



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2013-0086989  
 (43) 공개일자 2013년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H01L 21/318* (2006.01) *H01L 21/205* (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2013-0008948  
 (22) 출원일자 2013년01월25일  
 심사청구일자 없음  
 (30) 우선권주장  
 13/472,282 2012년05월15일 미국(US)  
 61/591,230 2012년01월26일 미국(US)

(71) 출원인  
**노벨러스 시스템즈, 인코포레이티드**  
 미국, 95134 캘리포니아, 산 호세, 노스 퍼스트 스트리트 4000  
 (72) 발명자  
**라부아 아드리엔**  
 미국 97062 오리건주 투알라틴 사우스웨스트 투알라틴 로드 11795  
**바라다라잔 마드리**  
 미국 97007 오리건주 비버튼 사우스웨스트 하트 로드 16675  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
**특허법인코리아나**

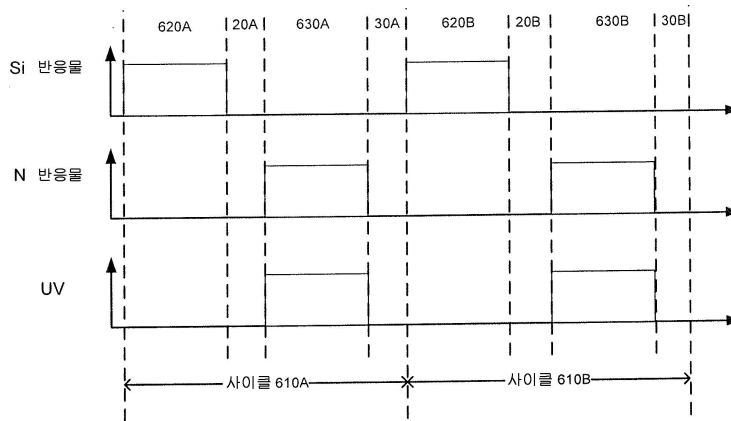
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **UV-보조 등각 막 퇴적을 위한 방법**

**(57) 요약**

기관 상에, SiCN (SiNC 로 지칭되기도 함), SiON 및 SiONC 막과 같은 탄소 함유 및/또는 산소 함유 막을 포함하여, 질화 실리콘 (SiN) 재료 및 다른 실리콘 함유 막을 제조하는 방법이 기술된다. 여러 실시형태에 따르면, 방법은 하나 이상의 반응물들의 전자기 방사 보조 활성화를 수반한다. 소정의 실시형태들에서는, 예를 들어, 방법은 기상 아민 공동 반응물들의 자외선 (UV) 활성화를 수반한다. 방법은 약 400 °C 이하의 온도에서, SiN 및 SiCN 막들을 포함하여, 실리콘 함유 막들을 퇴적하는데 사용될 수 있다.

**대표도** - 도6



(72) 발명자

**헨리 존**

미국 97068 오리건주 웨스트 린 마일스 드라이브  
21330

**하우스만 데니스**

미국 97034 오리건주 레이크 오스위고 레이크릿지  
드라이브 16951

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

기관을 반응 챔버에 제공하는 단계; 및

하나 이상의 퇴적 사이클들을 수행하여 실리콘 함유 막을 퇴적하는 단계를 포함하고,

상기 하나 이상의 퇴적 사이클들의 각 사이클은:

(a) 상기 기관을 질소 함유 반응물의 기상 흐름 (vapor phase flow) 에 노출시키는 단계;

(b) 상기 기관을 실리콘 함유 반응물의 기상 흐름에 노출시키는 단계; 및

(c) 상기 실리콘 함유 반응물의 상기 기상 흐름이 아닌, 상기 질소 함유 반응물의 상기 기상 흐름을 자외선 방사에 노출시키는 단계를 포함하는, 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 기관은 실리콘 함유 전구체의 기상 흐름에의 주기적인 노출 동안 상기 질소 함유 반응물의 상기 기상 흐름에 노출되는, 방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기관은 실리콘 함유 전구체의 기상 흐름에의 주기적인 노출 동안 상기 질소 함유 반응물의 상기 기상 흐름에 노출되지 않는, 방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 질소 함유 반응물의 상기 기상 흐름은 상기 반응 챔버에서 자외선 방사에 노출되는, 방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 질소 함유 반응물의 상기 기상 흐름은 상기 반응 챔버의 상류에서 자외선 방사에 노출되는, 방법.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 실리콘 함유 반응물은 실란, 할로실란, 및 아미노실란, 및 이들의 혼합물들로 이루어진 군에서 선택되는, 방법.

### 청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 실리콘 함유 반응물은 Si 상에 및 아미노 기 상에 탄소 함유 치환기들을 포함하는 아미노실란인, 방법.

### 청구항 8

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 질소 함유 반응물은 암모니아, 히드라진, 아민, 및 이들의 혼합물들로 이루어진 군에서 선택되는, 방법.

### 청구항 9

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 실리콘 함유 막은 SiN, SiCN, SiON 또는 SiONC 로 이루어진 군에서 선택되는, 방법.

**청구항 10**

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 실리콘 함유 막은 SiCN 인, 방법.

**청구항 11**

기판을 반응 챔버에 제공하는 단계; 및

하나 이상의 퇴적 사이클들을 수행하여 실리콘 함유 막을 퇴적하는 단계를 포함하고,

상기 하나 이상의 퇴적 사이클들의 각 사이클은:

- (a) 원격 플라즈마 소스를 사용하여 질소 함유 반응물의 기상 흐름 (vapor phase flow) 을 활성화하는 단계;
- (b) 상기 기판을 상기 활성화된 질소 함유 반응물에 노출시키는 단계; 및
- (c) 상기 기판을 실리콘 함유 반응물의 기상 흐름에 노출시키는 단계를 포함하는, 방법.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 기판은 실리콘 함유 전구체의 기상 흐름에의 주기적인 노출 동안 상기 질소 함유 반응물의 상기 기상 흐름에 노출되는, 방법.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,

상기 기판은 실리콘 함유 전구체의 기상에의 주기적인 노출 동안 상기 질소 함유 반응물의 상기 기상 흐름에 노출되지 않는, 방법.

**청구항 14**

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 실리콘 함유 반응물은 실란, 할로실란, 및 아미노실란, 및 이들의 혼합물들로 이루어진 군에서 선택되는, 방법.

**청구항 15**

제 13 항에 있어서,

상기 실리콘 함유 반응물은 Si 상에 및 아미노 기 상에 탄소 함유 치환기들을 포함하는 아미노실란인, 방법.

**청구항 16**

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 질소 함유 반응물은 암모니아, 히드라진, 아민, 및 이들의 혼합물들로 이루어진 군에서 선택되는, 방법.

**청구항 17**

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 실리콘 함유 막은 SiN, SiCN, SiON 또는 SiONC 로 이루어진 군에서 선택되는, 방법.

**청구항 18**

제 11 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 실리콘 함유 막은 SiCN 인, 방법.

**청구항 19**

반도체 웨이퍼 상에 질화 실리콘 막을 퇴적하기 위한 장치로서,

- (a) 반응 챔버;
- (b) 자외선 방사 소스;
- (c) 반응물 유입구; 및
- (d) 제어기를 포함하고,

상기 제어기는:

상기 반응 챔버 내로 질소 함유 반응물의 기상 흐름 (vapor phase flow) 을 흐르게 하기 위한 명령;

상기 반응 챔버 내로 실리콘 함유 반응물의 기상 흐름을 흐르게 하기 위한 명령; 및

상기 실리콘 함유 반응물의 상기 기상 흐름이 아닌, 상기 질소 함유 반응물의 상기 기상 흐름을 자외선 방사에 노출시키기 위한 명령을 포함하는, 장치.

**청구항 20**

반도체 웨이퍼 상에 질화 실리콘 막을 퇴적하기 위한 장치로서,

- (a) 반응 챔버;
- (b) 상기 반응 챔버에 대해 원격인 플라즈마 소스;
- (c) 반응물 유입구; 및
- (d) 제어기를 포함하고,

상기 제어기는:

상기 원격 플라즈마 챔버로 질소 함유 반응물의 기상 흐름 (vapor phase flow) 을 흐르게 하기 위한 명령;

상기 원격 플라즈마 생성기로부터 상기 반응 챔버로 활성화된 질소 함유 종들을 흐르게 하기 위한 명령; 및

실리콘 함유 반응물의 기상 흐름을 상기 반응 챔버로 흐르게 하기 위한 명령을 포함하는, 장치.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 출원은 2012년 1월 26 일자로 출원된, 발명의 명칭이 "METHODS FOR UV-ASSISTED CONFORMAL FILM DEPOSITION" 인 미국 가출원 제 61/591,230 호 및 2012년 5월 15일자로 출원된 미국 특허 출원 제 13/472,282 호에 대한 우선권을 주장하며, 이들 양자는 여기에 참조로 포함된다.

[0002] 본 개시는 일반적으로 기판 상에 SiN, SiCN 및 SiC 재료를 포함하는, 실리콘 함유 재료의 형성에 관한 것이다. 특히, 본 개시는 반도체 기판 상에의 실리콘 함유 필름의 형성에 관한 것이다.

**배경기술**

[0003] 질화 실리콘 (SiN) 박막은 고유의 물리적, 화학적 및 기계적 특성들을 가지며, 따라서 다양한 애플리케이션들, 특히 반도체 디바이스들, 예를 들어 확산 베리어, 게이트 절연체, 측벽 스페이서, 인캡슐레이션 층, 트랜지스터에서의 스트레인드 막 (strained film) 등에서 사용된다. SiN 막에서의 하나의 문제는 예를 들어 FEOL (Front End of Line) 애플리케이션들에서 막들을 형성하는 데 사용되는 비교적 높은 온도들이며, SiN 막들은 통상 디클로로실란 및 암모니아를 사용하여 750°C 이상에서 반응기에서 화학 기상 증착 (CVD) 에 의해 퇴적된다. 그러나, SiN 막들이 후단 스테이지 (late-stage) 반도체 제조 프로세스들에서 사용됨에 따라, 그리고 디바이스 디멘전들이 계속 축소됨에 따라, SiN 막들이 예를 들어 600 °C 미만의 낮은 온도에서 형성되도록 하는 요구가 증가하고 있다.

**발명의 내용**

**과제의 해결 수단**

- [0004] 기관 상에, SiCN (SiNC 로 지칭되기도 함), SiON 및 SiONC 막과 같은 탄소 함유 및/또는 산소 함유 막을 포함하여, 질화 실리콘 (SiN) 재료 및 다른 실리콘 함유 막을 제조하는 방법이 기술된다. 여러 실시형태에 따르면, 방법은 하나 이상의 반응물들의 전자기 방사 보조 활성화를 수반한다. 소정의 실시형태들에서는, 예를 들어, 방법은 기상 아민 공동 반응물들의 자외선 (UV) 활성화를 수반한다. 방법은 약 400 °C 이하의 온도에서, SiN 및 SiCN 막들을 포함하여, 실리콘 함유 막들을 퇴적하는데 사용될 수 있다.
- [0005] 본 발명의 이들 및 다른 특징 및 이점들은 연관된 도면을 참조하여 이하에 더욱 상세히 설명될 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- [0006] 도 1 및 도 2 는 퇴적 프로세스들의 예들에서 페이즈들의 시간적 진전들을 도시한다.
- 도 3 및 도 4 는 Si 함유 막을 제조하기 위한 예시적인 프로세스 흐름들을 도시한다.
- 도 5 는 SiN 막을 제조하기 위한 예시적인 프로세스 흐름을 도시한다.
- 도 6 내지 도 13 은 SiN 퇴적 프로세스들의 예들에서의 페이즈들의 시간적 진전들을 도시한다.
- 도 14 는 CFD 프로세스 SiN, SiCN, SiC 스테이션의 예를 도시한다.
- 도 15 는 멀티 스테이션 프로세싱 툴의 개략도의 예를 도시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0007] **개관**
- [0008] 본 개시는 특히 반도체 기관 상에서의, SiN, SiCN 및 SiC 막을 포함하여, 실리콘 함유 막의 형성에 관한 것이다. 여기에 기술된 방법들은 막들을 퇴적하는 저온 프로세스들을 포함한다.
- [0009] **정의들**
- [0010] 여기에서 사용되는 바와 같이, 다르게 표시되지 않는다면 다음의 정의들이 적용될 것이다.
- [0011] "실리콘 함유 반응물" 은 SiN, SiCN, SiC 또는 다른 Si 함유 재료를 제조하는데 사용되는 시약, 즉 단일의 시약 또는 시약들의 혼합물이며, 여기서 시약은 적어도 하나의 실리콘 화합물을 포함한다. 실리콘 화합물은 예를 들어 실란, 할로실란, 또는 아미노실란일 수 있다. 실란은 수소 및/또는 탄소 기들을 함유하지만, 할로젠을 함유하지 않는다. 실란의 예들은 실란 (SiH<sub>4</sub>), 디실란 (Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), 및 메틸실란, 에틸실란, 이소프로필실란, t-부틸실란, 디메틸실란, 디에틸실란, 디-t-부틸실란, 알릴실란, sec-부틸실란, 헥실실란 (hexylsilane), 이소아밀실란, t-부틸디실란, 디-t-부틸디실란과 같은 유기 실란들이다. 할로실란은 적어도 하나의 할로젠 기를 함유하고, 수소 및/또는 탄소 기들을 함유할 수도 또는 함유하지 않을 수도 있다. 할로실란의 예들은 요오드실란, 브로모실란, 클로로실란, 및 플루오로실란이다. 할로실란, 특히 플루오로실란이 여기에 기술된 소정의 실시형태들에서 실리콘 재료를 에칭할 수 있는 반응성 할라이드 종들을 형성할 수 있을지라도, 실리콘 함유 반응물은 플라즈마가 스트라이크될 때 존재하지 않는다. 특정의 클로로실란은 테트라클로로실란 (SiCl<sub>4</sub>), 트리클로로실란 (HSiCl<sub>3</sub>), 디클로로실란 (H<sub>2</sub>SiCl<sub>2</sub>), 모노클로로실란 (ClSiH<sub>3</sub>), 클로로알릴실란, 클로로메틸실란, 디클로로메틸실란, 클로로디메틸실란, 클로로에틸실란, t-부틸클로로실란, 디-t-부틸클로로실란, 클로로이소프로필실란, 클로로-sec-부틸실란, t-부틸디메틸클로로실란, 헥실디메틸클로로실란 등이다. 아미노실란은 실리콘 원자에 결합된 적어도 하나의 질소 원자를 포함하지만, 또한 수소, 산소, 할로젠 및 탄소를 함유할 수도 있다. 아미노실란의 예들은 모노-, 디-, 트리- 및 테트라-아미노실란 (각각 H<sub>3</sub>Si(NH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>Si(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, HSi(NH<sub>2</sub>)<sub>3</sub> 및 Si(NH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>) 뿐아니라, 치환된 모노-, 디-, 트리- 및 테트라-아미노실란, 예를 들어, t-부틸아미노실란, 메틸아미노실란, tert-부틸실란아민, 비스(3차부틸아미노)실란 (SiH<sub>2</sub>(NHC(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) (BTBAS), tert-부틸 실릴 카르바메이트, SiH(CH<sub>3</sub>)-(N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, SiHCl-(N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, (Si(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NH)<sub>3</sub> 등이다. 아미노실란의 다른 예는 트리실릴아민 (N(SiH<sub>3</sub>)) 이다.

- [0012] "질소 함유 반응물" 은 적어도 하나의 질소를 함유하며, 예를 들어, 암모니아, 히드라진, 메틸아민, 디메틸아민, 에틸아민, 이소프로필아민, t-부틸아민, 디-t-부틸아민, 시클로프로필아민, sec-부틸아민, 시클로부틸아민, 이소아밀아민, 2-메틸부탄-2-아민, 트리메틸아민, 디이소프로필아민, 디에틸이소프로필아민과 같은 아민 (탄소를 지닌 아민), 디-t-부틸히드라진 뿐 아니라, 아민 함유 방향족, 예를 들어 아닐린, 피리딘, 및 벤질아민을 포함한다. 아민은 1차, 2차, 3차, 또는 4차 (예를 들어, 테트라알킬암모늄 화합물) 일 수도 있다. 질소 함유 반응물은 질소 이외의 헤테로원자를 함유할 수 있으며, 예를 들어 히드록실아민, t-부틸옥시카르보닐 아민 및 N-t-부틸 히드록실 아민은 질소 함유 반응물들이다.
- [0013] "플라즈마" 는 반응 챔버에서 점화되거나 또는 원격으로 점화되고 반응 챔버 내로 이끌어진 플라즈마를 지칭한다. 플라즈마는 여기에 기술된 반응물들을 포함할 수 있고, 다른 작용제 (agent), 예를 들어 캐리어 가스, 또는 수소 가스와 같은 반응성 종들을 포함할 수도 있다. 반응물들 및 다른 작용제들은 플라즈마가 스트라이크될 때 반응 챔버에 존재할 수도 있고, 또는 원격 플라즈마는 반응물들이 존재하는 챔버 내로 흘러들어갈 수도 있고, 및/또는 반응물들 및/또는 캐리어 가스는 원격으로 플라즈마로 점화되어 반응 챔버로 이끌어질 수도 있다. "플라즈마" 는 유도적으로 커플링된 플라즈마 및 마이크로웨이프 표면과 플라즈마를 포함하여, 기술적으로 실현가능한 것으로 알려진 임의의 플라즈마를 포함하는 것으로 의미된다. 당업자는 기술의 진보가 발생하고, 따라서 아직 개발되지 않은 플라즈마 생성 기법들이 본 발명의 범위 내에 있는 것으로 고려되는 것을 인정할 수 있다.
- [0014] "열적으로 제거가능한 기" 은 약 200 °C 와 약 550 °C 사이에서 휘발성 컴포넌트들로 분해되는, 질소 함유 반응물 및 실리콘 함유 반응물 중 어느 하나 또는 양자 모두 상의 성분 (moiety) 을 지칭한다. 이러한 온도 범위에서 제거 반응들을 겪는 2차 및 3차 탄소 기와 같은 비제한적인 예들이 여기에 기술된다. 당업자는 다른 기들이 다른 메커니즘들에 의해 기술된 바와 같이 열적으로 분해되며, 예를 들어 t-부틸옥시카르보닐 (t-BOC 또는 "BOC") 기는 그 기의 t-부틸 부분이 이소부틸렌을 형성하는 양 제거 메커니즘을 통해 열적으로 분해되지만, 또한 그 분해는 이산화탄소를 형성한다는 것을 인식할 것이다. 따라서, 열적으로 제거가능한 기는 특정의 메커니즘 또는 메커니즘들의 조합에 제한되지 않는다. 그 기가 적어도 하나의 휘발성 컴포넌트를 생성하기 위해 특정된 온도 범위 하에서 분해되는 한, 그것은 열적으로 분해가능한 기으로서 자격을 얻는다. 예를 들어, 주어진 세트의 조건들 하에서, t-부틸에틸아민은 t-부틸 기의 열적 분해를 겪어 이소부틸렌을 형성하는 한편, 에틸기가 남고, 따라서 이소부틸렌 및 에틸아민이 열적 분해의 생성물들이다. 당업자는 컴포넌트의 휘발성은 그 컴포넌트가 생성되는 반응 조건들에 부분적으로 의존한다는 것을 인식할 것이다. 예를 들어, 이소부틸렌은 휘발성일 수도 있고, 그것은 흡착된 반응물들과 반응하지 않기 때문에 가열 및 저압의 조건 하에서 반응 챔버로부터 제거될 수도 있는 반면, 예를 들어, 비록 일반적으로 휘발성 화합물이지만, 암모니아는 기관의 표면 상에 흡착된 실리콘 함유 반응물과의 반응을 겪는다.
- [0015] **방법들**
- [0016] SiCN 및 SiC 막들을 포함하여, SiN 및 다른 실리콘 함유 유전체 막들을 제조하는 방법들이 여기에 기술된다. 특정의 실시형태들에서, 실리콘 함유 막은 UV 활성화 등각 막 퇴적 (CFD) 를 사용하여 제조된다. 산소 및/또는 탄소를 함유하는 Si 함유 막들을 포함하여, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 및 다른 SiN 막들이 퇴적될 수 있다. 실시형태들이 CFD 를 포함하지만, 여기에 기술된 방법들은 CFD 에 제한되지 않는다. 다른 적합한 방법들은 ALD, PEALD, CVD, PECVD, 및 플라즈마 강화 순환 화학 기상 증착 (plasma enhanced cyclic chemical vapor deposition: PECCVD) 을 포함한다. CFD 를 사용하여 막들을 형성하는 방법들은 2011년 4월 11일자로 출원되고, 모든 목적을 위해 여기에 참조로 포함되는 미국 특허 출원 제 13/084,399 호에 기술되어 있다. 정확을 위해, CFD 의 짧은 설명이 제공된다.
- [0017] 반도체 디바이스들의 제조는 통상 통합된 제조 프로세스에서 비평면 기관 상에 하나 이상의 박막들을 퇴적하는 것을 수반한다. 통합된 프로세스의 일부 양태들에서, 등각 박막들을 퇴적하는 것은 유용할 수도 있다. 예를 들어, 질화 실리콘 막은 상승된 게이트 스택의 상부에 퇴적되어 후속하는 이온 임플란테이션 프로세스들로부터 가볍게 도핑된 소스 및 드레인 영역들을 보호하기 위한 스페이서 층으로서 작용할 수도 있다.
- [0018] 스페이서 층 퇴적 프로세스들에서, 화학 기상 증착 (CVD) 프로세스들은 비평면 기관 상에 질화 실리콘 막을 형성하기 위해 사용될 수도 있으며, 그 질화 실리콘 막은 그 후 이방성으로 에칭되어 스페이서 구조를 형성한다. 그러나, 게이트 스택들 사이의 거리가 감소함에 따라, CVD 가스 상 반응들의 질량 수송 제한들은 "브레드 로핑 (bread-loafing)" 퇴적 효과들을 초래할 수도 있다. 그러한 효과들은 통상 게이트 스택들의 상부 표면들에서 더 두꺼운 퇴적을 나타내고 게이트 스택들의 하부 코너들에서 더 얇은 퇴적을 나타낸다. 또한, 일부

다이는 상이한 디바이스 밀도의 영역들을 가질 수도 있기 때문에, 웨이퍼 표면에 걸친 질량 수송 효과들은 다이 내 (within-die) 및 웨이퍼 내 (within-wafer) 막 두께 변화를 초래할 수도 있다. 이들 두께 변화들은 일부 영역들의 오버-에칭 및 다른 영역들의 언더-에칭을 초래할 수도 있다. 이것은 디바이스 성능 및/또는 다이 수율을 열화시킬 수도 있다.

[0019] 이들 문제들에 대한 일부 접근법들은 원자층 증착 (ALD) 를 포함한다. 열적으로 활성화된 가스 상 반응들이 막을 퇴적하기 위해 사용되는 CVD 프로세서와는 대조적으로, ALD 프로세스들은 층 기반으로 막들을 퇴적하기 위해 표면 조정된 퇴적 반응들을 사용한다. 일 예시의 ALD 프로세스에서, 표면 활성 사이트들의 집단을 포함하여, 기관 표면은 제 1 반응물 (A) 의 기체 상 분포에 노출된다. 반응물 (A) 의 일부 분자들은 반응물 (A) 의 화학 흡착된 종들 및 물리 흡착된 분자들을 포함하여, 기관 표면의 상부에 응축된 상 (condensed phase) 을 형성할 수도 있다. 그 후, 반응기는 배기되어 가스 상 및 물리 흡착된 반응물 (A) 를 제거하여 화학 흡착된 종들만이 남도록 한다. 제 2 막 반응물 (B) 은 그 후 반응기로 도입되어 반응물 (B) 의 일부 분자들이 기관 표면에 흡착하도록 한다. 기관에 제공된 열 에너지는 반응물들 (A 및 B) 의 흡착된 분자들 사이의 표면 반응들을 활성화하여 막 층을 형성한다. 결국, 반응기는 배기되어 반응 부산물들 및 반응하지 않은 반응물 (B) 를 제거하고 ALD 사이클을 종료한다. 부가적인 ALD 사이클들이 막 두께를 증가시키기 위해 포함될 수도 있다. 플라즈마 또는 다른 에너지 수단은 반응물 (A 및 B) 간의 반응을 촉진하기 위해 기관을 가열하는 것과 함께 또는 기관을 가열하는 것에 대한 대안들로서 사용될 수도 있다.

[0020] 반응물 도우징 단계들의 노출 시간 및 반응물들의 부착 계수 (sticking coefficient) 에 의존하여, 각 ALD 사이클은 일예에서 0.5 내지 3 옹스트롬 두께 사이의 막 층을 퇴적할 수도 있다. 따라서, ALD 프로세스들은 수 나노미터 두께 이상으로 막을 퇴적하는 경우 시간 소비적일 수도 있다. 또한, 일부 반응물들은 등각 막을 퇴적하는 긴 노출 시간을 가질 수도 있고, 이것은 또한 웨이퍼 쓰루풋 시간을 감소시킬 수도 있다.

[0021] 등각 막들은 또한 평면 기관들 상에 퇴적될 수도 있다. 예를 들어, 리소그래피 패터닝 애플리케이션들을 위한 반사방지층들은 교번하는 막 타입들을 포함하는 평면 스택들로부터 형성될 수도 있다. 그러한 반사방지층들은 대략 100 내지 1000 옹스트롬 두께일 수도 있어, ALD 프로세스들을 CVD 프로세스들 보다 덜 매력적이게 한다. 그러나, 그러한 반사방지층들은 또한 많은 CVD 프로세스들이 제공할 수 있는 것보다 웨이퍼 내 두께 변화에 대한 더 낮은 허용오차를 가질 수도 있다. 예를 들어, 600 옹스트롬 두께의 반사방지층은 3 옹스트롬 미만의 두께 범위를 허용한다.

[0022] 여기에 기술된 여러 실시형태들은 SiN, SiCN, SiC, SiO, SiON 및 SiOCN 막들 및 다른 실리콘 함유 막들을 퇴적하는 CFD 를 포함한다. 일반적으로, CFD 는 실리콘 함유 막을 형성하는 반응 이전에 하나 이상의 반응물들의 완전한 퍼지에 의존하지 않는다. 예를 들어, 플라즈마 (또는 다른 활성화 에너지) 가 스트라이크될 때 기상으로 존재하는 하나 이상의 반응물들이 존재할 수도 있다. 이에 따라, ALD 프로세스에서 기술된 프로세스 단계들의 하나 이상은 예시의 CFD 프로세스에서 단축되거나 제거될 수도 있다. 또한, 일부 실시형태들에서, 퇴적 반응들의 플라즈마 활성화는 열적으로 활성화된 반응들보다 더 낮은 퇴적 온도들을 초래할 수 있어, 잠재적으로 통합된 프로세스의 열 버짓 (thermal budget) 을 감소시킨다.

[0023] 도 1 은 여러 프로세스 파라미터들, 예를 들어 불활성 가스 흐름, 반응물 (A), 반응물 (B) 및 에너지 소스가 스 위치 온되는 시기에 대한, CFD 프로세스 (100) 에서의 예시적인 페이스들의 시간적 진행을 도시한다. 도 1 에서는, 2 개의 퇴적 사이클들 (110A 및 110B) 이 도시된다. 당업자는 원하는 막 두께를 퇴적하기 위해 임의의 적합한 수의 퇴적 사이클들이 CFD 프로세스에 포함될 수 있다는 것을 인정할 것이다. 예시의 CFD 프로세스 파라미터들은 불활성 기체 및 반응물 종들에 대한 유량들, 플라즈마 전력 및 주파수, 자외광 파장, 지속 시간 및 세기, 기관 온도 및 프로세스 스테이션 압력을 포함하지만, 이들에 제한되지 않는다.

[0024] CFD "사이클" 의 개념은 여기의 여러 실시형태들의 논의에 관련된다. 일반적으로, 사이클은 표면 퇴적 반응을 한 번 수행하는데 필요한 동작들의 최소 세트이다. 1 사이클의 결과는 기관 표면 상의 적어도 부분적 막 층의 생성이다. 통상적으로, CFD 사이클은 단지 각 반응물을 기관 표면에 전달 및 흡착시키고, 그 후 이들 흡착된 반응물들을 반응시켜 부분적 막 층을 형성하는데 필요한 이들 단계들만을 포함할 것이다. 사이클은 반응물들 또는 부산물들 중 하나를 스위프하는 단계 및/또는 퇴적된 부분적 막을 처리하는 단계와 같은 소정의 부수적인 단계들을 포함할 수도 있다. 일반적으로, 사이클은 동작들의 고유의 시퀀스의 단 하나의 인스턴스를 포함한다. 예로서, 사이클은 다음의 동작들을 포함할 수도 있다: (i) 반응물 (A) 의 전달/흡착, (ii) 반응물 (B) 의 전달/흡착, (iii) 반응 챔버로부터 B 를 스위프, 및 (iv) 표면 상에 부분적 막 층을 형성하기 위해 A 및 B 의 표면 반응을 구동하는 활성화 에너지를 인가.

- [0025] 도 1 을 참조하면, 불활성 가스는 프로세스 (100) 의 모든 페이즈들 동안 흐르게 된다. 반응물 (A) 노출 페이즈 (120A) 에서, 반응물 (A) 가 기관의 노출된 표면을 침습시키기 위해 프로세스 스테이션으로 제어된 유량로 공급된다. 반응물 (A) 은 임의의 적합한 퇴적 반응물, 예를 들어 질소 함유 반응물일 수도 있다. 도 1 에 도시된 실시형태에서, 반응물 (A) 은 퇴적 사이클들 (110A 및 110B) 을 전체에 걸쳐 연속적으로 흐른다. 막 전구체 (반응물) 노출들이 분리되어 가스 상 반응을 방지하는 통상의 ALD 프로세스와 달리, 반응물들 (A 및 B) 는 CFD 프로세스의 일부 실시형태들의 가스 상에서 섞이는 것이 허용될 수도 있다. 프로세스 스테이션으로 반응물 (A) 을 연속적으로 공급하는 것은, 반응물 (A) 이 먼저 턴온되고, 그 후 안정화되고 기관에 노출되며, 그 후 턴 오프되고, 마지막으로 반응기로부터 제거되는 ALD 프로세스에 비해 반응물 (A) 유량 턴온 및 안정화 시간을 감소시키거나 제거할 수도 있다. 도 1 에 도시된 실시형태는 반응물 (A) 노출 페이즈 (120A) 를 일정한 유량을 갖는 것으로 도시하지만, 가변 흐름을 포함하여, 반응물 (A) 의 임의의 적합한 흐름이 본 개시의 범위 내에서 사용될 수도 있다는 것이 인정될 것이다. 일부 실시형태들에서, 반응물 (A) 노출 페이즈 (120A) 는 반응물 (A) 에 대한 기관 표면 침습 시간을 초과하는 지속기간을 가질 수도 있다. 예를 들어, 도 1 의 실시형태는 반응물 (A) 노출 페이즈 (120A) 에서 반응물 (A) 침습 후 (post-saturation) 노출 시간 (130) 을 포함한다. 선택적으로, 반응물 (A) 노출 페이즈 (120A) 는 불활성 가스의 제어된 유량을 포함할 수도 있다. 예시의 불활성 가스들은 질소, 아르곤 및 헬륨을 포함하지만, 이들에 제한되지 않는다. 불활성 가스는 프로세스 스테이션의 압력 및/또는 온도 제어, 액체 반응물의 증발, 반응물의 더욱 신속한 전달을 돕기 위해 및/또는 프로세스 스테이션으로부터 프로세스 가스들을 제거하기 위한 및/또는 프로세스 스테이션 플러밍 (plumbing) 을 위한 스위프 가스 (sweep gas) 로서 제공될 수도 있다.
- [0026] 도 1 에 도시된 실시형태의 반응물 (B) 노출 페이즈 (140A) 에서, 반응물 (B) 은 제어된 유량에서 프로세스 스테이션으로 공급되어 노출된 기관 표면을 침습시킨다. 이러한 예에서, 반응물 (B) 은 예를 들어 실리콘 함유 반응물일 수 있다. 도 1 의 실시형태가 반응물 (B) 노출 페이즈 (140A) 를 일정한 유량을 갖는 것으로 도시하지만, 가변 흐름을 포함하여, 반응물 (B) 의 임의의 적합한 흐름이 본 개시의 범위 내에서 사용될 수도 있다는 것이 인정될 것이다. 또한, 반응물 (B) 노출 페이즈 (140A) 는 임의의 적합한 지속기간을 가질 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 반응물 (B) 노출 페이즈 (140A) 는 반응물 (B) 에 대한 기관 표면 침습 시간을 초과하는 지속기간을 가질 수도 있다. 예를 들어, 도 1 에 도시된 실시형태는 반응물 (B) 노출 페이즈 (140A) 에 포함된 반응물 (B) 침습 후 노출 시간 (150) 을 도시한다.
- [0027] 일부 실시형태들에서, 표면 흡착된 B 종들은 기관 표면 상의 불연속적인 섬 (island) 들로서 존재할 수도 있어, 반응물 (B) 의 표면 침습을 달성하는 것을 어렵게 한다. 여러 표면 조건들은 기관 표면 상의 반응물 (B) 의 핵생성 (nucleation) 및 침습을 지연시킬 수도 있다. 예를 들어, 반응물 (A 및/또는 B) 의 흡착 시에 밀리미터 리간드들은 일부 표면 액티브 사이트들을 차단하여, 반응물 (B) 의 다른 흡착을 방지할 수도 있다. 이에 따라, 일부 실시형태들에서는, 반응물 (B) 의 연속적인 흡착층들 (adlayers) 이 반응물 (B) 노출 페이즈 (140A) 동안 반응물 (B) 의 흐름을 변조하는 것 및/또는 반응물 (B) 을 프로세스 스테이션 내로 이산적으로 펄싱하는 것에 의해 제공될 수도 있다. 이것은 일정한 흐름 시나리오에 비해 반응물 (B) 을 보존하면서 표면 흡착 및 탈착 프로세스들을 위한 여분의 시간을 제공할 수도 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 일부 실시형태들에서, 하나 이상의 스위프 페이즈들이 반응물 (B) 의 연속적인 노출들 사이에 포함될 수도 있다.
- [0028] 활성화 이전에, 가스 상 (gas phase) 반응물 (B) 은 일부 실시형태들에서 스위프 페이즈 (160A) 에서 프로세스 스테이션으로부터 제거될 수도 있다. 프로세스 스테이션을 스위프하는 것은 반응물 (B) 이 플라즈마 활성화에 불안정한, 또는 원하지 않는 종들이 형성될 수도 있는 가스 상 반응들을 피할 수도 있다. 또한, 프로세스 스테이션을 스위프하는 것은 그렇지 않으면 남아서 막을 오염시킬 수도 있는 표면 흡착된 리간드들을 제거할 수도 있다. 예시의 스위프 가스들은 아르곤, 헬륨 및 질소를 포함할 수도 있지만, 이들에 제한되지 않는다. 도 1 에 도시된 실시형태에서, 스위프 페이즈 (160A) 를 위한 스위프 가스는 연속적인 불활성 가스 스트림에 의해 공급된다. 일부 실시형태들에서, 스위프 페이즈 (160A) 는 프로세스 스테이션을 배기하기 위한 하나 이상의 배기 서브페이즈들을 포함할 수도 있다. 대안적으로, 스위프 페이즈 (160A) 는 일부 실시형태들에서는 생략될 수도 있다.
- [0029] 스위프 페이즈 (160A) 는 임의의 적합한 지속기간을 가질 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 하나 이상의 스위프 가스들의 유량을 증가시키는 것은 스위프 페이즈 (160A) 의 지속기간을 감소시킬 수도 있다. 예를 들어, 스위프 가스 유량은 스위프 페이즈 (160A) 의 지속기간을 변경하기 위해 여러 반응물 열역학 특성 및/또는 프로세스 스테이션의 지오메트리 특성 및/또는 프로세스 스테이션 플러밍에 따라 조정될 수도 있다. 하나의 비제한 예에서, 스위프 페이즈의 지속기간은 스위프 가스 유량의 조정에 의해 최적화될 수도 있다. 이것은

퇴적 사이클 시간을 감소시킬 수도 있으며, 이것은 기관 스투풋을 개선할 수도 있다.

[0030] 도 1에 도시된 실시형태의 활성화 페이즈 (180A) 에서, 표면 흡착 반응물들 (A 및 B) 사이의 표면 반응들을 활성화시키기 위해 에너지가 제공된다. 예를 들면, 플라즈마는 반응물 (A) 의 가스상 분자들을 직접적으로 또는 간접적으로 활성화시켜 반응물 (A) 라디칼들을 형성할 수도 있다. 그 후, 이들 라디칼들은 표면 흡착 반응물 (B) 과 상호작용하여, 성막 표면 반응들로 귀착된다. 다른 실시형태에서, 자외 (UV) 방사는 반응물 (A) 의 가스상 분자들을 직접적으로 또는 간접적으로 활성화시켜 반응물 (A) 라디칼들을 형성할 수도 있는데, 이것은 그 후 표면 흡착 반응물 (B) 과 상호작용 할 수도 있다.

[0031] 여러 실시형태들에 따르면, 활성화 페이즈 (180A) 는 다이렉트 (제 자리의) 플라즈마, 원격 플라즈마, UV 방사 노출, 가시광 방사 노출 및 마이크로파 방사 노출의 하나 이상을 포함할 수 있다. 활성화 페이즈 (180A) 는, 도 1의 실시형태에서 퇴적 사이클 (110B) 이 후속하는 퇴적 사이클 (110A) 을 종료하고, 반응물 (A) 노출 페이즈 (120B) 를 시작하여, B 노출 페이즈 (140B), 스위프 페이즈 (sweep phase; 160B) 및 플라즈마 활성화 페이즈 (180B) 로 진행한다.

[0032] 몇몇 실시형태들에서, 활성화 페이즈 (180A) 에서 형성된 플라즈마는 기관 표면 바로 위에 형성될 수도 있다. 이것은 더 큰 플라즈마 밀도를 제공하고 반응물 (A 및 B) 사이의 표면 반응을 향상시킬 수도 있다. 예를 들면, 두 개의 용량 결합된 플레이트들을 사용하여 저압 가스에 무선 주파수 (RF) 필드를 인가하는 것에 의해 CFD 프로세스들용의 플라즈마들이 생성될 수도 있다. 플라즈마를 형성하기 위해 임의의 적절한 가스가 사용될 수도 있다. 본 실시형태에서, 플라즈마를 형성하기 위해, 아르곤 또는 헬륨과 같은 불활성 가스 반응물 (A) 인 질소 함유 반응물과 함께 사용될 수 있다. RF 필드에 의한 플레이트들 사이의 가스의 이온화는 플라즈마를 개시하여, 플라즈마 방전 영역 내에 자유전자들을 생성한다. 이들 전자들은 RF 필드에 의해 가속되고 가스상 반응물 분자들과 충돌할 수도 있다. 이들 전자들과 반응물 분자들의 충돌은 퇴적 프로세스에 관여하는 라디칼 종을 형성할 수도 있다. RF 필드는 임의의 적절한 전극들을 통해 결합될 수도 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 전극들의 비제한적인 실시형태들은 프로세스 가스 분포 샤워헤드들과 기관 지지대들 (substrate support pedestals) 을 포함한다. CFD 프로세스들용의 플라즈마는, RF 필드에서 가스로의 용량성 결합 외에 임의의 적절한 방법들에 의해 형성될 수도 있음을 알 수 있을 것이다.

[0033] 몇몇 실시형태들에서, 활성화 페이즈 (180A) 에서 형성된 플라즈마는 원격 플라즈마 소스에 의해 형성될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 원격 플라즈마 소스로부터의 활성화된 종들은 기관을 수용하는 챔버로 들어가 반응물들과 상호작용할 수 있다. 몇몇 실시형태들에서, 이들 활성화된 종들은 이온들, 전자들, 라디칼들 및 고에너지 분자들을 포함한다. 몇몇 실시형태들에서, 챔버로 들어가는 활성화된 종들은, 챔버로 들어가기 이전의 재결합으로 인해, 이온들 및/또는 전자들을 거의 갖지 않는 라디칼들을 포함한다. 몇몇 실시형태들에서는 이온 필터가 사용될 수 있다. 원격 플라즈마 소스로 공급되어, 활성화된 종들을 제공할 수도 있는 가스들의 실시형태들은, 아르곤, 헬륨, 암모니아, 수소 및 산소를 포함한다.

[0034] 몇몇 실시형태들에서, 활성화 페이즈 (180A) 는 UV 광원으로부터의 방사에 노출되는 것을 포함할 수 있다. 광대역 및 협대역 UV 광원을 포함하여, 임의의 적절한 UV 광원이 사용될 수 있다. 예를 들면, 퇴적 프로세스에 관여하는 라디칼 종들은 UV 방사에 대한 노출에 의해 형성될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, UV 광원은, 하나 이상의 반응물을 여기시키거나 반응을 활성화하도록 선택된 하나 이상의 파장들의 광을 발할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 반응물이 반응 챔버내에 있을 때 UV노출이 발생할 수도 있다. 예를 들면, UV 광원은 챔버 내에 또는 챔버 외부에 장착될 수도 있다. UV 방사는 윈도우를 통과하여 반응물 (들) 에 도달할 수도 있다. 몇몇 다른 실시형태들에서, UV 노출은 반응물이 챔버에 들어가기 이전에 발생할 수 있다. 예를 들면, 반응물은, 라디칼들 및/또는 다른 활성화된 종들이 챔버로 들어가는 동안, 챔버로 유입되기 이전에 UV 방사에 노출될 수 있다. 이들 실시형태들에서, 활성화 페이즈 (180A) 는 반응물 노출 페이즈와 동시 또는 중첩될 수 있다. 이러한 프로세스들의 예들을 이하 설명한다.

[0035] 몇몇 실시형태들에서, 활성화 페이즈 (180A) 는 가시광원으로부터의 방사에 노출되는 것을 포함할 수 있다. 예를 들면, 퇴적 프로세스에 관여하는 라디칼 종들이 형성될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 가시광원은, 하나 이상의 반응물을 여기시키거나 반응을 활성화하도록 선택된 하나 이상의 파장들의 광을 발할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 반응물이 반응 챔버내에 있을 때 가시광 노출이 발생할 수도 있다. 예를 들면, 가시광원은 챔버 내에 또는 챔버 외부에 장착될 수도 있다. 가시광은 윈도우를 통과하여 반응물 (들) 에 도달할 수도 있다. 몇몇 다른 실시형태들에서, 반응물을 여기시키는 가시광에 대한 노출은 반응물이 챔버에 들어가기 이전에 발생할 수 있다. 예를 들면, 반응물은, 라디칼들 및/또는 다른 활성화된 종들이

챔버로 들어가는 동안, 챔버로 유입되기 이전에 방사에 노출될 수 있다. 이들 실시형태들에서, 활성화 페이지즈 (180A) 는 반응물 노출 페이지즈와 동시 또는 중첩될 수 있다. 이러한 프로세스들의 예들을 이하 설명한다.

[0036] 몇몇 실시형태들에서, 활성화 페이지즈 (180A) 는 마이크로파 방사에 노출되는 것을 포함할 수 있다. 예를 들면, 퇴적 프로세스에 관여하는 라디칼 종들이 형성될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 마이크로파 소스는, 하나 이상의 반응물을 여기시키거나 반응을 활성화하도록 선택된 하나 이상의 주파수들에서 광을 발할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 반응물이 반응 챔버내에 있을 때 마이크로파 노출이 발생할 수도 있다. 예를 들면, 마이크로파 소스는 챔버 내에 또는 챔버 외부에 장착될 수도 있다. 마이크로파는 윈도우를 통과하여 반응물 (들) 에 도달할 수도 있다. 몇몇 다른 실시형태들에서, 반응물을 여기시키는 마이크로파에 대한 노출은 반응물이 챔버에 들어가기 이전에 발생할 수 있다. 예를 들면, 반응물은, 라디칼들 및/또는 다른 활성화된 종들이 챔버로 들어가는 동안, 챔버로 유입되기 이전에 방사에 노출될 수 있다. 이들 실시형태들에서, 활성화 페이지즈 (180A) 는 반응물 노출 페이지즈와 동시적이거나 또는 중첩될 수 있다. 이러한 프로세스들의 예들을 이하 설명한다.

[0037] 몇몇 실시형태들에서, 활성화 페이지즈 (180A) 는 상기 상술된 활성화 모드들의 하나 이상을 포함할 수도 있다. 활성화 페이지즈 (180A) 는 임의의 적절한 지속 기간을 가질 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 활성화 페이지즈 (180A) 는, 활성화된 라디칼들이 모든 노출된 기관 표면들 및 흡착된 물질들과 상호작용하여, 기관 표면의 최상부에 연속적인 막을 형성하는 시간을 넘어서는 지속 기간을 가질 수도 있다. 예를 들면, 도 1에 도시된 실시형태는 활성화 페이지즈 (180A) 에서 침습 후 노출 시간 (post-saturation exposure time; 190) 을 포함한다.

[0038] 몇몇 실시형태들에서, 활성화 에너지 노출 시간 연장 및/또는 복수의 노출 페이지즈들 제공은 벌크 및/또는 퇴적 막의 근표면부 (near-surface portions) 의 반응 후 처리를 제공할 수도 있다. 일 실시형태에서, 표면 오염을 감소시키는 반응물 (A) 의 흡착에 대한 표면을 준비할 수도 있다. 예를 들면, 실리콘 함유 반응물과 질소 함유 반응물의 반응으로부터 형성된 실리콘 질화물 막은 후속 반응물들의 흡착을 방해할 수도 있는 표면을 구비할 수도 있다. 플라즈마 또는 다른 활성화 에너지로 실리콘 질화물 표면을 처리하는 것은 후속 흡착 및 반응 이벤트들을 용이하게 하기 위한 수소 결합들을 생성할 수도 있다. 플라즈마 처리들에 더하여, 이러한 처리들은 전자기 방사 처리들, 열처리들 (예를 들면, 어닐들 또는 고온 펄스들) 등을 포함한다. 이들 처리들의 어느 것도 단독으로 수행될 수도 있거나 또는 플라즈마 처리를 포함하는 다른 처리와 결합하여 수행될 수도 있다. 특정 실시형태에서, 이 처리는 막을 UV 방사에 노출시키는 것을 포함한다. 하기에 설명된 바와 같이, 특정 실시형태에서, 제 자리의 (in-situ)(즉, 막이 형성되는 동안의) 막에 또는 막의 퇴적 후에 UV 방사를 인가하는 것을 포함한다. 이러한 처리는 결합 구조를 줄이거나 제거하고 향상된 전기적 성능을 제공하는 기능을 하게 된다.

[0039] 특정 실시형태들에서, UV 처리는 플라즈마 처리와 결합될 수 있다. 이들 두 동작들은 동시에 또는 연속적으로 수행될 수 있다. 순차적인 옵션에서는, 어느 하나의 동작이 먼저 발생할 수 있다. 동시적 옵션에서는, 두 처리들이 별개의 소스들 (예를 들면, 플라즈마용의 RF 전력원 및 UV용의 램프) 로부터 또는 부산물로서 UV 방사를 생성하는 헬륨 플라즈마와 같은 단일의 소스로부터 제공될 수도 있다.

[0040] 몇몇 실시형태들에서, 스트레스, 유전상수, 굴절율, 에칭율과 같은 막 특성들은 플라즈마 또는 다른 활성화 에너지 파라미터들을 변경함으로써 조정될 수도 있다.

[0041] 본원에서 논의된 많은 실시형태들이 두 개의 반응물들 (A 및 B) 을 포함하지만, 본 개시의 범위 내에서 임의의 적절한 수의 반응물들이 활용될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 몇몇 실시형태들에서, 표면 반응을 위한 플라즈마 에너지를 제공하기 위해 사용된 불활성 가스 및 단일 반응물이 사용될 수 있다. 다르게는, 몇몇 실시형태들은 막을 사용하기 위해 복수의 반응물들을 사용할 수도 있다. 예를 들면, 몇몇 실시형태들에서, 실리콘 질화물 막은 실리콘 함유 반응물과 하나 이상의 질소 함유 반응물, 또는 하나 이상의 실리콘 함유 반응물들과 단일의 실리콘 함유 반응물, 또는 하나 이상의 실리콘 함유 반응물과 하나 이상의 질소 함유 반응물의 반응에 의해 형성될 수도 있다.

[0042] 도 2는 불활성 가스 유량, 반응물 (A), 반응물 (B) 및 에너지원이 스위치 온 될 때와 같은 다양한 프로세스 파라미터들에 대한, 프로세스 (200) 에서의 페이지즈의 시간적 진행의 다른 예를 도시한다. 도 2에서, 두 개의 퇴적 사이클 (210A 및 210B) 이 도시된다. 당업자라면, 소정의 막 두께로 퇴적하는 프로세스에 임의의 적절한 수의 퇴적 사이클이 포함될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 실시형태의 프로세스 파라미터들은, 불활성

및 반응물 중에 대한 유량, 플라즈마 파워 및 주파수, UV 방사 파장, 세기 지속 기간, 기관 온도, 프로세스 스테이션 압력을 포함하지만, 이것에 제한되지는 않는다.

[0043] 도 2를 참조하면, 불활성 가스는 프로세스 (200) 의 모든 페이스들 동안 흐르는데, 다른 실시형태에서는 흐르지 않을 수도 있다. 반응물 (A) 노출 페이스 (220A) 에서, 반응물 (A) 은 제어된 유량으로 프로세스 스테이션으로 제공되어 기관의 노출면들을 적시게 된다. 반응물 (A) 은 임의의 적절한 퇴적 반응물, 예를 들면, 실리콘 함유 반응물일 수도 있다. 도 2에 도시된 실시형태가 일정한 유량을 갖는 것으로 하여 반응물 (A) 노출 페이스 (220A) 를 서술하지만, 본 개시의 범위 내에서 가변 유량을 포함하여 반응물 (A) 의 임의의 적절한 유량이 활용될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 몇몇 실시형태들에서, 반응물 (A) 노출 페이스 (220A) 는 반응물 (A) 에 대한 기관 표면 침습 시간을 넘어서는 지속 기간을 가질 수도 있다. 예를 들면, 도 2의 실시형태는 반응물 (A) 노출 페이스 (220A) 에서 반응물 (A) 침습 후 노출 시간 (230) 을 포함한다. 선택적으로는, 반응물 (A) 노출 페이스 (220A) 는 제어된 유량의 불활성 가스를 포함할 수도 있다. 예시적인 불활성 가스들은 질소, 아르곤, 및 헬륨을 포함하지만, 이들에 제한되는 것은 아니다. 불활성 가스는 프로세스 스테이션의 압력 및/또는 온도 제어, 액체 반응물의 증발, 반응물의 더 빠른 전달을 보조하기 위해 제공될 수도 있고/있거나 프로세스 스테이션 및/또는 프로세스 스테이션 배관으로부터 프로세스 가스들을 제거하기 위한 스위프 가스로서 제공될 수도 있다.

[0044] 가스상 반응물 (A) 은, B 노출 페이스 (240A) 이전에, 몇몇 실시형태들의 스위프 페이스 (260A) 에서 프로세스 스테이션으로부터 제거될 수도 있다. 프로세스 스테이션을 스위핑하는 것은 기관 표면에 흡착되지 않은 임의의 반응물 (A) 을 제거할 수도 있다. 예시적인 스위프 가스들은 아르곤, 헬륨 및 질소를 포함하지만, 이들에 제한되는 것은 아니다. 도 2에 도시된 실시형태들에서, 스위프 페이스 (260A) 용의 스위프 가스는 연속하는 불활성 가스 스트림에 의해 공급된다. 몇몇 다른 실시형태들에서, 스위프 가스는 스위프 페이스 동안만 공급될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 스위프 페이스 (260A) 는 프로세스 스테이션을 진공으로 하기 위한 하나 이상의 진공 배기 서브페이스들 (evacuation subphases) 을 포함할 수도 있다. 다르게는, 몇몇 실시형태들에서는 스위프 페이스 (260A) 가 생략될 수도 있음을 알 수 있을 것이다.

[0045] 도 2에 도시된 실시형태의 반응물 (B) 노출 페이스 (240A) 에서, 반응물 (B) 은 제어된 유량으로 프로세스 스테이션으로 공급되어 노출된 기관 표면을 적시게 된다. 본 실시형태에서, 반응물 (B) 은, 예를 들면, 질소 함유 반응물일 수 있다. 도 2의 실시형태가 일정한 유량을 갖는 것으로 하여 반응물 (B) 노출 페이스 (240A) 를 도시하지만, 본 개시의 범위 내에서 가변 유량을 포함하여 반응물 (A) 의 임의의 적절한 유량이 활용될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 또한, 반응물 (B) 노출 페이스 (240A) 는 임의의 적절한 지속 기간을 가질 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 몇몇 실시형태들에서, 반응물 (B) 노출 페이스 (240A) 는 반응물 (B) 에 대한 기관 표면 침습 시간을 넘어서는 지속 기간을 가질 수도 있다. 예를 들면, 도 2의 실시형태는 반응물 (B) 노출 페이스 (240A) 에 포함된 반응물 (B) 침습 후 노출 시간 (250) 을 나타낸다.

[0046] 도 2에 도시된 실시형태의 활성화 페이스 (280A) 에서, 표면 흡착 반응물들 (A 및 B) 사이의 표면 반응들을 활성화시키기 위해 에너지가 제공된다. 예를 들면, 플라즈마는 반응물 (B) 의 가스상 분자들을 직접적으로 또는 간접적으로 활성화시켜 반응물 (B) 라디칼들을 형성할 수도 있다. 그 후, 이들 라디칼들은 표면 흡착 반응물 (A) 과 상호작용하여, 성막 표면 반응들로 귀착된다. 다른 실시형태에서, 자외선 (UV) 방사는 반응물 (B) 의 가스상 분자들을 직접적으로 또는 간접적으로 활성화시켜 반응물 (B) 라디칼들을 형성할 수도 있는데, 이것은 그 후 표면 흡착 반응물 (A) 과 상호작용 할 수도 있다. B 노출 페이스 (240A) 가 활성화 페이스 (280A) 이전의 마지막으로서 도 2에 도시되었지만, 몇몇 실시형태들에서, 이 두 페이스들은 중첩될 수 있다. 여러 실시형태들에 따르면, 활성 페이스 (280A) 는, 상기 상술된 바와 같이, 다이렉트 (제 자리의) 플라즈마, 원격 플라즈마, UV 방사 노출, 가시광 방사 노출 및 마이크로파 방사 노출의 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0047] 활성화 페이스 (280A) 는 임의의 적절한 지속 기간을 가질 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 활성화 페이스 (280A) 는, 활성화된 라디칼들이 모든 노출된 기관 표면들 및 흡착된 물질들과 상호작용하여, 기관 표면의 최상부에 연속적인 막을 형성하는 시간을 넘어서는 지속 기간을 가질 수도 있다. 예를 들면, 도 2에 도시된 실시형태는 활성화 페이스 (280A) 에서 침습 후 노출 시간 (290) 을 포함한다.

[0048] 도 2는 활성화 (280A) 이후에 수행되는 스위프 페이스 (270A) 를 도시한다. 가스상 반응물 (B) 은, 몇몇 실시형태들의 스위프 페이스 (260A) 에서 프로세스 스테이션으로부터 제거될 수도 있다. 프로세스 스테이션을 스위핑하는 것은 임의의 가스상 반응물 (B) 뿐만 아니라 제품들에 불필요한 것 및/또는 오염물들을 제거할 수도 있다. 예시적인 스위프 가스들은 아르곤, 헬륨 및 질소를 포함하지만, 이들에 제한되는 것은 아니다.

도 2에 도시된 실시형태들에서, 스위프 페이스 (270A) 용의 스위프 가스는 연속하는 불활성 가스 스트림에 의해 공급되는데, 다르게 공급될 수도 있다. 스위프 페이스 (270A) 에서는 프로세스 스테이션을 진공으로 하기 위한 하나 이상의 진공 배기 서브페이스들을 포함할 수도 있다. 다르게는, 몇몇 실시형태들에서는 스위프 페이스 (270A) 가 생략될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 스위프 페이스 (270A) 는, 도 2의 실시형태에서 퇴적 사이클 (210B) 이 후속하는 퇴적 사이클 (210A) 을 종료하고, 반응물 (A) 노출 페이스 (220B) 를 시작하여, 스위프 페이스 (260B), B 노출 페이스 (240B), 플라즈마 활성화 페이스 (280B), 및 스위프 페이스 (270B) 로 진행한다.

[0049] 도 3은 한 방법의 실시형태의 양상들을 개시하는 프로세스 흐름 (300) 를 도시한다. 기판이 반응 챔버에 제공된다 (305 참조). 기판을 소정의 온도로 가열하기 위해, 임의적인 열 소크 (thermal soak) 이 수행될 수 있다 (310 참조). 일 실시형태에 있어서, 본원에서 설명된 방법들 중 임의의 방법을 사용하여, 기판은 약 50° C 및 약 550° C 사이로, 특히 약 300° C 내지 약 450° C로, 예를 들면, 약 350° C 또는 400° C로 가열된다. 하나 이상의 Si 함유 전구체들 (precursors) 이 챔버로 전달된다 (delivered)(315 참조). 몇몇 실시형태들에서, 415의 동작은, (예를 들면, 실리콘 산화물들 또는 실리콘 옥시니트라이드들의 퇴적을 위한) 옥시던트 및/또는 (예를 들면, 실리콘 질화물 또는 실리콘 옥시니트라이드들의 퇴적을 위한) 질소 함유 전구체와 같은, 실리콘 함유 반응물에 더하여 공반응 화합물 (coreactant) 을 전달하는 것을 포함한다. 하나 이상의 Si 함유 프리커스들이 기판 표면 상에 흡착, 예를 들면 화학적 또는 물리적으로 흡착될 수 있다. 선택적인 퍼지 동작 (optional purge operation) 이 수행되어 (도 320 참조), 기판 표면 상에 흡착된 재료를 남기게 된다. 표면에 결합된 분자들은 UV 에너지에 의해 활성화될 수 있다 (325 참조). 다양한 실시형태들에 따르면, UV 에너지는 표면 결합 실리콘 함유 반응물들 및 표면 결합 공반응 화합물의 하나 이상과 상호작용할 수 있다. 몇몇 실시형태들에서, UV 파장 또는 UV 파장들의 범위는, 반응물 (들) 상의 하나 이상의 리간드들과 상호작용하도록 선택될 수도 있다. UV 방사의 결과로서, SiN, SiC, SiO<sub>2</sub>, SiCN, SiON 또는 SiONC와 같은 소망의 실리콘 함유막을 형성하는 반응이 활성화된다. 예를 들면, SiCN을 형성하기 위해 카본 함유 Si 전구체와 질소 함유 공-반응 화합물이 사용될 수 있다. SiONC를 형성하기 위해 산소 및 탄소 함유 Si 전구체와 질소 함유 공-반응 화합물이 사용될 수 있다. 몇몇 구현예들에서, 공-반응 화합물은 SiO를 퇴적시키기 위해 사용될 수 있는 산화제 (oxidizer) 일 수 있다. 예를 들면, 실리콘 산화물을 형성하기 위해 산소 및 탄소 함유 Si 전구체와 산화제가 사용될 수 있다. 그 다음 프로세스 (300) 는 선택적인 퍼지로 진행하여, 330 참조, 기판 상에 SiN, SiO<sub>2</sub>, SiCN, SiON, SiONC 또는 다른 막의 층만을 남기게 된다. 315-330의 동작들은 소망하는 두께의 막을 형성하기 위해 반복될 수 있다.

[0050] 어떤 실시형태들에 있어서, 325의 동작에서 UV 에너지에 부가하여 또는 UV 에너지 대신으로 다른 에너지원이 사용될 수도 있다. 예를 들면, 동작 325에서의 UV 방사는 플라즈마와 연계하여 사용될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 마이크로파 및/또는 가시광 방사는 UV 방사 대신 또는 UV 방사에 더하여 사용될 수도 있다.

[0051] 도 4는 한 방법의 실시형태의 양상들을 개시하는 프로세스 흐름 (400) 를 도시한다. 기판이 반응 챔버에 제공된다 (405 참조). 선택적인 열 소크가 상기 상술된 바와 같이 수행된다 (410 참조). 그 다음, 하나 이상의 Si 함유 전구체들이 챔버로 전달된다 (415 참조). 하나 이상의 전구체들이 기판 표면 상에 흡착, 예를 들면 화학적 또는 물리적으로 흡착될 수 있다. 그 다음 프로세스 (400) 는 선택적인 퍼지로 진행하여, 420 참조, 기판 상에 흡착된 재료의 층만을 남기게 된다. 다양한 실시형태들에 따르면, 상기 층은 표면 결합 Si 함유 반응물을 포함할 수 있다. 공-반응 화합물 전구체 또는 전구체 스트림이 UV 파장 에너지로 활성화될 수 있다 (425 참조). 예를 들면, 질소 함유 반응물 및/또는 옥시던트가 반응 챔버 내 또는 그 상류 (upstream) 에서 기체상 (vapor phase) 으로 활성화될 수 있다. 몇몇 실시형태들에서, 표면 흡착 실리콘 함유 반응물 및 기체상 공반응 화합물 반응물 양자가 활성화될 수 있다. UV 방사의 결과로서, SiN, SiCN, SiC, SiO, SiON 또는 SiONC와 같은 소망의 실리콘 함유막을 형성하는 반응이 활성화된다. 그 다음 프로세스 (400) 는 선택적인 퍼지로 진행하여, 430 참조, 기판 상에 SiN, SiCN, SiC, SiO, SiON 또는 SiONC 또는 다른 실리콘 함유막의 층만을 남기게 된다. 415-430의 동작들은 소망하는 두께의 막을 형성하기 위해 반복될 수 있다.

[0052] 도 5는 실리콘 함유막을 형성하기 위한 어떤 실시형태들에 따른 프로세스 흐름의 실시형태를 나타낸다. 사용되는 특정 Si 함유 및 N 함유 반응물들에 따라 SiCN, SiONC 및 SiON 막들을 형성하기 위해 도 5에 도시된 바와 같은 프로세스들이 사용될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. SiONC 및 SiON 막들의 형성은, 블록 (515) 에서 질소 함유 반응물에 더하여 산소 함유 공-반응 화합물을 사용하는 것을 포함할 수도 있다. 또한, 도 5에 도시된 프로세스는, 예를 들면, 블록 (515) 에서 질소 함유 반응물 대신 산소 함유 반응물을 사용하는 것에

의해 SiO를 형성하기 위해 사용될 수 있다. 산소 함유 공-반응물 화합물의 예들은 O<sub>2</sub>를 포함한다.

[0053] 프로세스 (500) 는 기판이 반응 챔버에 제공되는 것으로 시작된다 (505 참조). 기판은 실리콘 함유막이 상부에 요구되는 임의의 적절한 기판일 수 있다. 예를 들면, 기판은 부분적으로 제조된 집적 회로, 플래시 메모리 또는 상변화 메모리 기판일 수 있다. 기판은 베어 기판 (bare substrate), 예를 들면, 베어 실리콘 기판으로서 제공되거나, 또는 하나 이상의 층들이 상부에 퇴적되어 제공될 수 있다. SiN 또는 다른 실리콘 함유막이 퇴적될 표면은, 예를 들면, 실리콘, 폴리실리콘, 구리, 티타늄, 텅스텐, 이산화규소, 또는 게르마늄-안티몬-텔루륨 (GST) 합금일 수 있거나 또는 이들을 포함할 수 있다. 몇몇 실시형태들에서, 상기 표면은 하나 이상의 볼록부 또는 오목부 형상 (raised or recessed features) 을 포함한다. 하나 이상의 볼록부들은, 예를 들면, 2:1 내지 10:1의 종횡비를 가질 수 있다. 기판은 실리콘 함유 반응물에 노출된다 (510 참조).

몇몇 실시형태들에서, 510의 동작은 비플라즈마 (non-plasma) 동작이다. 반응기는, 몇몇 실시형태들에서, 예를 들면, 약 5Torr와 50Torr 사이의 제 1의 압력으로 가압될 수 있다. 특정 실시형태들에서, 압력은 510의 동작동안 약 20Torr이다. 이 범위 밖의 압력들은 소망하는 실시형태에 따라 사용될 수도 있다. 실리콘 함유 반응물은 기판 표면 상에 흡착된다. 소망하는 양의 실리콘 함유 반응물이 기판에 흡착된 후, 실리콘 함유 반응물의 흐름 (flow) 은 정지될 수 있다 (도시되지 않음). 기판은 하나 이상의 질소 함유 반응물들에 노출된다 (515 참조). 질소 함유 반응물이 기체상으로 존재하는 동안 활성화 에너지가 제공되고, 520 참조, 따라서 기판 상에 SiN 또는 다른 Si 및 N 함유 막을 형성하게 된다. 다양한 실시형태들에 따르면, (예를 들면, 도 1에서 반응물 (A) 이 그러는 것처럼) 질소 함유 반응물은 프로세스 전체에 걸쳐 연속적으로 흐를 수도 있고 또는 (예를 들면, 도 2에서 반응물 (B) 이 그러는 것처럼) 간헐적으로 흐를 수도 있다. 전자의 경우의 몇몇 실시형태들에서는, 520의 동작은 간헐적으로 수행될 수도 있지만, 후자의 경우의 몇몇 실시형태들에서는, 질소 함유 반응물이 존재하지 않는 경우에도 에너지원이 계속 남아 있을 수도 있다.

[0054] 여러 실시형태들에 따르면, 520의 동작은 다이렉트 (제 자리의) 플라즈마, 원격 플라즈마, UV 방사 노출, 가시광 방사 노출 및 마이크로파 노출의 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0055] 예를 들면, 몇몇 실시형태들에서, 520의 동작은 기판 표면 바로 위에 형성되는 다이렉트 플라즈마를 포함할 수 있다. 이것은 더 큰 플라즈마 밀도를 제공하고 반응물 사이의 표면 반응 레이트를 향상시킬 수도 있다. 예를 들면, 두 개의 용량 결합된 플레이트들을 사용하여 저압 가스에 무선 주파수 (RF) 필드를 인가하는 것에 의해 플라즈마들이 생성될 수도 있다. 플라즈마를 형성하기 위해 임의의 적절한 가스가 사용될 수도 있다.

RF 필드에 의한 플레이트들 사이의 가스의 이온화는 플라즈마를 개시하여, 플라즈마 방전 영역 내에 자유전자들을 생성한다. 이들 전자들은 RF 필드에 의해 가속되고 가스상 반응물 분자들과 충돌할 수도 있다. 이들 전자들과 반응물 분자들의 충돌은 퇴적 프로세스에 관여하는 라디칼 종을 형성할 수도 있다. RF 필드는 임의의 적절한 전극들을 통해 결합될 수도 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 전극들의 비제한적인 실시형태들은 프로세스 가스 분포 샤워헤드들과 기판 지지대들 (substrate support pedestals) 을 포함한다. 플라즈마들은, RF 필드에서 가스로의 용량성 결합 외에 하나 이상의 적절한 방법들에 의해 형성될 수도 있음을 알 수 있을 것이다.

[0056] 몇몇 실시형태들에서, 원격적으로 생성된 또는 하류 (downstream) 의 플라즈마가 520에서 활성화 에너지의 전체 또는 일부를 제공할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 원격 플라즈마 소스로부터의 활성화된 종들은 기판을 수용하는 챔버로 들어가 반응물들과 상호작용할 수 있다. 몇몇 실시형태들에서, 이들 활성화된 종들은 이온들, 전자들, 라디칼들 및 고에너지 분자들을 포함한다. 몇몇 실시형태들에서, 챔버로 들어가는 활성화된 종들은, 챔버로 들어가기 이전의 재결합으로 인해, 이온들 및/또는 전자들을 거의 갖지 않는 라디칼들을 포함한다. 몇몇 실시형태들에서, 블록 (520) 은, 질소 함유 반응물 또는 다른 공반응 화합물을 원격 플라즈마 생성기에 제공하는 것에 의해 블록 (515) 이전에 발생할 수 있다: 예를 들면, SiN, SiCN, SiOCN 및 SiON 막들의 형성에서 암모니아 공반응 화합물이 원격 플라즈마 소스에 공급될 수 있다. 다른 실시형태에서, SiO 막들, SiOCN 및 SiON막들의 형성에서 원격 플라즈마 소스에 산소가 공급될 수 있다.

[0057] 몇몇 실시형태들에서, 520 동작은 UV 광원으로부터의 방사에 대한 노출을 포함할 수 있다. 광대역 및 협대역 UV 광원을 포함하여, 임의의 적절한 UV 광원이 사용될 수 있다. 예를 들면, 퇴적 프로세스에 관여하는 라디칼 종들은 UV 방사에 대한 노출에 의해 형성될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, UV 광원은, 하나 이상의 반응물을 여기시키거나 반응을 활성화하도록 선택된 하나 이상의 파장들의 광을 발할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 질소 함유 반응물이 반응 챔버내에 있을 때 UV노출이 발생할 수도 있다. 예를 들면, UV 광원은 챔버 내에 또는 챔버 외부에 장착될 수도 있다. UV 방사는 윈도우를 통과하여 반응물 (들) 에 도달할

수도 있다. 몇몇 다른 실시형태들에서, UV 노출은 질소 함유 반응물이 챔버에 들어가기 이전에 발생할 수 있다. 예를 들면, 반응물은, 라디칼들 및/또는 다른 활성화된 종들이 챔버로 들어가는 동안, 챔버로 유입되기 이전에 UV 방사에 노출될 수 있다.

[0058] 여러 실시형태들에 따르면, UV 방사는 공반응 화합물 또는 다른 종들을 활성화시키기 위해 선택된 광대역 밴드 또는 협대역 밴드일 수 있다. 예를 들면, 암모니아, 및 1차, 2차 및 3차 아민들을 활성화시키기 위해 사용될 수 있는 파장들은 약 240nm보다 더 적다. 산소를 활성화시키기 위해 사용될 수 있는 파장은 약 300nm보다 더 적다. 예시적인 세기들은 브로드밴드 소스에 대한 전체 UV 범위에 걸쳐 약  $0.5\text{W}/\text{cm}^2$ 이고 단일 파장의 엑시머에 대해  $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 이다.

[0059] 몇몇 실시형태들에서, 520 동작은 가시광원으로부터의 방사에 대한 노출을 포함할 수 있다. 예를 들면, 퇴적 프로세스에 관여하는 라디칼 종들이 형성될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 가시광원은, 하나 이상의 반응물을 여기시키거나 반응을 활성화하도록 선택된 하나 이상의 파장들의 광을 발할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 질소 함유 반응물이 반응 챔버내에 있을 때 가시광 노출이 발생할 수도 있다. 예를 들면, 가시광원은 챔버 내에 또는 챔버 외부에 장착될 수도 있다. 가시광은 윈도우를 통과하여 반응물(들)에 도달할 수도 있다. 몇몇 다른 실시형태들에서, 질소 함유 반응물을 여기시키는 가시광에 대한 노출은 반응물이 챔버에 들어가기 이전에 발생할 수 있다. 예를 들면, 반응물은, 라디칼들 및/또는 다른 활성화된 종들이 챔버로 들어가는 동안, 챔버로 유입되기 이전에 방사에 노출될 수 있다.

[0060] 몇몇 실시형태들에서, 520 동작은 마이크로파 방사에 대한 노출을 포함할 수 있다. 예를 들면, 퇴적 프로세스에 관여하는 라디칼 종들이 형성될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 마이크로파 소스는, 하나 이상의 반응물을 여기시키거나 반응을 활성화하도록 선택된 하나 이상의 주파수들에서 광을 발할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 질소 함유 반응물이 반응 챔버내에 있을 때 마이크로파 노출이 발생할 수도 있다. 예를 들면, 마이크로파 소스는 챔버 내에 또는 챔버 외부에 장착될 수도 있다. 마이크로파는 윈도우를 통과하여 반응물(들)에 도달할 수도 있다. 몇몇 다른 실시형태들에서, 질소 함유 반응물을 여기시키는 마이크로파에 대한 노출은 반응물이 챔버에 들어가기 이전에 발생할 수 있다. 예를 들면, 반응물은, 라디칼들 및/또는 다른 활성화된 종들이 챔버로 들어가는 동안, 챔버로 유입되기 이전에 방사에 노출될 수 있다.

[0061] 몇몇 실시형태들에서, 반응기 내의 압력은, 510 동작보다 515 및/또는 520의 동작들 동안 더 낮아지도록 순환된다. 예를 들면, 이들 동작들 동안의 압력은 약 1 및 5Torr 사이, 예를 들면 2Torr일 수 있다. 질소 함유 반응물(들)의 흐름은 몇몇 실시형태들에서 520 이후에 정지될 수 있다(도시되지 않음). 몇몇 실시형태들에서, 실리콘 함유 반응물 및/또는 질소 함유 반응물이 제거될 수 있다. SiN 또는 다른 Si 함유 층을 형성하기 위해 510-520의 하나 이상의 반복들이 수행될 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 이들 동작들은, 약 1nm 및 약 100nm 사이의 두께로 기판 상에 등각 층(conformal layer)을 형성하기 위해 반복된다. 다른 실시형태에서는, 약 5nm 및 약 50nm 사이의 두께이다. 다른 실시형태에서는, 약 5nm 및 약 30nm 사이의 두께이다.

[0062] 일 실시형태에 있어서, 본원에서 설명된 방법들 중 임의의 방법을 사용하여, 기판은 약  $50^\circ\text{C}$  및 약  $550^\circ\text{C}$  사이로, 특히 약  $300^\circ\text{C}$  내지 약  $450^\circ\text{C}$ 로, 예를 들면, 약  $350^\circ\text{C}$  또는  $400^\circ\text{C}$ 로 가열된다. 일 실시형태에 있어서, 기판은 퇴적동안 가열되고, 다른 실시형태들에서 기판은 퇴적동안 또는 퇴적 단계들 이후에 어닐로서 주기적으로 가열된다.

[0063] 도 6 내지 도 13은, 여러 가지 프로세스 파라미터들, 예를 들면, 실리콘 함유 전구체 흐름, 질소 함유 반응물, 및 UV 광원 세기에 대한 하나 또는 두 개의 SiN 퇴적 사이클들의 시간적 진행들의 실시형태들을 제공한다. 존재할 수도 있는 불활성 가스 흐름과 같은 다른 파라미터들은 도해의 편의를 위해 도시되지 않았다. 도 6 내지 도 13의 설명이 주로 SiN 막들에 관련하지만, 예를 들면,  $\text{SiO}_2$ , SiCN 또는 SiONC를 형성하기 위해 질소 함유 반응물에 더하여 또는 질소 함유 반응물 대신 다른 반응물이 사용될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 마찬가지로, 사용되는 특정 Si 함유 및 N 함유 반응물들에 따라 SiCN, SiOCN 및 SiON 막들을 형성하기 위해 도 6 내지 도 13에 도시된 바와 같은 프로세스들이 사용될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 마찬가지로, 도 6 내지 도 13이 UV 에너지에 관련하지만, UV 에너지에 더하여 또는 UV 에너지 대신 상기 논의된 바와 같은 하나 이상의 다른 에너지원들이 사용될 수도 있다.

[0064] 몇몇 실시형태들에서, 실리콘 함유 반응물은 UV에 투명하고, 질소 함유 반응물은 UV 활성화될 수 있다. 어떤 다른 실시형태들에서, 실리콘 함유 반응물은 UV 활성화될 수 있는 리간드를 포함할 수 있다. 예를 들면,

NH<sub>3</sub>는 약 240nm 보다 작은 파장을 갖는 UV 방사에 의해 활성화될 수 있다. O<sub>2</sub> 함유 리간드들은 약 240nm 보다 작은 파장을 갖는 UV 방사에 의해 활성화될 수 있다. SiH<sub>4</sub> 및 대부분의 그 유도체들은 약 200nm 보다 작은 파장을 갖는 UV 방사에 의해 활성화될 수 있다.

[0065] 먼저, 도 6은 두 개의 사이클들 (610A 및 610B) 을 도시하는데, 그 각각은 SiN의 층의 퇴적으로 귀착된다. 퇴적 사이클 (610A) 은 페이스 (620A) 에서 Si 함유 반응물 흐름로 시작한다. 도 6에 도시된 실시형태가 Si 함유 반응물의 일정한 유량을 갖는 것으로 하여 페이스 (620A) 를 서술하지만, 도면들에 도시된 임의의 반응물의, 가변 유량을 포함하는, 임의의 적절한 유량이 활용될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 선택적 퍼지 페이스 (20A) 가 페이스 (620A) 에 후속한다. 질소 함유 반응물은 페이스 (630A) 에서 챔버로 흘러들어간다.

이 페이스 동안, 챔버 내의 기체상 분자들 및/또는 표면 결합 분자들이 UV 방사에 노출되어 UV 방사에 의해 활성화될 수도 있도록 UV 광은 스위치 온된다. 특히, 기체상의 질소 함유 반응물은 UV 방사에 의해 활성화될 수 있다. 도 6에 도시된 실시형태가 UV 세기를 일정한 것으로 서술하지만, 가변적이거나 또는 펄스화될 수도 있음을 알 수 있을 것이다. 또한, 몇몇 실시형태들에 있어서, UV 방사는 질소 함유 흐름과 시간적으로 중첩할 수도 있지만 그 이전 또는 이후에 시작하거나 정지한다. 사이클 (610A) 은 선택 퍼지 (optional purge; 30A) 로 끝난다. 제 2의 사이클 (610B) 은 페이스들 (620B 및 630B) 및 선택 퍼지 페이스들 (20B 및 30B) 을 포함하여 서술된다.

[0066] 도 7은 두 개의 사이클들 (710A 및 710B) 을 도시하는데, 사이클 (710A) 은 페이스 (730A) 가 후속하는 페이스 (720A) 를 포함하고 사이클 (710B) 은 페이스 (730B) 가 후속하는 페이스 (720B) 을 포함한다. 페이스들 (720A 및 720B) 은 UV없이 Si 함유 반응물 및 질소 함유 반응물 양자의 흐름들을 포함한다. 도시되진 않았지만, 이들 페이스들은 몇몇 실시형태들에서 선택 퍼지 페이스들이 후속할 수 있다. 질소 함유 반응물은 페이스들 (730A 및 730B) 로 계속 흐르는데, UV 광은 이들 페이스에서 계속 온 상태로 유지된다.

[0067] 도 8은, 사이클들 (810A 및 810B) 의 페이스들 (820A 및 820B) 에서 실리콘 함유 반응물이 챔버 안에서, 만약 흐른다면, 흐르는 동안 UV 광이 온되는 실시형태의 두 사이클들 (810A 및 810B) 을 각각 나타낸다. UV 광은 표면 결합 Si 함유 분자들을 활성화시킬 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 실리콘 함유 반응물 흐름과 UV 방사 스위칭 온 사이에 지연이 있을 수도 있다. 선택 퍼지 동작들 (20A 및 20B) 은, 질소 함유 반응물이 페이스 (830A 및 830B) 에서 챔버 안으로 흘러들어가기 이전에, 페이스들 (820A 및 820B) 에 각각 후속한다. 각 사이클은 선택 퍼지 동작 (30A 또는 30B) 으로 종료할 수도 있다.

[0068] 도 9는 각 사이클의 지속 기간 동안 UV 광이 온되는 실시형태의 실시형태의 두 사이클 (910A 및 910B) 을 도시한다. 각 사이클은, 선택 퍼지 페이스 (사이클 (910A) 의 페이스 (20A) 및 사이클 (910B) 의 페이스 (20B)) 가 후속하는 실리콘 함유 반응물의 흐름 (사이클 (910A) 의 페이스 (920A) 및 사이클 (910B) 의 페이스 (920B)) 및 선택 퍼지 페이스 (사이클 (910A) 의 페이스 (30A) 및 사이클 (910B) 의 페이스 (30B)) 가 후속하는 질소 함유 반응물의 흐름 (사이클 (910A) 의 페이스 (930A) 및 사이클 (910B) 의 페이스 (930B)) 를 포함한다. 몇몇 실시형태들에서, UV 광은 사이클들 (910A 및 910B) 의 일부 동안, 예를 들면, 수행된다면 선택 퍼지 페이스 동안, 스위치 오프될 수도 있다.

[0069] 도 10은 질소 함유 반응물이 UV 방사에 의해 활성화된 이후 반응 챔버로 들어가는 실시형태의 실시형태의 두 사이클 (1010A 및 1010B) 을 도시한다. 퇴적 사이클 (1010A) 은 선택 퍼지 페이스 (20A) 가 후속하는 Si 함유 반응물의 흐름 (페이스 (1020A)) 를 포함한다. 그 후, UV 활성화된 질소 함유 반응물은, 표면 결합 Si 함유 반응물과 반응하여 SiN의 층을 형성할 수 있는 챔버로 흘러들어간다 (페이스 (1030A)). 그 후, 선택 퍼지 페이스 (30A) 가 수행되어 사이클 (1010A) 이 종료될 수 있다. 퇴적 사이클 (1010B) 은 페이스들 (1020B 및 1030B) 및 선택 퍼지 페이스들 (20B 및 30B) 을 포함한다.

[0070] 도 11 및 도 12는, Si 함유 반응물 흐름, 질소 함유 반응물 흐름 및 UV 노출이 잇따라 일어나는 최적 프로세스들의 예시적인 세 단계의 사이클을 도시한다. 먼저, 도 11은 페이스 (1120A) 에서 Si 함유 반응물을 흘리는 것으로 시작하는 퇴적 사이클 (1110A) 을 나타낸다. 이것에 선택 퍼지 (20A) 가 후속한다. 다음으로, 페이스 (1140A) 에서 UV 광원이 스위치 온되어 적어도 표면 결합 Si 함유 반응물을 UV 방사에 노출시킨다. 페이스 (1140A) 에도 선택 퍼지 페이스 (40A) 가 후속될 수 있다. 그 다음, 페이스 (1130A) 에서 질소 함유 반응물이 반응기로 흘러들어가 활성화된 표면 결합 Si 함유 반응물과 반응하게 된다. SiN이 형성된다. 상기 사이클은 이 페이스 이후에 종료되거나, 또는 선택 퍼지 페이스 (30A) 이후에 종료될 수 있다. 소망하는 두께의 SiN 막을 퇴적시키기 위해 부가적인 사이클이 수행될 수 있다.

[0071] 도 12은 선택 퍼지 (20A) 가 후속하는 페이즈 (1220A) 에서 Si 함유 반응물을 흘리는 것으로 시작하는 퇴적 사이클 (1210A) 을 나타낸다. 다음에, 선택 퍼지 (30A) 가 후속하는 페이즈 (1230A) 에서 질소 함유 반응물이 반응기로 흘러들어간다. 상기 반응물은 페이즈 (1240A) 에서 UV 방사에 노출되어, 반응을 활성화시켜 SiN을 형성하게 된다. 표면 결합 실리콘 함유 반응물 및 질소 함유 반응물의 하나 또는 양자가 활성화될 수 있다. 몇몇 실시형태들에서, 선택 퍼지 (30A) 는 수행되지 않고, 그 결과 기체상 질소 함유 반응물이 페이즈 (1240A) 동안 존재할 수도 있다. UV 노출 이후, 선택 퍼지 (40A) 가 수행되어, SiN 재료의 고체층을 남기고, 사이클 (1210A) 을 종료할 수 있다. 소망하는 두께의 막을 퇴적하기 위해 필요에 따라 부가적인 사이클들이 수행될 수 있다. 몇몇 실시형태들에서, UV 노출 페이즈는, 페이즈 (1230A) 이후에 발생하는 것에 더하여, 페이즈 (1220A) 이후 그리고 페이즈 (1230A) 이전에 (도 11에서와 같이) 또한 발생할 수도 있다.

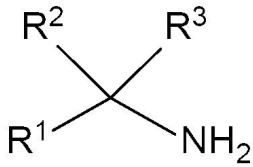
[0072] 도 13은, 페이즈 (1320A) 에서 Si 함유 반응물 및 질소 함유 반응물이 UV 방사의 존재하에서 함께 흐르는 실시 형태의 실시형태의 시간적 진행을 도시한다. 몇몇 실시형태들에서, 실리콘 함유 반응물은 UV에 투명하고, 동시에 질소 함유 반응물은 활성화될 수 있다. 그러면, 이때 퇴적된 실리콘 함유 반응물 상에 라디칼들을 생성할 수 있다. 선택 퍼지 페이즈 (20A) 가 페이즈 (1320A) 에 후속하여 사이클 (1310A) 을 종료할 수도 있다. 하나 이상의 부가적인 사이클이 수행될 수도 있다.

[0073] **반응물**

[0074] 위에 기재된 바와 같이, 실리콘 함유 반응물의 예들은 실란, 할로실란 또는 아미노실란을 포함한다. 실란은 수소 및/또는 탄소 기들을 포함하지만 할로젠을 포함하지 않는다. 실란들의 예는 실란 (SiH<sub>4</sub>), 디실란 (Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 및 메틸실란, 에틸실란, 이소프로필실란, t-부틸실란, 디메틸실란, 디에틸렌실란, 디-t-부틸렌실란, 알리실란, sec-부틸실란, 텍실실란, 이소아밀실란, t-부틸디실란, 디-t-부틸디실란, 등과 같은 유기 실란들을 포함한다. 할로실란은 적어도 하나의 할로젠 기를 포함하고, 수소 및/또는 탄소 기들을 포함할 수도 또는 포함하지 않을 수도 있다. 할로실란의 예들은 이오도실란, 브로모실란, 클로로실란 및 플루오로실란이다. 할로실란, 특히, 플루오로실란은 실리콘 재료들을 에칭할 수 있는 반응성 할라이드 중을 형성할 수도 있고, 여기에 설명된 특정 실시형태들에서, 실란 함유 반응물은 플라즈마가 스트라이크될 (struck) 때에는 존재하지 않는다. 특정 클로로실란들은 테트라클로로실란 (SiCl<sub>4</sub>), 트리클로로실란 (HSiCl<sub>3</sub>), 디클로로실란 (H<sub>2</sub>SiCl<sub>2</sub>), 모노클로로실란 (ClSiH<sub>3</sub>), 클로로알리실란, 클로로메틸실란, 디클로로메틸실란, 클로로디메틸실란, 클로로에틸실란, t-부틸클로로실란, 디-t-부틸클로로실란, 클로로이소프로필실란, 클로로-sec-부틸실란, t-부틸 디메틸클로로실란, 부틸디메틸클로로실란, 테실디메틸클로로실란 등이다. 아미노실란은 실리콘 원자에 결합된 적어도 하나의 질소 원자를 포함하지만, 또한 수소들, 산소들, 할로젠들 및 탄소들을 포함할 수도 있다. 아미노실란들의 예들은 모노-, 디-, 트리- 및 테트라-아미노실란 (H<sub>3</sub>Si(NH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>Si(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, HSi(NH<sub>2</sub>)<sub>3</sub> 및 Si(NH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>, 각각) 뿐만 아니라 치환된 모노-, 디-, 트리- 및 테트라-아미노실란들, 예를 들어, t-부틸아미노실란, 메틸아미노실란, tert-부틸실란아민, 비스(테르티아리부틸아미노)실란 (SiH<sub>2</sub>(NHC(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (BTBAS), 비스(디메틸아미노)디메틸 실란 및 다른 유사한 화합물들이며, 탄소는 실리콘 및 아미노 기, 테르트-부틸 실리카바메이트, SiH(CH<sub>3</sub>)-(N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, SiHCl-(N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, (Si(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NH)<sub>3</sub> 등 양쪽에서 치환한다. 아미노실란의 추가예는 트리실릴아민 (N(SiH<sub>3</sub>)) 이다. 여러 실시형태에 따르면, 실리콘 함유 반응물은 UV-투과형일 수도 또는 UV-투과형이 아닐 수도 있다. UV-투과형 실리콘 함유 반응물이 이용되면, 예를 들어, 도 5, 6-7 및 9-13 에 대하여 위에서 설명된 바와 같이, UV 노출은 일반적으로, 질소 공동 반응물이 존재하여 UV 방사에 의해 활성화될 때 타 이밍된다.

[0075] 임의의 적절한 질소 함유 반응물이 이용될 수 있다. 일 실시형태에서, 질소 함유 반응물은 암모니아, 하이드라진, 아민 및 이들의 혼합물로 구성된 그룹에서 선택된다. 일부 실시형태들에서, 질소 함유 반응물은 증기 상태에서 UV 에 의해 활성화될 수 있다. 예들은 NH<sub>3</sub>, NR<sub>3</sub>, NR<sub>2</sub>H 및 NRH<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 및 형성 기체 (N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>) 를 포함한다.

[0076] 일 실시형태에서, 질소 함유 반응물은 C<sub>1-10</sub> 알킬 아민 또는 C<sub>1-10</sub> 알킬 아민들의 혼합물을 포함한다. 일 실시형태에서, C<sub>1-10</sub> 알킬 아민은 1차 알킬 아민이거나 2차 알킬 아민이다. 일 실시형태에서, C<sub>1-10</sub> 알킬 아민은 1차 알킬 아민이다. 일 실시형태에서, C<sub>1-10</sub> 알킬 아민은 식 I 에 따르며:



I

[0077]

[0078]

여기서, R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> 및 R<sup>3</sup> 각각은 서로 독립적으로 H 또는 C<sub>1-3</sub> 알킬이거나; 또는 R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> 및 R<sup>3</sup> 중 두개는 이들이 부착 (attach) 할 수 있는 탄소 원자와 함께 C<sub>3-7</sub> 시클로알킬을 형성하며, R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> 및 R<sup>3</sup> 의 다른 하나는 H 또는 C<sub>1-3</sub> 알킬이다. 일 실시형태에서, C<sub>1-10</sub> 알킬 아민은 질소에 직접 부착된 2차 또는 3차 탄소이다. 일 실시형태에서, C<sub>1-10</sub> 알킬 아민은 이소프로필아민, 시클로프로필아민, sec-부틸아민, tert-부틸 아민, 시클로부틸아민, 이소아밀아민, 2-메틸부탄-2-아민 및 테실아민 (2,3-디메틸부탄-2-아민) 으로 구성된 그룹에서 선택된다. 일 실시형태에서, 식 I 의 C<sub>1-10</sub> 알킬 아민에서, R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> 및 R<sup>3</sup> 각각은 C<sub>1-3</sub> 알킬이다. 일 실시형태에서, C<sub>1-10</sub> 알킬 아민은 tert-부틸 아민 (TBA) 이다. TBA 가 이용될 수 있다.

[0079]

몇몇 실시형태들에서, 생성된 SiN 막은 원하지 않는 탄소 함유량을 갖는다. 이 막내 탄소는 전기적 누설을 가져올 수도 있고 일부 유전체 배리어 애플리케이션들에 대해 막이 이용될 수 없게 한다. 탄소 함유량은 변할 수 있지만, 몇몇 실시형태들에서는, 대략 10% 탄소 (중량 당) 는 너무 높은 것으로 고려될 수 있다. 여기에 설명된 방법들은 SiN 막들 내의 원하지 않는 탄소 문제를 해결한다. 여기에 설명된 방법들은 2% 탄소 미만의 SiN 막들을 제조하고, 일 실시형태에서는 1% 탄소 미만이며, 또 다른 실시형태에서는 0.5% 탄소 미만이다. 몇몇 실시형태들에서, 탄소 잔여물의 감소는 FTIR 스펙트라에서 쉽게 관찰가능하지만, 다른 분석 방법들도 이들 범위 내에서 탄소 함유량을 측정할 수 있는 당해 기술 분야의 당업자에 알려져 있다.

[0080]

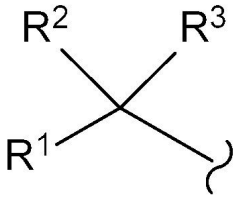
몇몇 실시형태들에서, 질소 함유 반응물은 열적 제거가능 기를 포함할 수 있다. 열적 제거가능 기는 약 200 °C 내지 약 550 °C 에서의 휘발성 성분으로 분해하는 기이다. 예를 들어, 2차 및 특히 3차 탄소기들이 이 온도 범위에서 제거 반응을 진행할 수 있다. 특정예에서, t-부틸 기들은 이 온도 범위에서 분해하여 이소부틸렌을 형성한다. 예를 들어, t-부틸아민은 가열시, 제거 반응을 진행하여 이소부틸렌 및 암모니아를 형성한다. 다른 예로서, t-부톡시카르보닐 기들 (t-BOC) 기들이 또한 예를 들어, 약 150 °C 에서 열적으로 분해하여 이소부틸렌, 이산화탄소 및 t-BOC 기가 부착된 라디칼을 형성한다. 예를 들어, t-부틸카르바메이트는 열적으로 분해하여 이소부틸렌 암모니아 및 이산화탄소를 제공한다.

[0081]

기판은 약 200 °C 내지 약 550 °C 에서 가열될 수 있어, 이러한 기들이 이들의 탄소 함유물을 분해하고 해리하며 따라서 SiN 막의 탄소 함유량을 감소시킨다. 반응물들은 기판 상에 흡착되고, 플라즈마를 이용하여 반응물들을 SiN 재료로 변환한다. 남아 있는 탄소 기들은 기판을 가열함으로써 제거될 수 있다. 가열은 열적 제거가능 기들을 분해하기 위해 주기적으로 또는 전체 퇴적 동안에 수행될 수 있다. 일 실시형태에서, 기판은 약 200 °C 내지 약 550 °C 에서 가열되며, 다른 실시형태에서, 약 350 °C 내지 약 550 °C 에서 가열되며, 또 다른 실시형태에서, 약 450 °C 내지 약 550 °C 에서 가열되며 또 다른 실시형태에서, 약 450 °C 내지 약 500 °C 에서 가열된다. 일 실시형태에서, 예를 들어, TBA가 이용되는 경우, SiN 막은 약 450 °C 내지 약 500 °C 에서 약 1 초 내지 약 30 초간, 또는 약 1 초 내지 약 20 초간, 또는 약 1 초 내지 약 10 초간 가열될 수 있다. 임의의 특정한 열적 제거가능 기가 특정 온도 임계값에서 분해하지만, 보다 높은 온도를 이용하여 분해 속도를 증가시킬 수도 있고 및/또는 어닐로서 SiN 막의 특성들을 개선시킬 수도 있다.

[0082]

상술한 바와 같이, 열적 제거가능 기는 2차 또는 3차 탄소 관능기를 포함할 수도 있다. 실리콘 함유 반응물 또는 질소 함유 반응물의 일방 또는 양방은 동일 또는 상이한 열적 제거가능 기들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 일 실시형태에서, 열적 제거가능 기는 식 II 에 따르면:



II

[0083]

[0084] 여기서, R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> 및 R<sup>3</sup> 각각은 서로 독립적으로 H 또는 C<sub>1-3</sub> 알킬이거나; 또는 R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> 및 R<sup>3</sup> 중 두개는 이들이 부착 (attach) 할 수 있는 탄소 원자와 함께 C<sub>3-7</sub> 시클로알킬을 형성하며, R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> 및 R<sup>3</sup> 의 다른 하나는 H 또는 C<sub>1-3</sub> 알킬이며, 상기 열적 제거가능 기 각각은 질소 함유 반응물의 일부일 때 질소 함유 반응물의 질소 또는 산소에 부착되며, 실리콘 함유 반응물의 일부일 때 실리콘 또는 질소 또는 산소에 부착된다. 일 실시형태에서, R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup> 및 R<sup>3</sup> 각각은 서로 독립적으로 C<sub>1-3</sub> 알킬이다. 일 실시형태에서, 열적 제거가능 기는 t-부틸 기이다.

[0085] 장치

[0086] 본 발명의 다른 양상은 여기에 설명된 방법들을 구현하는 장치이다. 적절한 장치는 본 발명에 따라 프로세스 동작들을 구현하기 위한 하드웨어 및 프로세스 동작들을 제어하기 위한 명령들을 갖는 시스템 제어기를 포함한다.

[0087] 임의의 적절한 프로세스 스테이션이 상술한 실시형태들 중 하나 이상에 이용될 수도 있음을 알 것이다. 예를 들어, 도 14 는 CFD 프로세스 스테이션 (2300) 을 개략적으로 나타낸다. 간략화를 위하여, CFD 프로세스 스테이션 (2300) 은 저압 환경을 유지하기 위한 프로세스 챔버 바디 (2302) 를 갖는 독립형 프로세스 스테이션으로서 나타나 있다. 그러나, 복수의 CFD 프로세스 스테이션들 (2300) 이 일반적인 저압 프로세스 톨 환경에 포함될 수도 있음을 알 것이다. 도 14 에 나타난 실시형태는 하나의 프로세스 스테이션을 보여주고 있지만, 몇몇 실시형태들에서는 복수의 프로세스 스테이션들이 프로세싱 톨에 포함될 수 있음을 알 것이다. 예를 들어, 도 15 는 멀티스테이션 프로세싱 톨 (2400)의 일 실시형태를 나타낸다. 추가로, 몇몇 실시형태들에서, 아래 자세히 설명된 것들을 포함한 CFD 프로세스 스테이션 (2300) 의 하나 이상의 하드웨어 파라미터들이 하나 이상의 컴퓨터 제어기들에 의해 프로그램 형태로 조정될 수 있음을 알 것이다.

[0088] CFD 프로세스 스테이션 (2300) 는 분배 샤워헤드 (2306) 에 프로세스 기체들을 전달하기 위하여 반응물 전달 시스템 (2301) 과 유체적으로 연통한다. 반응물 전달 시스템 (2301) 은 샤워헤드 (2306) 로의 전달을 위하여 프로세스 기체들을 블렌딩 및/또는 컨디셔닝하기 위한 믹싱 베셀 (2304) 를 포함한다. 하나 이상의 믹싱 베셀 유입구 밸브들 (2320) 은 믹싱 베셀 (2304) 로의 프로세스 기체들의 도입을 제어할 수도 있다.

[0089] 몇몇 반응물들은 프로세스 스테이션으로의 전달시 그리고 전달에 후속하여 기화 이전에 액체 형태로 저장될 수도 있다. 예를 들어, 도 14 의 장치는 믹싱 베셀 (2304) 에 제공될 액체 반응물들을 기화시키기 위한 기화 포인트 (2303) 를 포함한다. 몇몇 실시형태들에서, 기화 포인트 (2303) 는 가열된 기화기일 수도 있다. 이러한 기화기들로부터 생성된 침습된 반응물 증기는 전달 파이핑 하류에서 응축할 수도 있다. 양립가능하지 않은 기체들의 응축된 반응물로의 노출은 미소 입자들을 생성할 수도 있다. 이들 미소 입자는 파이핑 방해, 밸브 작동 방해, 기관 오염 등을 야기할 수도 있다. 이들 문제를 해결하기 위한 몇몇 접근 방식은 잔류하는 반응물들을 제거하기 위하여 전달 파이핑을 스위프하고/하거나 배출시키는 것을 포함한다. 그러나, 전달 파이핑을 스위프하는 것은 프로세스 스테이션 사이클 시간을 증가시켜 프로세스 스테이션 스루풋을 열화시킬 수도 있다. 따라서, 몇몇 실시형태들에서, 기화 포인트 (2303) 의 전달 파이핑 하류가 가열 트레이싱된다. 일부 실시예들에서, 믹싱 베셀 (2304) 도 또한 가열 트레이싱된다. 하나의 비제한적 예에서, 기화 포인트 (2303) 의 파이핑 하류는 믹싱 베셀 (2304) 에서 대략 100 °C 에서부터 대략 150 °C 로 확장되는 증가하는 온도 프로파일을 갖는다.

[0090] 몇몇 실시형태들에서, 반응물 액체가 액체 인젝터에서 기화된다. 예를 들어, 액체 인젝터는 믹싱 베셀의 캐리어 기체 스트림 상류로 액체 반응물의 펄스들을 주입할 수도 있다. 일 실시형태에서, 액체 인젝터는 고압

에서 저압으로 액체를 플래싱함으로써 반응물을 증발시킨다. 다른 실시형태에서, 액체 인젝터는 가열된 전달 파이프에서 후속하여 기화된 분산 미세방울들로 액체를 분무시킨다. 보다 작은 액체방울들이 보다 큰 액체방울들보다 더 빠르게 기화하여 액체 주입과 완전한 기화 사이의 지연을 감소시킬 수도 있음을 알 것이다.

보다 빠른 기화는 기화 포인트 (2303) 로부터 하류의 파이프 길이를 감소시킬 수도 있다. 일 실시형태에서, 액체 인젝터는 믹싱 베셀 (2304) 에 직접 설치된다. 다른 실시형태에서, 액체 인젝터는 샤워헤드 (2306) 에 직접 탑재된다.

[0091] 몇몇 실시형태들에서, 기화 및 프로세스 스테이션 (1300) 으로의 전달을 위해 액체의 유량을 제어하기 위하여 기화 포인트 (2303) 의 상류에 액체 흐름 제어기가 제공된다. 일 예에서, 액체 흐름 제어기 (liquid flow controller; LFC) 는 LFC 의 하류에 위치한 서멀 유량계 (mass flow meter; MFM) 를 포함한다. LFC 의 플런저 밸브는 MFM 와 전기적으로 통신하는 PID (proportional-integral-derivative) 제어기에 의해 제공된 피드백 제어 신호들에 응답하여 조정된다. 그러나, 1/2 이상이 피드백 제어를 이용하여 액체 흐름을 안정화할 수도 있다. 이는 액체 반응물을 도싱하기 위한 시간을 연장시킬 수도 있다. 따라서, 몇몇 실시형태들에서, LFC 는 피드백 제어 모드와 직접 제어 모드 사이에서 동적으로 스위칭된다. 몇몇 실시형태들에서, LFC 는 LFC 의 감지 튜브와 PID 제어기를 디스에이블시킴으로써 피드백 제어 모드에서 직접 제어 모드로 동적으로 스위칭된다.

[0092] 샤워헤드 (2306) 는 기관 (2312) 를 향하여 프로세스 기체를 분배한다. 도 14 에 도시된 실시형태에서, 기관 (2312) 은 샤워헤드 (2306) 바로 밑에 위치되고 받침대 (2308) 상에 정지되어 있는 것으로 도시되어 있다. 샤워헤드 (2306) 는 임의의 적절한 형상을 가질 수도 있고 기관 (2312) 에 프로세스 기체들을 분배하기 위하여 임의의 적절한 개수 및 배치의 포트를 가질 수도 있음을 알 것이다.

[0093] 몇몇 실시형태들에서, 마이크로볼륨 (2307) 이 샤워헤드 (2306) 바로 밑에 위치된다. 프로세스 스테이션의 전체 볼륨에서보다는 마이크로볼륨에서 CFD 프로세스를 수행함으로써 반응물 노출 및 스위프 시간을 감소시킬 수도 있고, CFD 프로세스 조건 (예를 들어, 압력, 온도 등) 을 변경하기 위한 시간들을 감소시킬 수도 있고, 프로세스 기체들에 대한 프로세스 스테이션 로봇들의 노출을 제한하는 등을 할 수도 있다. 예시적인 마이크로볼륨의 사이즈들은 0.1 리터 내지 2 리터의 볼륨들을 포함하지만 이들에 제한되지 않는다.

[0094] 몇몇 실시형태들에서, 받침대 (2308) 는 기관 (2312) 을 마이크로볼륨 (2307) 에 노출시키고/거나 마이크로볼륨 (2307) 의 볼륨을 변화시키기 위하여 상승 또는 하강할 수도 있다. 예를 들어, 기관 전달 단계에서, 받침대 (2308) 는 기관 (2312) 이 받침대 (2308) 상에 적재될 수 있게 하강된다. CFD 프로세스 단계 동안에, 받침대 (2308) 는 기관 (2312) 이 마이크로볼륨 (2307) 내에 위치결정되도록 상승된다. 몇몇 실시형태들에서, 마이크로볼륨 (2307) 은 기관 (2312) 에 더하여 받침대 (2308) 의 일부분도 완전하게 인클로징하여 CFD 프로세스 동안에 높은 흐름 임피던스의 영역을 생성하게 한다.

[0095] 선택적으로, 받침대 (2308) 는 마이크로볼륨 (2307) 내에서 프로세스 압력, 반응물 농도 등을 변경하기 위하여 CFD 프로세스의 부분들 동안에 하강 및/또는 상승될 수도 있다. 일 실시형태에서, 프로세스 챔버 바디 (2302) 가 CFD 프로세스 동안에 베이스 압력으로 유지되는 경우, 받침대 (2308) 를 하강시키는 것은 마이크로볼륨 (2307) 을 배출시키는 것을 허용한다. 프로세스 챔버 볼륨에 대한 마이크로볼륨의 비들은 1:500 내지 1:10 의 볼륨 비를 포함하지만 이들에 제한되지 않는다. 몇몇 실시형태들에서, 받침대 높이는 적절한 컴퓨터 제어기에 의해 프로그램 형태로 조정될 수도 있음을 알 것이다.

[0096] 다른 실시형태에서, 받침대 (2308) 의 높이를 조정하는 것은 플라즈마 활성화 및/또는 처리 사이클 CFD 프로세스들에 포함된 처리 사이클 동안에 플라즈마 밀도가 변경되는 것을 허용한다. CFD 프로세스 단계의 마지막에서는, 받침대 (2308) 가 다른 기관 전달 단계 동안에 하강하여 기관 (2312) 이 받침대 (2308) 로부터 제거되는 것을 허용한다.

[0097] 여기에 설명된 예시적인 마이크로볼륨 변형예들은 높이 조정가능 받침대를 언급하고 있지만, 몇몇 실시형태들에서, 샤워헤드 (2306) 의 위치가 받침대 (2308) 에 대하여 조정되어 마이크로볼륨 (2307) 의 볼륨이 변경될 수도 있음을 알 것이다. 또한, 받침대 (2308) 및/또는 샤워헤드 (2306) 의 수직 높이가 임의의 적절한 메카니즘에 의해 변경될 수도 있음을 알 것이다. 당해 기술 분야의 당업자는 이러한 메카니즘은 예를 들어, 수력학 (hydraulics), 기력학 (pneumatics), 스프링 메카니즘, 솔레노이드 등을 포함함을 알 것이다. 몇몇 실시형태들에서, 받침대 (2308) 는 예를 들어, 기관 (2312) 의 배향을 회전시키기 위하여 기관의 표면에 직교하는 축을 따른 회전 메카니즘을 포함할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 이들 예시적인 조정들 중 하나 이상이 하나 이상의 적절한 컴퓨터 제어기들에 의해 프로그램형태로 제어될 수도 있음을 알 것이다.

- [0098] 도 14 에 도시된 실시형태로 돌아가면, 샤워헤드 (2306) 및 받침대 (2308) 는 플라즈마에 전원 공급하기 위하여 RF 전원 공급 장치 (2314) 및 매칭 네트워크 (2316) 와 전기적으로 통신한다. 몇몇 실시형태들에서, 플라즈마 에너지는 프로세스 스테이션 압력, 기체 농도, RF 소스 전력, RF 소스 주파수, 및 플라즈마 전력 펄스 타이밍 중 하나 이상을 제어함으로써 제어된다. 예를 들어, RF 전원 공급 장치 (2314) 및 매칭 네트워크 (2316) 는 라디칼 종들의 원하는 조합을 갖는 플라즈마를 형성하기 위하여 임의의 적절한 전력에서 동작될 수도 있다. 적절한 전력의 예들은 100W 내지 5000 W 에서의 전력들이지만 이들로 제한되지 않는다. 마찬가지로, RF 전원 공급 장치는 임의의 적절한 주파수의 RF 전력을 제공할 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, RF 전원 공급 장치 (2314) 는 고주파 및 저주파 RF 전력 소스들을 서로 독립적으로 제어하도록 구성될 수도 있다. 예시적인 저주파 RF 주파수들은 50 kHz 내지 500 kHz 의 주파수들을 포함할 수도 있지만 이들에 제한되지 않는다. 예시적인 고주파 RF 주파수들은 1.8 MHz 내지 2.45 GHz 주파수들을 포함할 수도 있지만 이들에 제한되지 않는다. 임의의 적절한 파라미터들이 표면 반응들에 플라즈마 에너지를 제공하기 위하여 불연속적으로 또는 연속적으로 변조될 수도 있다. 하나의 비제한적인 실시예에서, 플라즈마 전력을 간헐적으로 펄싱하여, 연속적으로 전력 공급된 플라즈마들에 비해 기관으로의 이온 충돌 (ion bombardment) 을 감소시킬 수도 있다.
- [0099] 몇몇 실시형태들에서, 플라즈마는 하나 이상의 플라즈마 모니터에 의해 인시츄 모니터링된다. 일 실시형태에서, 플라즈마 전력은 하나 이상의 전압, 전류 센서들 (예를 들어, VI 프로브들) 에 의해 모니터링된다. 다른 실시형태에서, 플라즈마 밀도 및/또는 프로세스 기체 농도가 하나 이상의 OES (optical emission spectroscopy) 센서들에 의해 측정된다. 몇몇 실시형태들에서, 하나 이상의 플라즈마 파라미터들은 이러한 인시츄 플라즈마 모니터들로부터의 측정들에 기초하여 프로그램 형태로 조정된다. 예를 들어, OES 센서는 플라즈마 전력의 프로그램 형태 제어를 제공하기 위한 피드백 루프에 이용될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 다른 모니터들을 이용하여 플라즈마 및 다른 프로세스 특징들을 모니터링할 수도 있다. 이러한 모니터들은 적외선 (IR) 모니터, 음향 모니터, 및 압력 트랜스듀서를 포함하지만 이들에 제한되지 않는다.
- [0100] 몇몇 실시형태들에서, 플라즈마는 IOC (input/output control) 시퀀싱 명령을 통하여 제어된다. 예를 들어, 플라즈마 프로세스 단계에 대한 플라즈마 조건을 설정하기 위한 명령들은 CFD 프로세스 레시피의 대응하는 플라즈마 활성화 레시피 단계에 포함될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, CFD 프로세스 단계들을 위한 모든 명령들이 프로세스 단계와 동시에 실행되도록 프로세스 레시피 단계들이 순차적으로 정렬될 수도 있다. 플라즈마 생성의 몇몇 양태는 잘 특징화된 과도 상태 및/또는 플라즈마 프로세스 단계를 연장시킬 수도 있는 안정화 시간들을 가질 수도 있음을 알 것이다. 바꾸어 말하면, 이러한 시간 지연들은 예측 가능할 수도 있다. 이러한 시간 지연들은 표시된 전력 설정에서 플라즈마를 스트라이크하는 시간 및 플라즈마를 안정화시키는 시간을 포함할 수도 있다.
- [0101] 몇몇 실시형태들에서, 받침대 (2308) 는 히터 (2310) 를 통하여 온도 제어될 수도 있다. 추가로, 몇몇 실시형태들에서, 버터플라이 밸브 (2318) 에 의해 CFD 프로세스 스테이션 (2300) 에 대한 압력 제어가 제공될 수도 있다. 도 14 에 도시된 바와 같이, 버터플라이 밸브 (2318) 는 하류 진공 펌프 (도시 생략) 에 의해 제공된 진공을 스로틀링한다. 그러나, 몇몇 실시형태들에서, 프로세스 스테이션 (2300) 의 압력 제어는 또한, CFD 프로세스 스테이션 (2300) 에 도입된 하나 이상의 기체들의 유량을 변경함으로써 조정될 수도 있다.
- [0102] 상술한 바와 같이, 하나 이상의 프로세스 스테이션들이 멀티-스테이션 프로세싱 툴 내에 포함될 수도 있다. 도 15 는 인바운드 로드 로크 (2402) 및 아웃바운드 로드 로크 (2404) 를 갖는 멀티-스테이션 프로세싱 툴 (2400) 의 개략도를 나타내며, 인바운드 로드 로크 (2402) 및 아웃바운드 로드 로크 (2404) 의 일방 또는 양방은 원격 플라즈마 소스를 포함할 수도 있다. 대기압에서, 로봇 (2406) 은 포트 (2408) 내에 적재된 카세트로부터 대기압 포트 (2410) 를 통하여 인바운드 로드 로크 (2402) 로 웨이퍼들을 이동시키도록 구성된다. 웨이퍼는 로봇 (2406) 에 의해 인바운드 로드 로크 (2402) 에서 받침대 (2412) 상에 위치되고 대기압 포트 (2410) 가 닫히고 로드 로크가 펌프다운된다. 인바운드 로드 로크 (2402) 가 원격 플라즈마 소스를 포함하는 경우, 웨이퍼는 프로세싱 챔버 (2414) 로 도입되기 전에 로드 로크에서 원격 플라즈마 처리에 노출될 수도 있다. 추가로, 웨이퍼는 또한 인바운드 로드 로크 (2402) 에서 가열될 뿐만 아니라 예를 들어, 습기 및 흡수 기체들을 제거하도록 가열될 수도 있다. 다음, 프로세싱 챔버 (2414) 에 대한 챔버 전송 포트 (2416) 는 열리고 다른 로봇 (도시 생략) 은 처리를 위하여 반응기에 도시된 제 1 스테이션의 받침대 상에서 웨이퍼를 반응기로 위치시킨다. 도 15 에 나타난 실시형태는 로드 로크를 포함하고 있지만, 몇몇 실시형태들에서, 프로세스 스테이션으로의 웨이퍼의 직접 투입도 제공될 수도 있음을 알 것이다.
- [0103] 도시된 프로세싱 챔버 (2414) 는 도 15 에 도시된 실시형태에서 1 내지 4 로 번호 지칭된 4 개의 프로세스 스테이션들을 포함한다. 각각의 스테이션은 (스테이션 1 에 대한 2418 에 도시된) 가열된 받침대 및 기체 라인

유입구를 갖는다. 몇몇 실시형태들에서, 각각의 프로세스 스테이션은 상이한 또는 다중 목적들을 가질 수도 있음을 알 것이다. 예를 들어, 몇몇 실시형태들에서, 프로세스 스테이션은 CFD 와 PECVD 프로세스 모드 사이에서 스위칭가능할 수도 있다. 추가로 또는 대안적으로, 몇몇 실시형태들에서, 프로세싱 챔버 (2414) 는 CFD 및 PECVD 프로세스 스테이션들의 하나 이상의 매칭된 페어들을 포함할 수도 있다. 또한 추가로, 몇몇 실시형태들에서, 프로세싱 챔버 (2414) 는 하나 이상의 UV 경화 스테이션 또는 원격 플라즈마 처리 스테이션들을 포함할 수도 있다. 나타낸 프로세싱 챔버 (2414) 는 4 개의 스테이션들을 포함하고 있지만, 본 개시물에 따른 프로세싱 챔버는 임의의 적절한 수의 스테이션들을 가질 수도 있음을 알 것이다. 예를 들어, 몇몇 실시형태들에서, 프로세싱 챔버는 5개 이상의 스테이션들을 가질 수도 있고 다른 실시형태들에서는 프로세싱 챔버는 3개 이하의 스테이션들을 가질 수도 있다.

[0104] 도 15 는 또한 프로세싱 챔버 (2414) 내에서 웨이퍼를 전달하기 위한 웨이퍼 핸들링 시스템 (2490) 을 나타낸다. 몇몇 실시형태들에서, 웨이퍼 핸들링 시스템 (2490) 은 여러 프로세스 스테이션들 사이에서 및/또는 프로세스 스테이션과 로드 로크 사이에서 웨이퍼를 전달할 수도 있다. 임의의 적절한 웨이퍼 핸들링 시스템이 이용될 수도 있음을 알 것이다. 비제한적인 예들은 웨이퍼 카로셀 (carousel) 및 웨이퍼 핸들링 로봇을 포함한다. 도 15 는 또한 프로세스 툴 (2400) 의 프로세스 조건들과 하드웨어 상태들을 제어하도록 이용된 시스템 컨트롤러 (2450) 를 나타낸다. 시스템 제어기 (2450) 는 하나 이상의 메모리 디바이스 (2456), 하나 이상의 대용량 저장 디바이스 (2454), 및 하나 이상의 프로세서들 (2452) 을 포함할 수도 있다. 프로세서 (2452) 는 CPU 또는 컴퓨터, 아날로그 및/또는 디지털 입/출력 접속부들, 스텝퍼 모터 제어기 보드 등을 포함할 수도 있다.

[0105] 몇몇 실시형태들에서, 시스템 제어기 (2450) 는 프로세스 툴 (2400) 의 모든 동작들을 제어한다. 시스템 제어기 (2450) 는 대용량 저장 디바이스 (2454) 에 저장되고 메모리 디바이스 (2456) 내에 로딩되고 프로세서 (2452) 상에서 실행되는 시스템 제어 소프트웨어 (2458) 를 실행시킨다. 시스템 제어 소프트웨어 (2458) 는 타이밍, 기체 혼합, 챔버 및/또는 스테이션 압력, 챔버 및/또는 스테이션 온도, 웨이퍼 온도, 목표 전력 레벨들, RF 전력 레벨들, 기관 받침대, 척 및/또는 서셉터 위치, 및 프로세스 툴 (2400) 에 의해 수행된 특정 프로세스의 다른 파라미터들을 제어하기 위한 명령을 포함할 수도 있다. 시스템 제어 소프트웨어 (2458) 는 임의의 적절한 방식으로 구성될 수도 있다. 예를 들어, 여러 프로세스 툴 컴포넌트 서브루틴 또는 제어 오브젝트가 여러 프로세스 툴 프로세스들을 수행하는데 필요한 프로세스 툴 컴포넌트들의 동작을 제어하도록 기록될 수도 있다. 시스템 제어 소프트웨어 (2458) 는 임의의 적절한 컴퓨터 판독가능 프로그래밍 언어로 코딩될 수도 있다.

[0106] 몇몇 실시형태들에서, 시스템 제어 소프트웨어 (2458) 는 상술한 여러 파라미터들을 제어하기 위한 IOC (input/output control) 시퀀싱 명령들을 포함할 수도 있다. 예를 들어, CFD 프로세스의 각각의 단계는 시스템 제어기 (2450) 의한 실행을 위한 하나 이상의 명령들을 포함할 수도 있다. CFD 프로세스 단계를 위한 프로세스 조건을 설정하기 위한 명령들이 대응하는 CFD 레퍼시 단계들 내에 포함될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, CFD 프로세스 단계들에 대한 모든 명령들이 프로세스 단계와 동시에 실행되도록 CFD 레퍼시 단계들이 순차적으로 정렬될 수도 있다.

[0107] 시스템 제어기 (2450) 와 연관된 대용량 저장 디바이스 (2454) 및/또는 메모리 디바이스 (2456) 상에 저장된 다른 컴퓨터 소프트웨어 및/또는 프로그램들 이 몇몇 실시형태들에서 이용될 수도 있다. 이 목적을 위하여 프로그램들 또는 프로그램들의 섹션들의 예들은 기관 포지셔닝 프로그램, 프로세스 기체 제어 프로그램 프로세스 기체 제어 프로그램, 압력 제어 프로그램, 히터 제어 프로그램, 및 플라즈마 제어 프로그램을 포함한다.

[0108] 기관 포지셔닝 프로그램은 받침대 (2418) 상으로 기관을 적재하고 기관과 프로세스 툴 (2400) 의 다른 부분들 사이의 간극을 제어하는데 이용되는 프로세스 툴 컴포넌트에 대한 프로그램 코드를 포함할 수도 있다.

[0109] 프로세스 기체 제어 프로그램은 기체 조성 및 유량을 제어하기 위한 그리고 선택적으로 프로세스 스테이션에서의 압력을 안정화하기 위하여 퇴적 전에 하나 이상의 프로세스 스테이션들로 기체를 플로우하기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 압력 제어 프로그램은 예를 들어, 프로세스 스테이션의 배기 시스템에서의 스로틀 밸브를 조절하고, 프로세스 스테이션 내의 기체 흐름을 조절하는 등에 의해 프로세스 스테이션에서의 압력을 제어하기 위한 코드를 포함할 수도 있다.

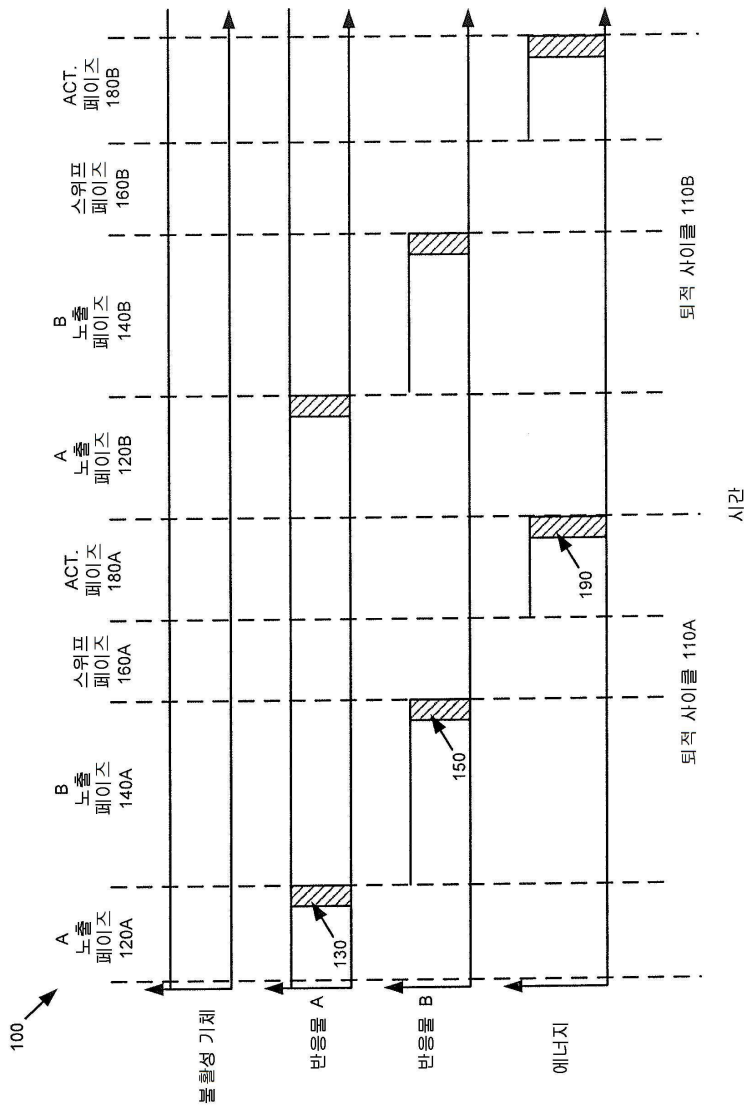
[0110] 히터 제어 프로그램은 기관을 가열하는데 이용된 가열 유닛으로의 전류를 제어하기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 대안적으로, 히터 제어 프로그램은 (헬름과 같은) 열 전달 기체의 기관으로의 전달을 제어할 수도 있다.

- [0111] 플라즈마 제어 프로그램은 하나 이상의 프로세스 스테이션들에서의 프로세스 전극들에 인가된 RF 전력 레벨들을 설정하기 위한 코드를 포함할 수도 있다.
- [0112] 몇몇 실시형태들에서, 사용자 인터페이스가 시스템 제어기 (2450) 와 연관될 수도 있다. 사용자 인터페이스는 디스플레이 스크린, 장치 및/또는 프로세스 조건들의 그래픽 소프트웨어 디스플레이, 및 포인팅 디바이스, 키보드, 터치 스크린, 마이크로폰 등과 같은 사용자 입력 디바이스들을 포함할 수도 있다.
- [0113] 몇몇 실시형태들에서, 시스템 제어기 (2450) 에 의해 조정된 파라미터들은 프로세스 조건들과 관련될 수도 있다. 비제한적인 예들은 프로세스 기체 조성 및 유량, 온도, 압력, (RF 바이어스 전력 레벨과 같은) 플라즈마 조건들, 압력, 온도 등을 포함할 수도 있다. 이들 파라미터들은 사용자 인터페이스를 이용하여 입력될 수도 있는 레시피의 형태로 사용자에게 제공될 수도 있다.
- [0114] 프로세스를 모니터링하기 위한 신호들은 여러 프로세스 툴 센서들로부터의 시스템 제어기 (2450) 의 아날로그 및/또는 디지털 입력 접속부들에 의해 제공될 수도 있다. 프로세스를 제어하기 위한 신호들은 프로세스 툴 (2400) 의 아날로그 및 디지털 출력 접속부들 상에 출력될 수도 있다. 모니터링될 수도 있는 프로세스 툴 센서의 비제한적인 예들은 유량 제어기, (마노미터와 같은) 압력 센서, 서모커플 등을 포함한다. 적절하게 프로그래밍된 피드백 및 제어 알고리즘이 프로세스 조건들을 유지하기 위해 이들 센서로부터의 데이터와 함께 이용될 수도 있다.
- [0115] 시스템 제어기 (2450) 는 상술한 최적 프로세스를 구현하기 위한 프로그램 명령들을 제공할 수도 있다. 프로그램 명령들은 DC 전력 레벨, RF 바이어스 전력 레벨, 압력, 온도, 등과 같은 다양한 프로세스 파라미터들을 제어할 수도 있다. 명령들은 여기에 설명된 여러 실시형태들에 따라 막 스택의 인시츄 퇴적을 조작하는 파라미터들을 제어할 수도 있다.
- [0116] 시스템 제어기는 통상적으로 장치가 본 발명에 따른 방법을 수행하도록 하는 명령을 실행시키도록 구성된 하나 이상의 프로세서 및 하나 이상의 메모리 디바이스를 포함한다. 본 발명에 따른 프로세스 동작들을 제어하기 위한 명령들을 포함하는 머신-판독가능 매체가 시스템 제어기에 연결될 수도 있다.
- [0117] 실시예들
- [0118] 상술한 실시형태들에 따른 UV 및 원격 플라즈마 지원 방법들에 의해 비스(디메틸아모노)디메틸 실란 및 N-반응물이 반응하여 Si-함유 막들을 형성하였다. 각각이 UV 램프를 포함하는 4개의 스테이션을 갖는 UV 경화 장치가 이용되었다. 프로세스 시퀀스들은 다음과 같다.
- [0119] UV ALD: 스테이션 1 & 3 (UV 램프들 OFF) 상에서 비스(디메틸아모노)디메틸 실란 노출, 스테이션 2 & 4 상에서 NH<sub>3</sub> UV 노출. 시퀀스: 비스(디메틸아모노)디메틸 실란 노출 → 퍼지 → 퍼지 → 다음 스테이션으로 인덱스 → NH<sub>3</sub>에서의 UV → 퍼지 → 다음 스테이션으로 인덱스. 통상적인 비스(디메틸아모노)디메틸 노출 시간은 스테이션 1 & 3 상에서 1 slm 캐리어 (Ar) 로 2mL/min 에 의해 20초였다. 웨이퍼는 스테이션 1 & 3 에서 60 초간 침지가 허용되었다. 막은 C 와 함께 SiN 를 함유하였으며, SiNC 피크의 폭에 기초하여 존재하는 것으로 보인다. 상당한 양의 N-H 및 Si-H 둘다 존재하였다.
- [0120] 원격 플라즈마 ALD: 스테이션 3 & 4 상에서 비스(디메틸아모노)디메틸 실란 노출, 스테이션 1 & 2 상에서 NH<sub>3</sub> (+Ar) 에 의한 원격 플라즈마 노출. 모든 스테이션에 대해 UV 램프들 OFF. Astron (20초 노출) 을 이용하여 원격으로 NH<sub>x</sub> 라디칼들을 발생시키기 위해 1 slm NH<sub>3</sub>/5 slm Ar 이용되었다. 시퀀스: 비스(디메틸아모노)디메틸 실란 → 노출 → 노출 → 퍼지 → 2 스테이션 인덱스 → 원격 플라즈마 NH<sub>3</sub> → 퍼지 → 2 스테이션 인덱스. 웨이퍼는 스테이션 3 & 4 에서 60 초간 침지가 허용되었다. 막은 주로 SiN 막이었고 탄소 함유도 가능하게 가졌다. Si-H 결합은 존재하지 않았다. RP 시간을 (20초로부터) 5초로 감소시키는 것은 막 두께나 막 품질에 영향을 주지 않았다.
- [0121] 패터닝 방법/장치
- [0122] 여기에 설명된 장치/프로세스는 예를 들어, 반도체 디바이스, 디스플레이, LED, 광전지 패널 등의 제조 또는 제작을 위한 리소그래픽 패터닝 툴 또는 프로세스들과 결합하여 이용될 수도 있다. 통상적으로, 반드시 그러한 것은 아니지만 이러한 툴들/프로세스들이 일반 제조 설비에서 공동으로 이용되거나 수행된다. 통상적으로, 막의 리소그래픽 패터닝은 다음 단계들: (1) 스핀 온 또는 스프레이 온 툴을 이용한 워크피스, 즉, 기판 상

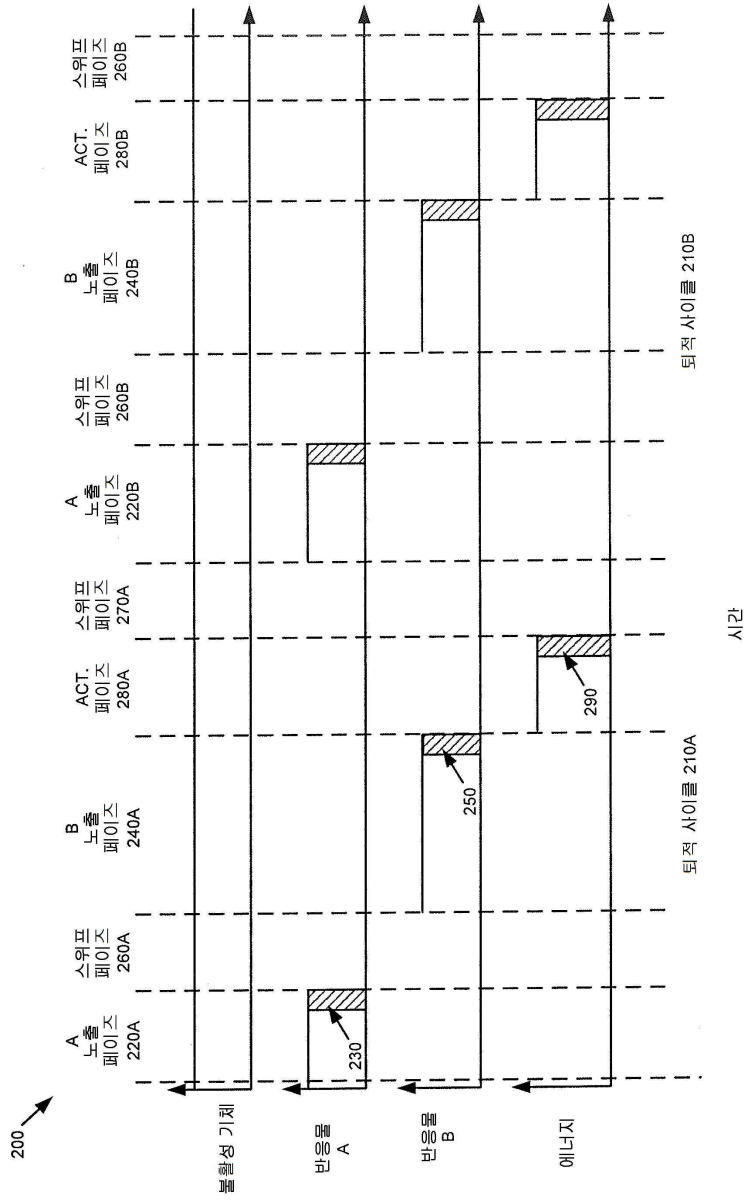
에서의 포토레지스트를 도포하는 단계; (2) 핫 플레이트 또는 노 또는 UV 경화 틀을 이용하여 포토레지스트를 경화하는 단계; (3) 웨이퍼 스텝퍼와 같은 틀을 이용하여 가시광 또는 UV 또는 x-선 광에 포토레지스트를 노광하는 단계; (4) 레지스트를 선택적으로 제거하기 위해 레지스트를 현상하고 이에 의해 웨트 벤치와 같은 틀을 이용하여 레지스트를 패터닝하는 단계; (5) 드라이 또는 플라즈마 보조 에칭 틀을 이용하여 하부 막 또는 워크 피스에 레지스트 패턴을 전사하는 단계; 및 (6) RF 또는 마이크로파 플라즈마 레지스트 스트리퍼와 같은 틀을 이용하여 레지스트를 제거하는 단계의 일부 또는 전부를 포함하며, 각각의 단계는 복수의 가능한 톨로 실행된다. 일 실시형태에서, SiN 막은 여기에 설명된 방법을 이용하여 형성된다. SiN 막은 예를 들어, 여기에 설명된 목적들 중 하나를 위하여 이용된다. 추가로, 본 방법은 상술한 하나 이상의 단계들 (1)-(6)를 포함한다.

도면

도면1

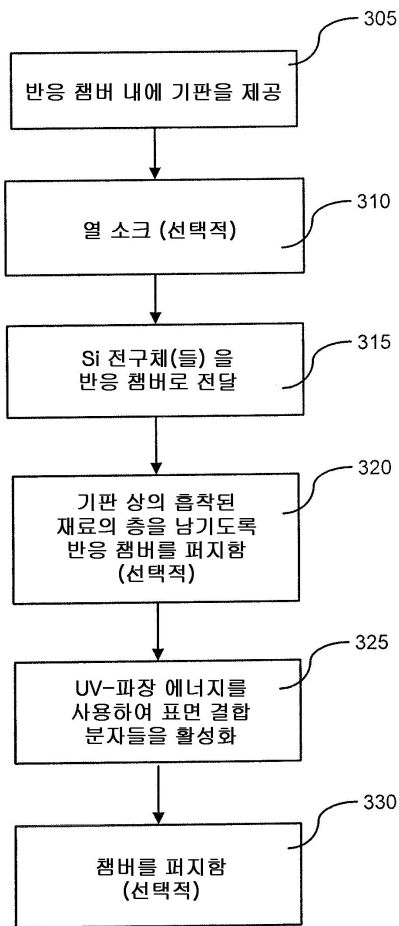


도면2

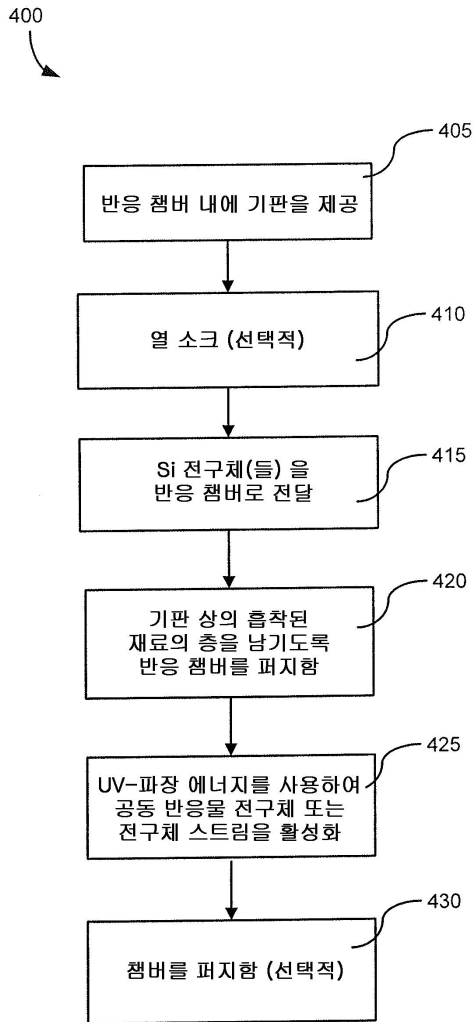


도면3

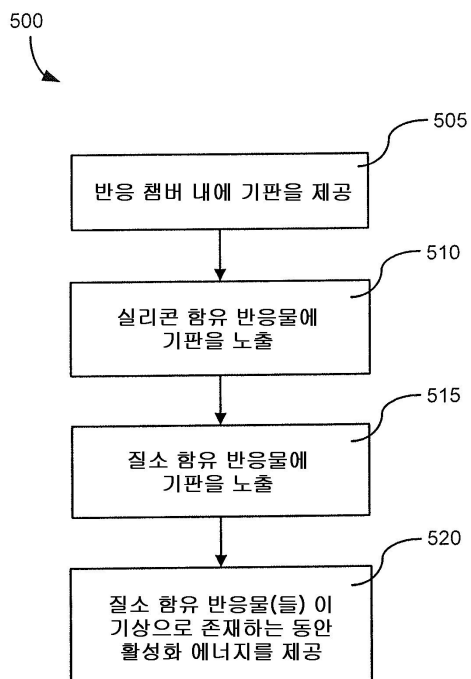
300



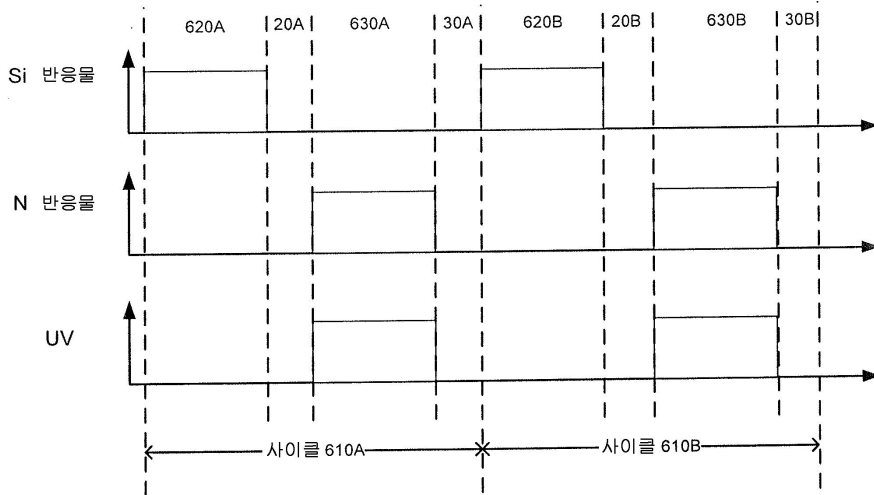
도면4



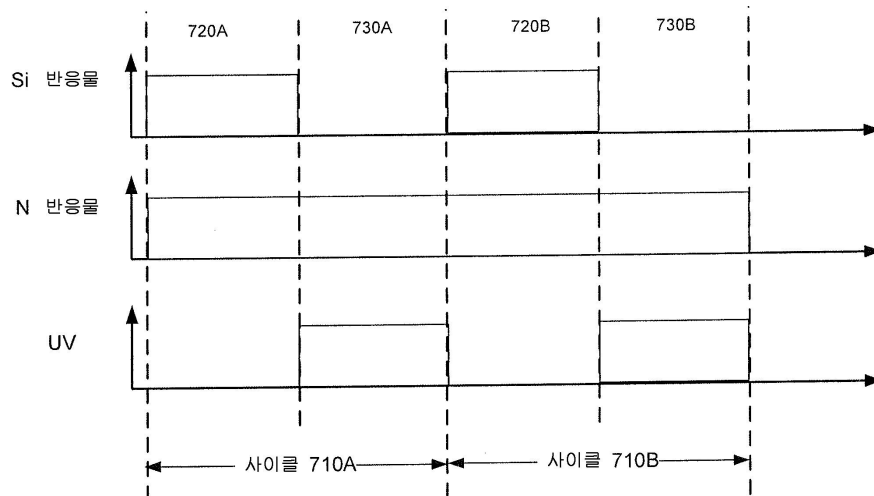
도면5



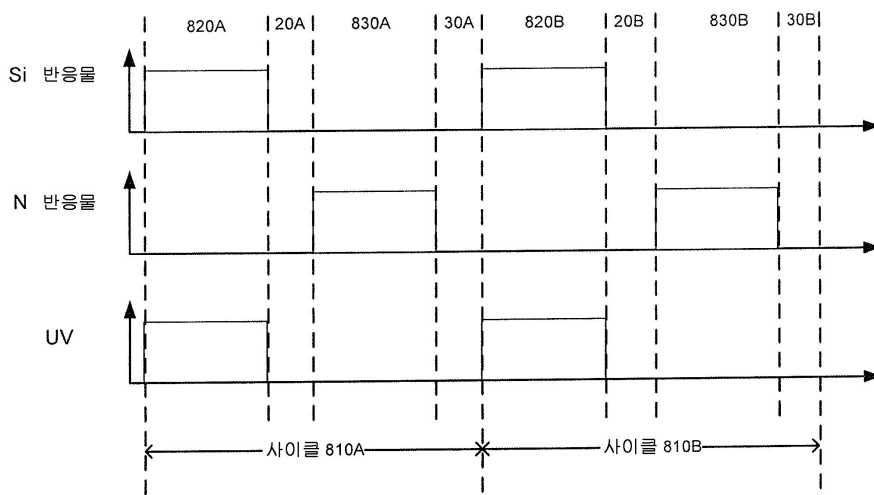
도면6



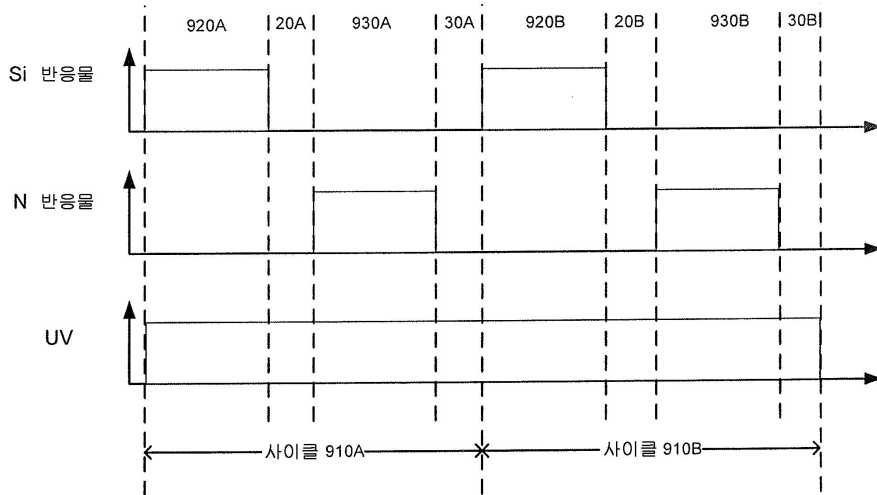
도면7



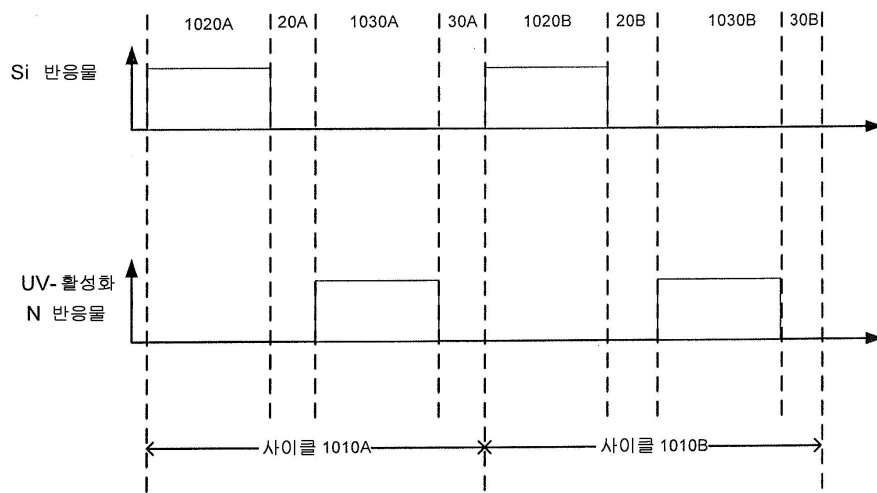
도면8



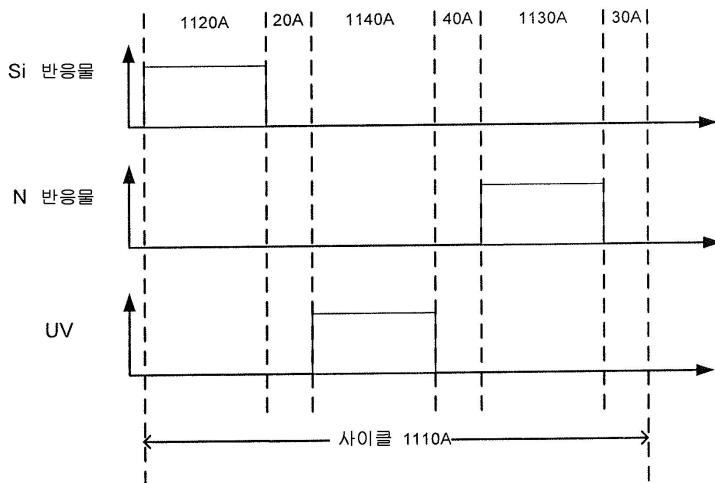
도면9



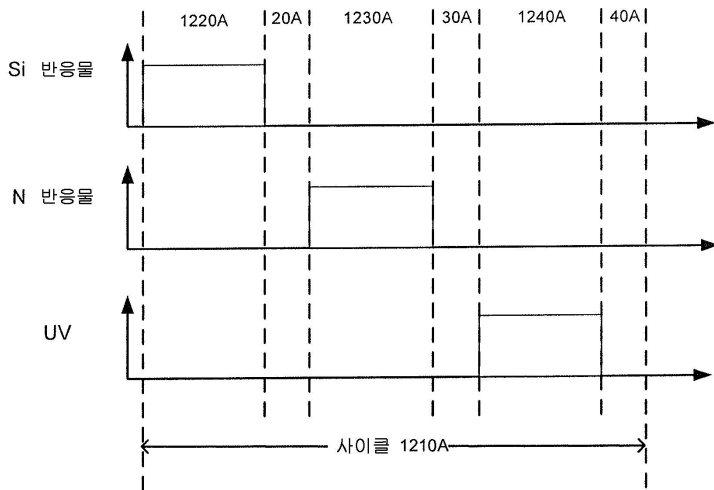
도면10



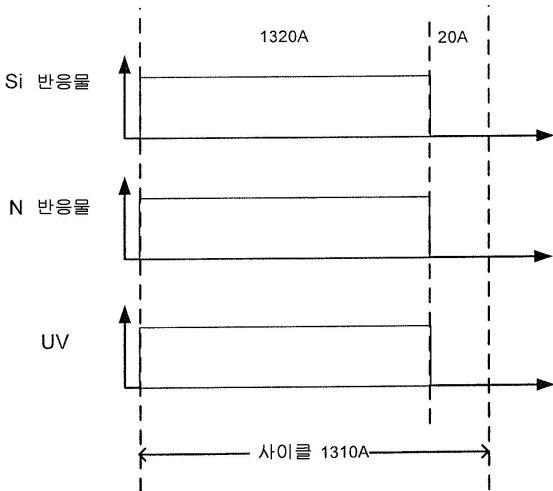
도면11



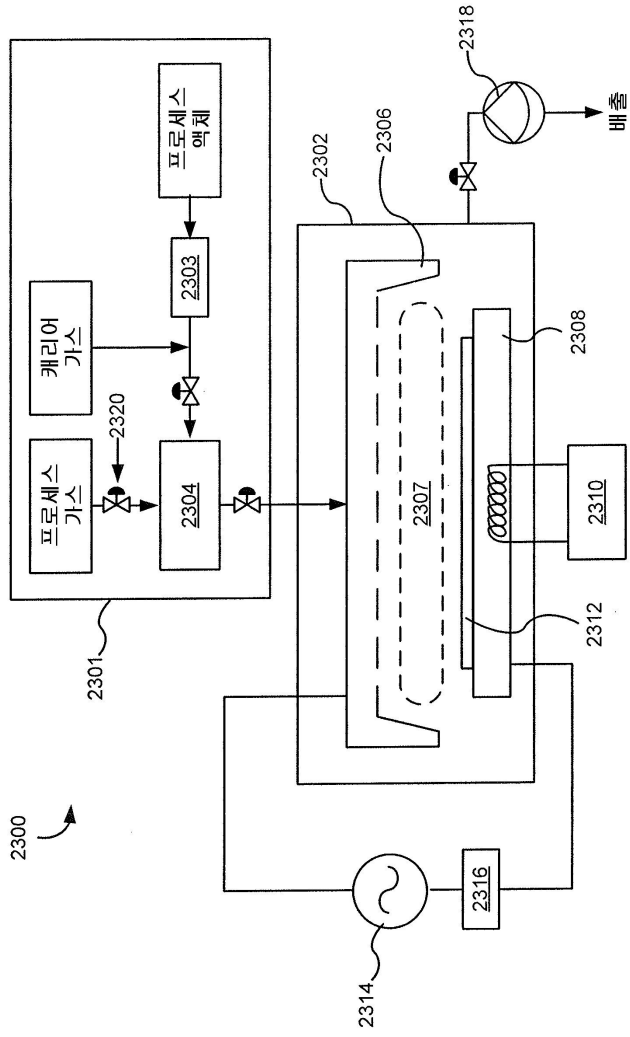
도면12



도면13



도면14



도면15

