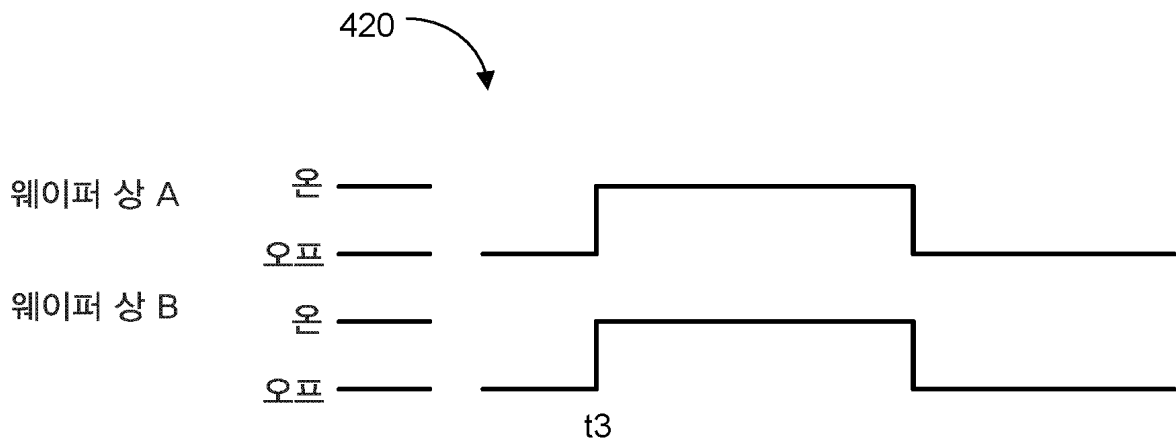
도면2



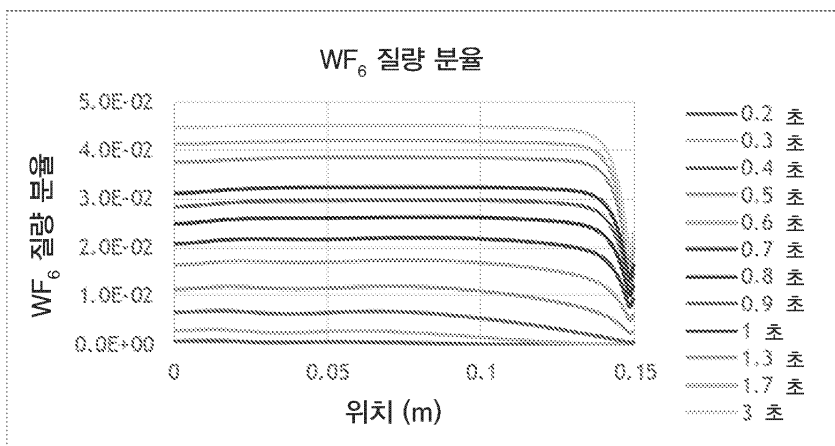
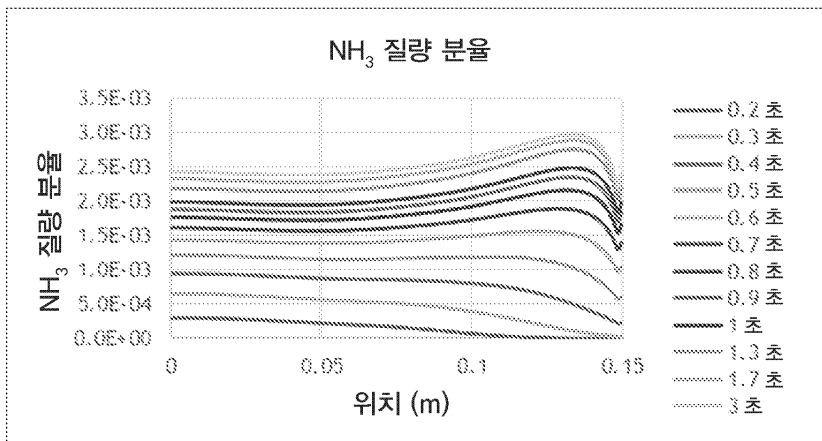
도면3



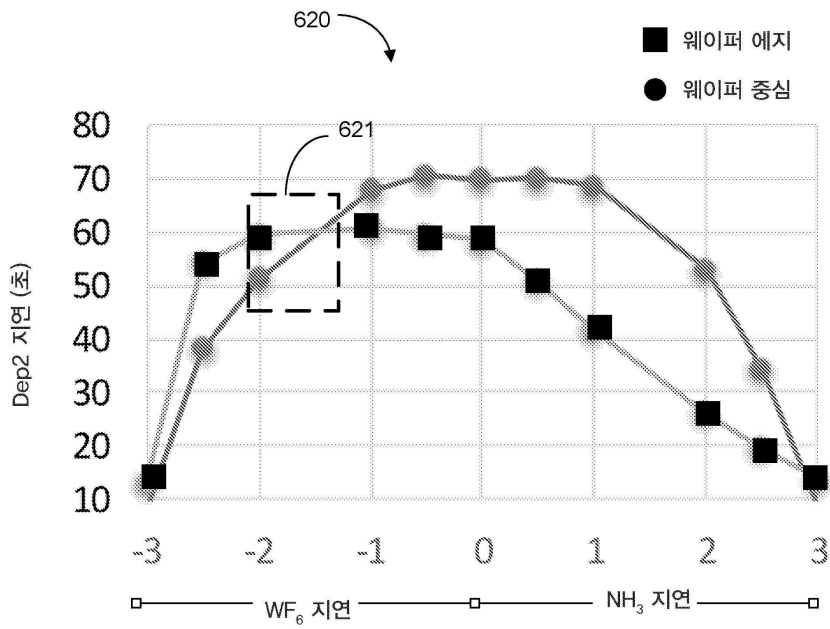
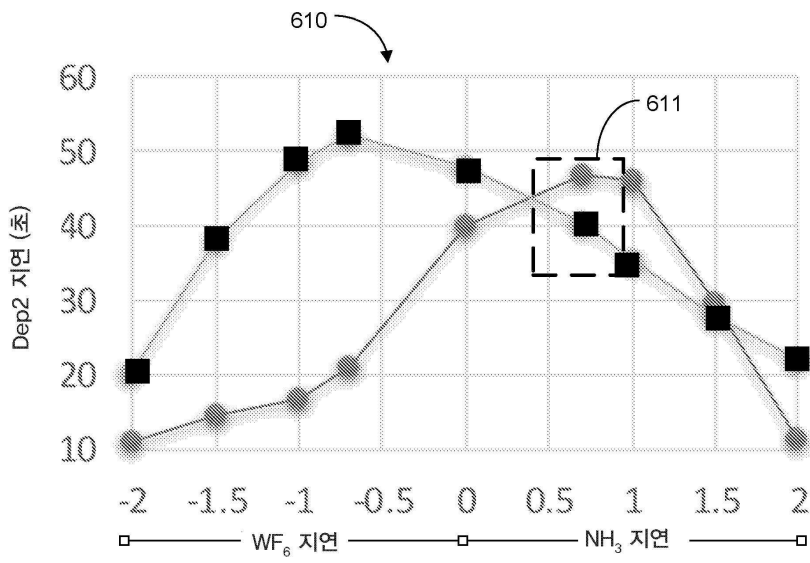
도면4



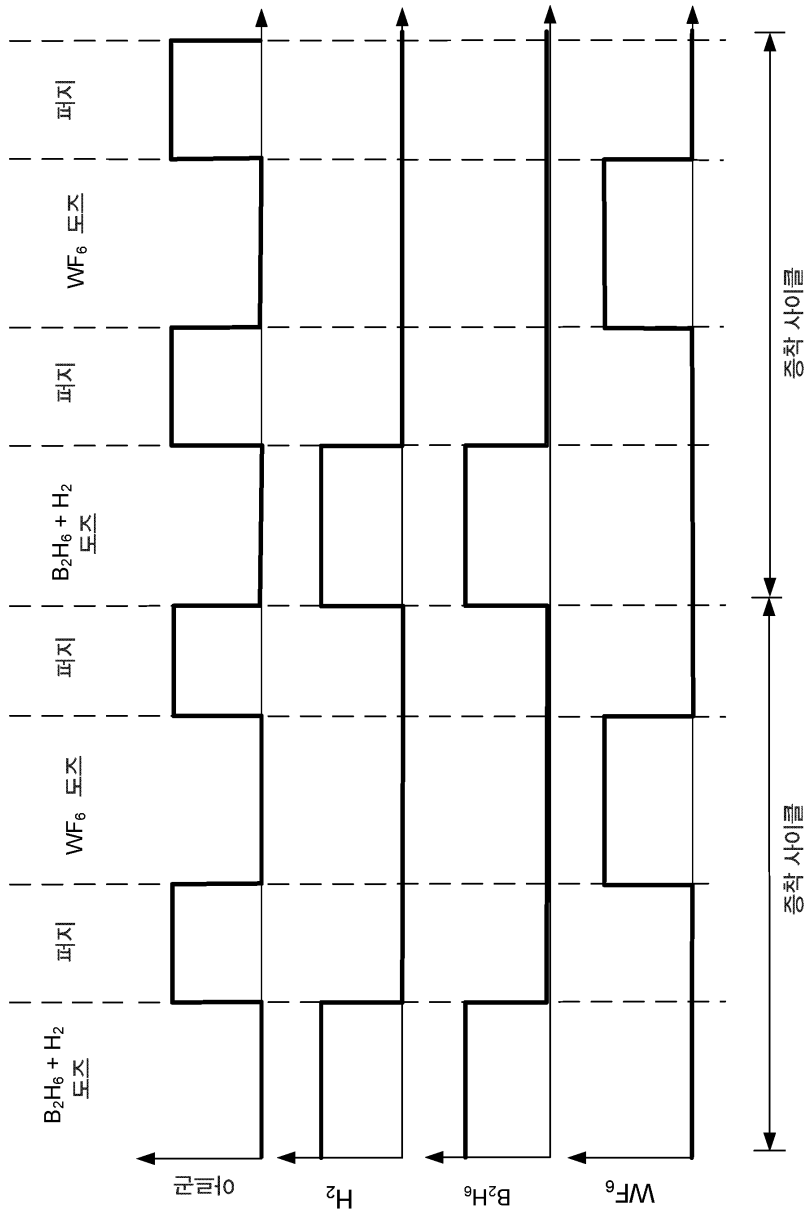
도면5



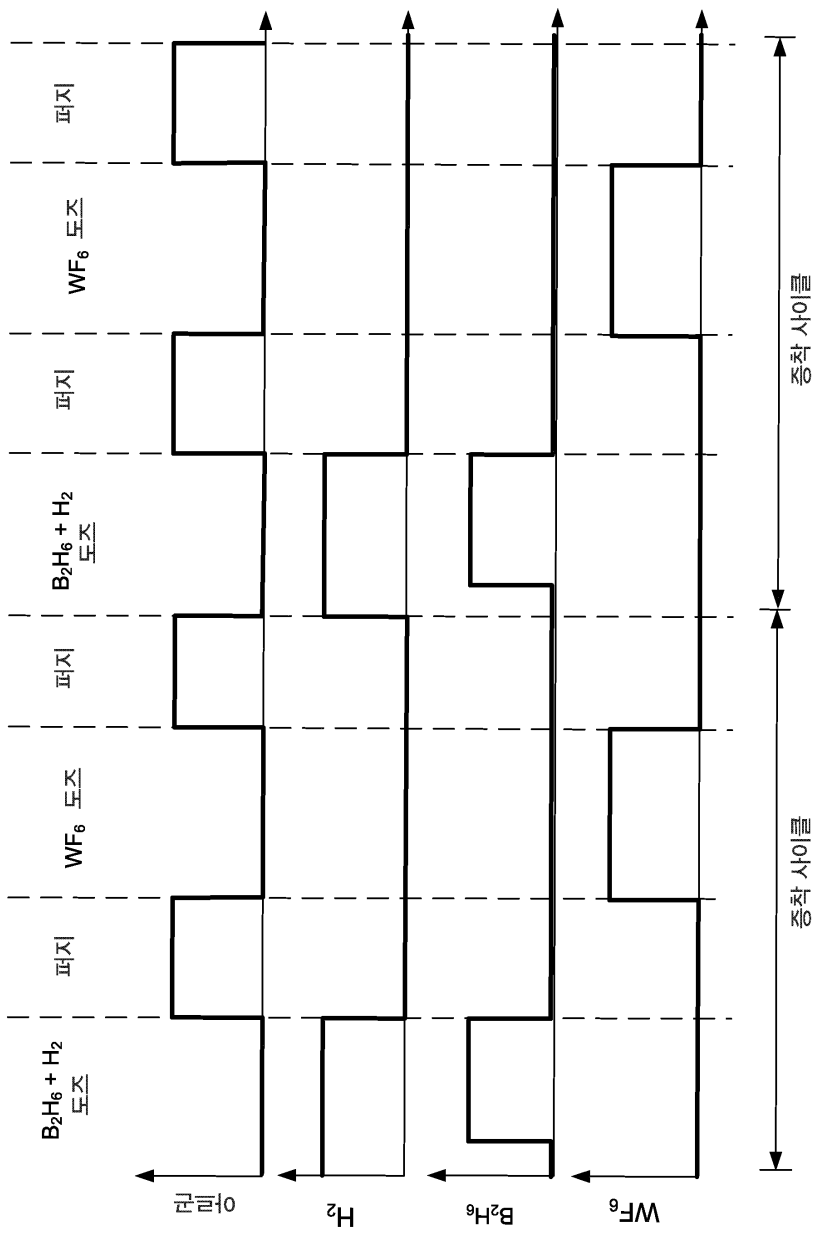
도면6



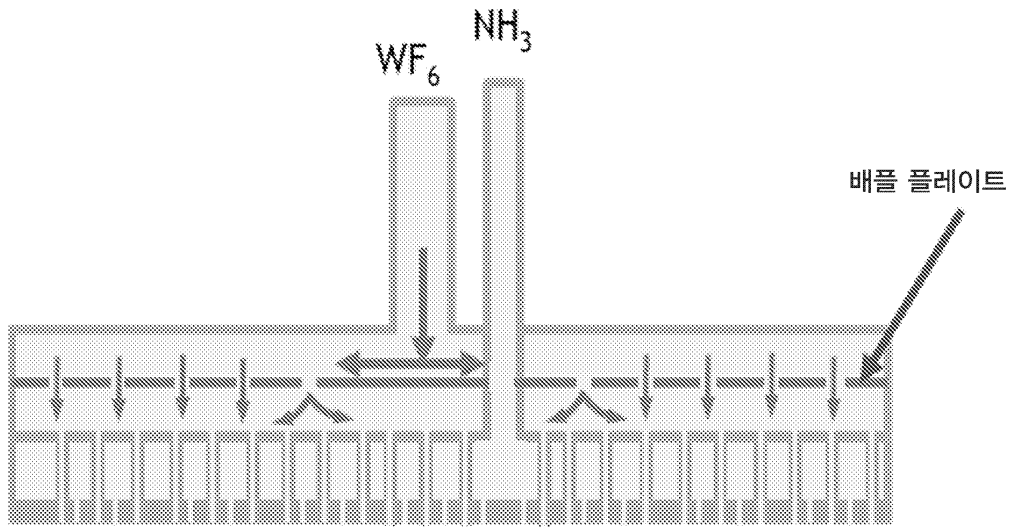
도면7



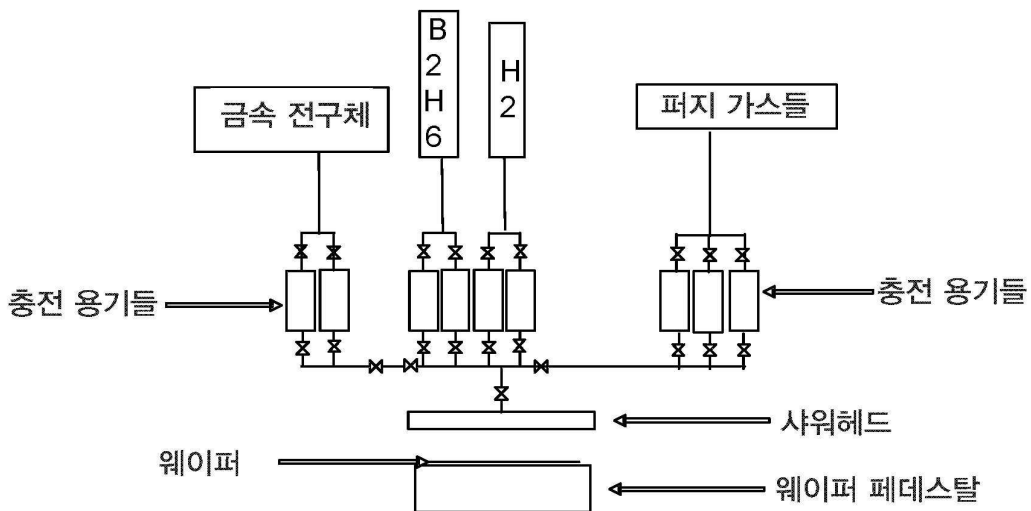
도면8



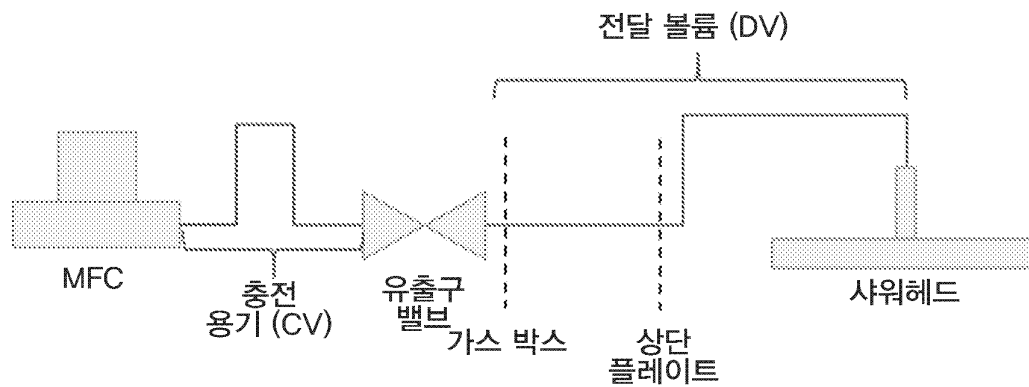
도면9a



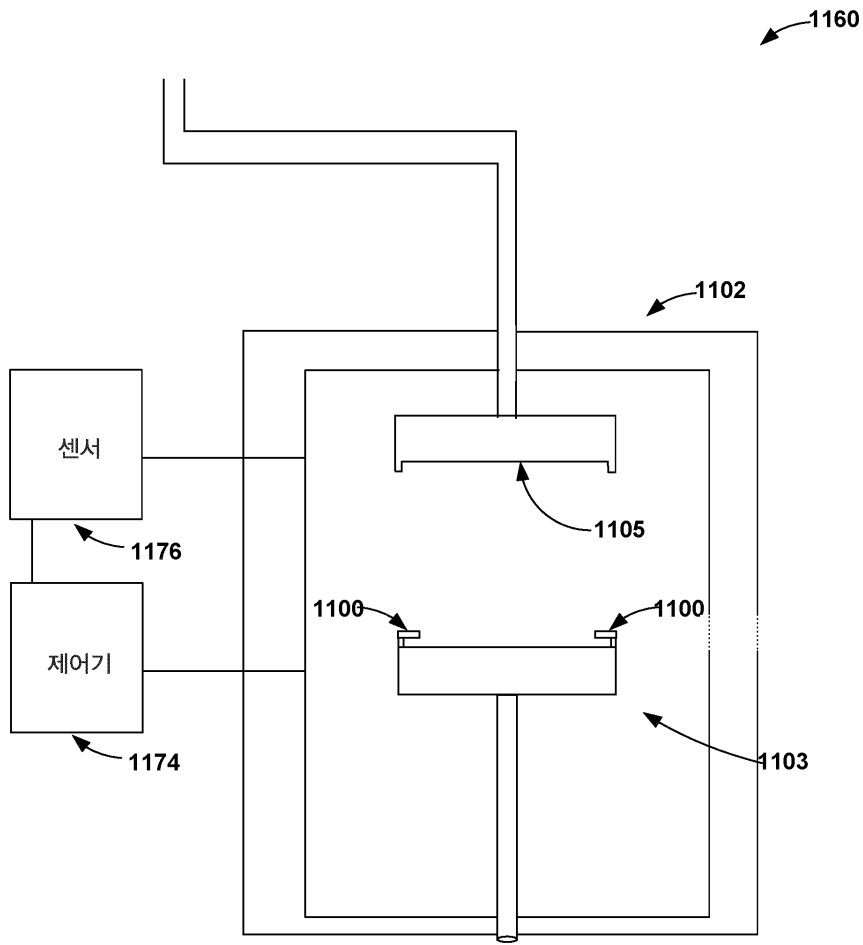
도면9b



도면10



도면11



도면12

