



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년05월20일  
(11) 등록번호 10-1035775  
(24) 등록일자 2011년05월12일

(51) Int. Cl.

H01L 21/205 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-0088145

(22) 출원일자 2008년09월08일

심사청구일자 2008년09월08일

(65) 공개번호 10-2009-0026108

(43) 공개일자 2009년03월11일

(30) 우선권주장

12/204,503 2008년09월04일 미국(US)

60/970,884 2007년09월07일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US20050250340 A1

(73) 특허권자

어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드

미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애  
브뉴 3050

(72) 발명자

왕, 안추안

미국 94086 캘리포니아 쉐니베일 웨스트 올리브  
애브뉴 1154 아파트먼트 104

이, 영 에스.

미국 95120 캘리포니아 샌어제이 비아 코르티나  
1714

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

남상선

전체 청구항 수 : 총 15 항

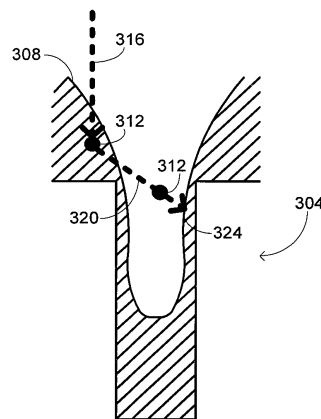
심사관 : 최정식

(54) HDP 프로세스에서 에칭률 변화를 감소시키는 방법

(57) 요약

프로세싱 챔버는 프로세싱 챔버에 시즈닝(season) 프리커서들의 흐름을 제공함으로써 시즈닝된다. 고밀도 플라즈마는 프로세싱 챔버의 상부에서 소스 전력의 70% 이상으로 분배된 소스 전력의 적어도 7500W를 인가함으로써 시즈닝 프리커서들로부터 형성된다. 적어도 5000Å의 두께를 갖는 시즈닝층이 고밀도 플라즈마를 이용하여 한 포인트에서 증착된다. 다수의 기판들 각각은 순차적으로 프로세싱 챔버로 이송되어 에칭을 포함하는 프로세스를 수행한다. 프로세싱 챔버는 순차적으로 기판들을 이송하는 중에 세정된다.

대표도 - 도3a



(72) 발명자

**벨라이칼, 마노즈**

미국 94085 캘리포니아 씨니베일 #127 산타페 테라스 250

**블로킹, 자슨 토마스**

미국 94043 캘리포니아 마운틴 뷰 노쓰 쇼어라인 블러바드 750 아파트먼트 104

**전, 진 호**

미국 94582 캘리포니아 산 라몬 바로싸 드라이브 1824

**문계칼, 헤만트 피**

미국 95008 캘리포니아 캠프벨 아드레이 애브뉴 1190

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

다수의 기관들 상에 막을 증착하는 방법으로서,

a) 프로세싱 챔버를 시즈닝하는 단계 — 상기 프로세싱 챔버를 시즈닝하는 단계는,

상기 프로세싱 챔버에 시즈닝 프리커서들의 흐름을 제공하는 단계;

7500W 이상의 소스 전력을 인가함으로써 상기 시즈닝 프리커서들로부터 고밀도 플라즈마를 형성하는 단계 — 상기 소스 전력의 70% 이상이 상기 프로세싱 챔버의 상부에 분포됨 — ; 및

상기 고밀도 플라즈마를 이용하여 한 포인트에서 5000Å 이상의 두께를 가지는 시즈닝층을 증착하는 단계

를 포함함 — ;

b) 상기 다수의 기관들 중 한 기관을 상기 프로세싱 챔버로 이송하는 단계;

c) 상기 기관상에서 적어도 하나의 에칭 서브단계를 포함하는 증착 프로세스를 수행하는 단계;

d) 상기 프로세싱 챔버 밖으로 상기 기관을 이송하는 단계;

e) 상기 프로세싱 챔버 밖으로 상기 기관을 이송한 이후에, 상기 프로세싱 챔버를 세정하는 단계; 및

f) 상기 다수의 기관들의 각각의 나머지 기관에 대하여 단계 b) 내지 단계 e)를 반복하는 단계를 포함하는, 막 증착 방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 시즈닝층의 두께는 7500Å 이상인, 막 증착 방법.

### 청구항 3

삭제

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버에 시즈닝 프리커서들의 흐름을 제공하는 단계는,

상기 프로세싱 챔버에 실리콘-함유 가스의 흐름을 제공하는 단계; 및

상기 프로세싱 챔버에 산소-함유 가스의 흐름을 제공하는 단계

를 포함하는, 막 증착 방법.

### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 산소-함유 가스의 유량은 상기 실리콘-함유 가스의 유량보다 작은, 막 증착 방법.

### 청구항 6

삭제

### 청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 실리콘-함유 가스는  $\text{SiH}_4$ 를 포함하며 상기 산소-함유 가스는  $\text{O}_2$ 를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버에 시즈닝 프리커서들의 흐름을 제공하는 단계는 상기 실리콘-함유 가스 및 상기 산소-함유 가스와 비반응성인 가스의 흐름을 제공하는 단계를 더 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 9

삭제

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버를 세정하는 단계는,

상기 프로세싱 챔버의 부분 세정을 수행하는 단계;

그 후, 상기 프로세싱 챔버를 가열하는 단계; 및

그 후, 상기 프로세싱 챔버의 세정을 완료하는 단계

를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 11

다수의 기관들 상에서 막을 증착하는 방법으로서,

a) 프로세싱 챔버를 시즈닝하는 단계;

b) 상기 프로세싱 챔버로 상기 다수의 기관들 중 하나의 기관을 이송하는 단계; 및

c) 상기 기관상에서 적어도 하나의 에칭 서브단계를 포함하는 증착 프로세스를 수행하는 단계;

d) 상기 프로세싱 챔버 밖으로 상기 기관을 이송하는 단계;

e) 상기 프로세싱 챔버 밖으로 상기 기관을 이송한 이후에, 상기 프로세싱 챔버를 세정하는 단계 — 상기 프로세싱 챔버를 세정하는 단계는,

상기 프로세싱 챔버의 부분 세정을 수행하는 단계;

그 후, 상기 프로세싱 챔버를 가열하는 단계; 및

그 후, 상기 프로세싱 챔버의 세정을 완료하는 단계

를 포함함 — ; 및

f) 상기 다수의 기관들의 각각의 나머지 기관에 대하여 단계 b) 내지 단계 e)를 반복하는 단계

를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버의 부분 세정을 수행하는 단계는,

상기 프로세싱 챔버로 할로젠 프리커서를 흘려보내는 단계; 및

상기 할로젠 프리커서로부터 고밀도 플라즈마를 형성하는 단계

를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 할로젠 프리커서는  $F_2$ 를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버 세정을 완료하는 단계는,

상기 프로세싱 챔버로 할로젠 프리커서를 흘려보내는 단계; 및

상기 할로젠 프리커서로부터 고밀도 플라즈마를 형성하는 단계를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 15

삭제

#### 청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버의 부분 세정을 수행하는 단계는 상기 세정의 엔드포인트의 75% 이상으로 상기 부분 세정을 수행하는 단계를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버를 가열하는 단계는,

상기 프로세싱 챔버로 가열 가스들을 흘려보내는 단계; 및

상기 가열 가스들로부터 고밀도 플라즈마를 형성하는 단계를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 18

삭제

#### 청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 가열 가스들로부터 고밀도 플라즈마를 형성하는 단계는 상부 소스와 측면 소스 사이에서 등가적으로 분포된 소스 전력을 인가하는 단계를 포함하는, 막 증착 방법.

#### 청구항 20

제 11 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버를 시즈닝하는 단계는,

상기 프로세싱 챔버로 시즈닝 프리커서들의 흐름을 제공하는 단계;

7500W 이상의 소스 전력을 인가함으로써 상기 시즈닝 프리커서들로부터 고밀도 플라즈마를 형성하는 단계 — 상기 소스 전력의 70% 이상이 상기 프로세싱 챔버의 상부에 분포됨 — ; 및

상기 고밀도 플라즈마를 이용하여 한 지점에서 5000Å 이상의 두께를 갖는 시즈닝층을 증착하는 단계를 포함하는, 막 증착 방법.

명세서

## 발명의 상세한 설명

### 기술 분야

- [0001] 본 출원은 "통합된 프로세스 모듈레이션"이란 명칭으로 앤차우안 왕 등에 의해 2007년 9월 7일자로 출원된 정규 출원인 미국 출원 No. 60/970,884호의 장점을 청구하며, 이는 본 명세서에서 참조된다.
- [0002] 또한 본 출원은 "HDP-CVD 통합 프로세스 모듈레이션 SiO<sub>2</sub> 프로세스의 갭충진 연장"이란 명칭으로 앤차우안 왕에 의해 2007년 6월 4일 출원된 미국 특허 출원 No. 11/757,637호 및 "HDP-CVD DEP/ETCH/DEP 프로세스에서 불순물 제어"란 명칭으로 앤차우안 왕 등에 의해 공동으로 출원되고 공동으로 양도된 미국 특허 출원 No.\_\_\_\_/\_\_\_\_,\_\_\_\_호와 관련되며, 이들은 본 명세서에서 참조된다.

### 배경 기술

- [0003] 반도체 기술의 개발에 있어 지속적으로 직면하게 되는 문제점 중 하나는 회로 소자들의 밀도 및 회로 소자들 간에 위조 상호작용을 도입하지 않고 기판 상에 상호접속부들을 증가시키는 것이 요구된다는 것이다. 통상적으로 원치않는 상호접속부들은 소자들을 물리적으로 그리고 전기적으로 모두 절연시키기 위해 전기적으로 절연성인 물질로 충전되는 갭들 또는 트렌치들을 제공함으로써 방지된다. 그러나, 회로 밀도가 증가함에 따라, 이들 갭들 간의 폭들은 감소되어, 이들의 중형비가 증가되어 보이드를 남기지 않고 갭들을 충전시키는 것이 보다 어려워졌다. 갭이 완전히 충전되지 않는 경우 보이드의 형성은 바람직하지 못하며, 이는 이를테면 절연성 물질 내에서 불순물들이 포획됨으로써, 완성된 디바이스의 동작에 악영향을 미칠 수 있기 때문이다.
- [0004] 이러한 갭충진에 사용되는 공통 기술들로는 화학적 기상 증착("CVD") 기술들이 있다. 종래의 열적 CVD 프로세스들은 원하는 막이 생성되도록 열-유도 화학 반응들이 발생하는 기판 표면에 반응성 가스들을 공급한다. 플라즈마-강화 CVD("PECVD") 기술들은 플라즈마가 생성되도록 기판 표면 부근의 반응 영역에 무선주파수("RF") 에너지를 인가함으로써 반응 가스들의 여기 및/또는 분해를 조장한다. 플라즈마에서 종들(species)의 높은 반응도는 화학 반응이 일어나도록 하는데 요구되는 에너지를 감소시켜, 종래의 열적 CVD 프로세스들과 비교할 때 이러한 CVD 프로세스들에 대해 요구되는 온도는 낮다. 이들 장점은 플라즈마 종들이 보다 균일하게 반응하도록 낮은 진공 압력에서 조밀한 플라즈마를 형성하는 고밀도 플라즈마("HDP") CVD 기술들에 의해 추가로 이용될 수 있다. 이들 기술들 각각은 포괄적인 "CVD" 기술들 하에 광범위하게 분류되는 반면, 이들 각각은 일정한 특정 분야에 대해 보다 많이 또는 보다 덜 적합하게 하는 특성을 갖는다.
- [0005] HDP-CVD 시스템은 표준의, 용량성 결합된 플라즈마 CVD 시스템 보다 적어도 대략 2 차수(order) 정도 크기가 큰 플라즈마를 형성한다. HDP-CVD 시스템의 예들로는 특히 유도적으로 결합된 플라즈마 시스템 및 ECR 플라즈마 시스템들이 포함된다. HDP-CVD 시스템들은 일반적으로 저밀도 플라즈마 시스템 보다 낮은 압력 범위에서 동작한다. HDP-CVD 시스템에서 이용되는 낮은 챔버 압력은 긴 평균-자유거리 및 감소된 각 분포를 갖는 활성 종들을 제공한다. 플라즈마 밀도와 조합하여 이들 팩터들은 근접하게 이격된 갭들의 가장 깊은 부분들에도 도달하는 플라즈마로부터 상당수의 구성물에 기여하여, 저밀도 플라즈마 CVD 시스템에서 증착되는 막들과 비교할 때 개선된 갭충진 능력들을 갖는 막을 제공한다.
- [0006] HDP-CVD 기술들에 의해 증착된 막들이 개선된 갭충진 특성들을 갖도록 하는 또 다른 요인은 막 증착과 동시에, 고밀도 플라즈마에 의한 스퍼터링의 촉진에 있다. 이러한 HDP 증착 프로세스들의 스퍼터링 컴포넌트는 상승된 표면의 코너와 같은 특정 피처들 상에서의 증착을 늦춰, HDP 증착된 막들의 갭충진 능력 증가에 기여한다. 일부 HDP-CVD 시스템들은 스퍼터링 효과를 보다 조장하기 위해 아르곤 또는 유사한 중량의 불활성 가스를 도입시킨다. 이러한 HDP-CVD 시스템들은 통상적으로 기판 지지 페테스틸 내에 기판을 향해 플라즈마를 바이어스시키기 위해 전기장을 생성할 수 있는 전극을 이용한다. 전기장은 스퍼터링을 보다 더 조장하고 주어진 막에 대한 보다 나은 갭충진 특성을 제공하기 위해 HDP 증착 프로세스 동안 적용될 수 있다.
- [0007] 동시적 증착/스퍼터링 특성 때문에, 초기에는 HDP-CVD 프로세스들은 거의 모든 분야에서 생성되는 갭들 또는 트렌치들을 충전할 수 있다고 생각되었다. 그러나, 반도체 제조자들은 HDP-CVD 프로세스들이 충전할 수 있는 갭들의 중형비에 대해 실제 제한이 있다는 것을 밝혀냈다. 예를 들면, 실리콘 갭충진 막을 증착하기 위해 통상적으로 이용되는 HDP-CVD 프로세스는 실란(SiH<sub>4</sub>), 분자형 산소(O<sub>2</sub>) 및 아르곤(Ar)을 포함하는 프로세스 가스로부터 플라즈마를 형성한다. 이러한 프로세스가 소정의 폭이 좁은 고중형비 갭들을 충전시키는데 이용될 때, 프로세스 가스에서 아르곤에 의해 야기되는 스퍼터링은 갭충진 작용을 방해할 수 있다고 보고되었다. 특히, 프로세스에서 아르곤에 의해 스퍼터링된 물질은 하부 부분 보다 빠른 속도로 충전되는 갭들의 측벽들의 상부 부분들 상

에 재증착된다고 보고되었다. 결국, 이는 갭이 완전히 충전되기 이전에 상부 영역 재성장이 합류될 경우 갭에서 보이드가 형성되게 할 수 있다.

[0008] 도 1은 일부 CVD 프로세스와 연관된 잠재적 갭충진 제한을 나타내기 위해 상이한 증착 스테이지들에서 실리콘 산화물막의 개략적 단면도들을 제공한다. 문제점을 보다 잘 나타내기 위해 갭충진 문제는 다소 확대된 형태로 도시된다. 도 1의 상부 부분은 초기 구조물(104)을 나타내며, 갭(120)은 수평 표면(122)을 갖는 2개의 인접한 피쳐들(124, 128)에 의해 형성되며, 갭의 바닥부에서 수평 표면은 132로 도시된다. 구조물(108)에 도시된 것처럼, 즉, 위에서부터 도면의 제 2 부분에 도시된 것처럼, 종래의 HDP-CVD 실리콘 산화물 증착 프로세스들은 갭(120)의 바닥부에서 수평 표면(132) 상에 그리고 피쳐들(124, 128) 위에서 수평 표면(122) 상의 직접적 증착이 이루어진다. 그러나, 성장함에 따라 실리콘 산화물막으로부터 스퍼터링되는 물질의 재결합으로 인해, 갭(120)의 측벽들(140) 상에서의 비간접 증착("재증착"이라 불림)도 이루어진다. 소정의 작은 폭, 고종횡비 분야들에서, 실리콘 산화물막의 지속된 성장은 측벽(140)의 상부 섹션 상에 막이 측벽의 하부 부분에 측방으로 성장하는 속도를 초과하는 성장 속도로 서로를 향해 성장하는 형성물(136)을 생성한다. 이러한 성향이 구조물(108, 112)에 도시되며, 구조물(116)에서 최종 결과로 막 내부에는 보이드(144)가 형성된다. 보이드 형성 가능성은 재증착 속도 및 특성과 상당히 직접적으로 관련된다.

[0009] 따라서, 기술상 갭충진 기술을 개선할 필요성이 요구되고 있다.

### 발명의 내용

[0010] 본 발명의 실시예들은 다수의 기관들 상에 막을 증착하는 방법을 제공한다. 제 1 세트의 실시예에서, 프로세싱 챔버는 프로세싱 챔버로 시즈닝 프리커서들의 흐름을 제공함으로써 시즈닝된다. 고밀도 플라즈마는 프로세싱 챔버의 상부에서 70% 이상의 소스 전력으로 분포된 적어도 7500W의 소스 전력을 인가함으로써 시즈닝 프리커서들로부터 형성된다. 적어도 5000Å의 두께를 갖는 시즈닝층은 고밀도 플라즈마를 이용하여 하나의 포인트에서 증착된다. 다수의 기관들 각각은 프로세싱 챔버로 순차적으로 이송되어 에칭을 포함하는 프로세스가 각각의 다수의 기관들 상에서 수행된다. 프로세싱 챔버는 다수의 기관들 각각을 순차적으로 이송하는 동안 세정된다.

[0011] 상이한 실시예들에서, 적어도 5000Å의 두께는 적어도 7500Å의 두께를 포함하거나 또는 적어도 10,000Å의 두께를 포함할 수 있다. 시즈닝 프리커서들의 흐름은  $\text{SiH}_4$ 와 같은 실리콘-함유 가스 및  $\text{O}_2$ 와 같은 산소-함유 가스의 흐름으로써 제공될 수 있다. 산소-함유 가스의 유량은 실리콘-함유 가스의 유량보다 작거나, 또는 상이한 실시예들에서 실리콘-함유 가스의 유량의 0.8 미만일 수 있다. 일부 경우에서, 때로 실리콘-함유 가스 및 산소-함유 가스와 비반응성인 가스의 흐름이 200sccm 미만의 유량으로 추가로 제공될 수 있다.

[0012] 제 2 세트의 실시예에서, 프로세싱 챔버는 시즈닝되며 다수의 기관들 각각은 순차적으로 프로세싱 챔버로 이송되어 에칭을 포함하는 프로세스가 각각의 다수의 기관들 상에서 수행될 수 있다. 프로세싱 챔버는 프로세싱 챔버의 부분 세정, 이후 프로세싱 챔버의 가열, 및 이후 프로세싱 챔버의 완료에 의해 다수의 기관들 각각을 순차적으로 이송하는 동안 세정된다.

[0013] 프로세싱 챔버의 부분 세정 수행 및 프로세싱 챔버의 세정 완료 각각은 프로세싱 챔버로 할로젠 프리커서를 흘려보내는 단계 및 할로젠 프리커서로부터 고밀도 플라즈마를 형성하는 단계를 포함한다. 일례로 적합한 할로젠 프리커서는  $\text{F}_2$ 이다. 부분 세정은 세정의 엔드포인트의 75% 이상에서 수행될 수 있다. 프로세싱 챔버는 프로세싱 챔버로 가열 가스들을 흘려보내고 가열 가스들로부터 고밀도 플라즈마를 형성함으로써 가열될 수 있다. 가열 가스들의 예로는 특히  $\text{O}_2$ , Ar 및 He가 있다. 고밀도 플라즈마는 상부와 측면 소스들 사이에서 거의 균일하게 분포된 소스 전력을 인가함으로써 가열 가스들로부터 형성될 수 있다.

[0014] 본 발명의 특성 및 장점에 대한 추가적인 이해는 하기 상세한 설명 및 도면을 참조로 이루어질 수 있다.

### 발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0015] 본 발명의 실시예들은 에칭 단계들을 포함하는 기관상에 막들을 증착하는 방법들에 관한 것이다. 특히 본 발명의 예시적인 분야에서, 고밀도 플라즈마 CVD 프로세스를 이용하여 기관의 표면에서 갭을 충전시키기 위해 실리콘 산화물층을 증착하는 방법이 제공된다. 본 발명의 기술들에 따라 증착된 실리콘 산화물막은 뛰어난 갭충진 능력들을 가지며 예를 들어, 얇은-트렌치-절연("STI") 구조물에서 나타나는 갭들을 충전시킬 수 있다. 따라서, 본 발명의 방법들에 의해 증착된 막들은 45nm정도 또는 이보다 작은 피쳐 크기를 갖는 다양한 집적회로 제조에 이용될 수 있다.



[0016] 본 발명자들에 의해 이러한 증착 방법들에 대한 연구의 일부로서, 보다 많은 기판들이 처리됨에 따라 방법의 에칭 부분 동안 에칭률이 감소되는 것이 체계적 성향임을 발견했다. 이는 각각의 기판에 대한 프로세스 조건들이 실질적으로 동일한 경우에도 "에칭률 변화(etch-rate drift)"를 야기시킨다.

[0017] 본 발명의 실시예들에 따라 충전될 수 있는 구조물의 형태가 도 2에 도시되었으며, 이는 부분적으로 완성된 집적회로(200)의 개략적 단면도를 제공한다. 이러한 집적회로는 다수의 STI 구조물들을 포함하는 기판(204) 상에 형성되며, 이들 각각은 통상적으로 기판(204)의 표면 위에 얇은 패드 산화물층(220)을 형성한 다음 패드 산화물층(220) 위에 실리콘 질화물층(216)을 형성함으로써 생성된다. 다음 질화물 및 산화물층들은 표준 포토리소그래피 기술들을 사용하여 패터닝되고 트렌치들(224)은 기판(204)속으로 질화물/산화물 스택을 통해 에칭된다. 도 2는 트랜지스터들 또는 다른 활성 디바이스들과 비교적 조밀하게 패킹된 영역(208)을 포함할 수 있고 상대적으로 절연된 개구 영역(212)을 포함할 수 있다. 개구 영역(212)에서 활성 디바이스들은 조밀하게 패킹된 영역(208)에서의 간격 보다 더 큰 크기만큼 서로 이격될 수 있으나, 본 명세서에서 사용되는 "개구 영역(open area)"은 "조밀한 영역(dense area)"에서의 갭 폭의 적어도 5배의 폭을 갖는 갭이 있는 영역으로 간주된다.

[0018] 본 발명의 실시예들은 양호한 갭충진 특성을 갖는 증착 프로세스를 이용하여 실리콘 이산화물과 같은 전기적 절연 물질로 트렌치들(224)을 충전하는 방법을 제공한다. 일부 경우에서, 갭충진 프로세스 이전에, 인시튜 스팀 생성("ISSG") 또는 다른 열산화물층, 또는 실리콘 질화물층으로서 기판 상에 초기 라이닝층이 증착된다. 트렌치들(224)의 충전시키기 이전에 이러한 라이너 증착에 따른 장점 중 하나는 적절한 코너 라운딩을 제공한다는 것이며, 이로 인해 형성되는 트랜지스터들에서 초기(early) 게이트 브레이크다운과 같은 것이 방지될 수 있다.

[0019] 본 명세서에서 사용되는 것처럼, 고밀도 플라즈마 프로세스는 플라즈마 CVD 프로세스로, 동시적인 증착 및 스퍼터링 컴포넌트들을 포함하며  $10^{11}$  ions/cm<sup>3</sup> 정도의 이온 밀도를 갖는 플라즈마를 이용한다. 고밀도 플라즈마의 조합된 증착 및 스퍼터링 특성의 상대적 레벨들은 가스 혼합물들을 제공하는데 이용되는 유량들, 플라즈마를 유지하기 위해 인가되는 소스 전력 레벨들, 기판에 인가되는 바이어스 전력들 등과 같은 요인들과 관련된다. 이러한 요인들의 조합은 "증착/스퍼터 비율"로 편의상 한정되며, 때로 프로세스를 특징지우도록 D/S로 표시된다:

$$[0020] \quad \frac{D}{S} \equiv \frac{(\text{순수증착속도}) + (\text{블랭킷스퍼터링속도})}{(\text{블랭킷스퍼터링속도})}$$

[0021] 증착/스퍼터링 비율은 증착 증가에 따라 증가되며 스퍼터링 증가에 따라 감소된다. D/S의 정의에서 사용되는 것처럼, "순수 증착 속도(net deposition rate)"은 증착 및 스퍼터링이 동시에 이루어질 경우 측정된 증착 속도로 간주된다. "블랭킷 스퍼터링 속도(blanket sputtering rate)"은 증착 가스들 없이 프로세스 레시피가 수행될 때 측정된 스퍼터링 속도이다; 프로세스 챔버내에서의 압력은 증착 동안 압력으로 조절되며 스퍼터링 속도는 블랭킷 열적 산화물 상에서 측정된다.

[0022] 다른 등가적 측정치는 당업자들에게 공지된 바와 같이, HDP 프로세스의 상대적 증착 및 스퍼터링 기여도를 한정하는데 이용될 수 있다. 일반적 선택 비율로는 "에칭/증착 비율"이 있고,

$$[0023] \quad \frac{E}{D} \equiv \frac{(\text{소스-온리증착속도}) - (\text{순수증착속도})}{(\text{소스-온리증착속도})} \quad \text{이며,}$$

[0024] 이는 스퍼터링 증가에 따라 증가하며 증착 증가에 따라 감소된다. E/D의 정의에서 이용되는 것처럼, "순수 증착 속도(net deposition rate)"는 증착 및 스퍼터링이 동시에 발생할 때 측정된 증착 속도로 간주된다. 그러나 "소스-온리 증착 속도(source-only deposition rate)"는 스퍼터링 없이 프로세스 레시피가 수행될 때 측정된 증착 속도로 간주된다. 본 발명의 실시예들은 D/S 비율들과 관련하여 개시된다. D/S 및 E/D는 정확히 상관되는 것은 아니지만, 이들은 반비례관계에 있으며 이들 간의 전환을 당업자들은 이해할 수 있을 것이다.

[0025] HDP-CVD 프로세스들에서 주어진 단계에 대해 요구되는 D/S 비율들은 일반적으로, 프리커서 가스들의 흐름들, 소정의 경우, 스퍼터링제(sputtering agent)로 작용할 수 있는 유동 가스(fluent gas)의 흐름을 포함시킴으로써 달성된다. 프리커서 가스들에 의해 포함되는 원소들은 원하는 조성을 갖는 막이 형성되도록 반응한다. 예를 들어, 실리콘 산화물막을 증착하기 위해, 프리커서 가스들은 실란(SiH<sub>4</sub>)과 같은 실리콘-함유 가스 및 분자형 산소(O<sub>2</sub>)와 같은 산화 가스 반응제를 포함할 수 있다. 도펀트들은 원하는 도펀트를 갖는 프리커서 가스를 포함시킴으로써, 이를테면 막을 불소화시키기(fluorinate) 위해 SiF<sub>4</sub>의 흐름을 포함시키고, 막을 인화시키기



(phosphorate) 위해  $\text{PH}_3$ 의 흐름을 포함시키고, 막을 붕소화시키기(boronate)위해  $\text{B}_2\text{H}_6$ 의 흐름을 포함시키고, 막을 질소화시키기(nitrogenate) 위해  $\text{N}_2$ 를 포함시키고, 이와 유사하게 함으로써 막에 첨가될 수 있다. 유동 가스는  $\text{H}_2$ 의 흐름과 함께 또는 He의 흐름, 또는 Ne, Ar 또는 Xe와 같은 중량의 불활성 가스의 흐름을 포함하는 불활성 가스의 흐름과 함께 제공될 수 있다. 상이한 유동 가스들에 의해 제공되는 스퍼터링 레벨은 이들의 원자 질량(또는  $\text{H}_2$ 의 경우 분자 질량)과 직접적으로 관련되며,  $\text{H}_2$ 는 He보다 스퍼터링을 덜 산출한다. 전반적으로 본 발명의 실시예들은 5amu 미만의 평균 분자 질량을 가지는 유동-가스 흐름들을 제공한다. 이는 이를테면 실질적으로 순수한  $\text{H}_2$ 의 흐름 또는 실질적으로 순수한 He의 흐름과 함께 단일의 낮은-질량 가스의 흐름들을 사용함으로써 달성될 수 있다. 선택적으로, 흐름들은 이를테면 HDP-CVD 프로세스 챔버에서 혼합되는  $\text{H}_2$ 의 흐름 및 He의 흐름 모두를 제공함으로써 다수의 가스들로 공급될 수 있다. 선택적으로, 때로 가스는 프로세스 챔버에 혼합된 상태로  $\text{H}_2$ /He의 흐름이 제공되도록 예비혼합될 수 있다. 또한, 이는 5amu 미만의 평균 분자 질량을 유지하도록 선택되는 예비혼합물의 농도들 및/또는 상대적 유량들을 갖는 보다 높은-질량 가스들의 개별 흐름을 제공하거나, 또는 예비혼합물에서 보다 높은-질량 가스들을 포함할 수 있다.

[0026] 고종횡비 구조물에서, 낮은-질량 유동 가스들의 상대적으로 높은 유량들이 사용은 Ar과 같은 유동 가스들의 보다 통상적인 사용에 비해 갭충진 능력을 전반적으로 향상시키는 것으로 밝혀졌다. 이는 갭의 폐쇄(closure)가 덜 빠르게 이루어지도록 유동 가스로서 He 또는  $\text{H}_2$ 를 사용함으로써 달성되는 재증착의 감소 결과인 것으로 여겨진다. 이러한 낮은-질량 유동 가스들이 사용되더라도, 증착 동안에는 코너 클립핑(clipping) 위험이 따른다. 이러한 작용은 도 3a 및 도 3b를 참조로 이해될 것이며, 도 3a 및 도 3b는 조밀하게 패키징된 영역에서의 갭 및 개구 영역에서의 갭에 대해 각각 HDP 프로세스의 스퍼터링 컴포넌트의 작용을 나타낸다.

[0027] 특히, 도 3a의 갭(304)은 수평 표면 위에 특징적인 돌출(cusp) 구조물(308)을 형성하는 HDP-CVD 프로세스를 이용하여 증착된 물질을 갖는 고종횡비 갭이다. 물질(312)이 경로(316)를 따라 플라스마 이온들의 충돌에 반응하여 돌출부(308)로부터 스퍼터링됨에 따라 재증착이 이루어진다. 스퍼터링된 물질(312)은 갭(304)의 맞은편 측면상의 측벽(324)과 만나는 경로(320)를 따른다. 이러한 작용은 물질이 갭의 좌측에서 우측상으로 스퍼터링됨에 따라, 물질이 갭의 우측에서 좌측으로 스퍼터링되도록 대칭된다. 물질의 재증착은 코너의 클립핑을 야기시키는 과도한 스퍼터링에 대해 보호된다.

[0028] 이러한 대칭은 도 3b에 도시된 개구 영역 구조물(330)로 도시되는 것처럼, 개구 영역에서는 존재하지 않는다. 이를테면, 증착은 유사한 돌출부(308')의 형성을 야기시키거나, 물질(312')이 경로(316')를 따라 플라스마 이온들의 충돌에 반응하여 경로(320')를 따라 스퍼터링될 때, 갭의 맞은편 측면은 보호될 재증착에 대해 너무 멀리 있다. 도 3b의 구조물의 코너는 갭의 맞은편 측면으로부터 스퍼터링되는 물질을 수용하는 보상 작용 없이, 도 3a의 구조물의 코너에서 이루어지는 것처럼 동일한 물질 방출을 겪게 된다. 결과적으로, 코너 클립핑 위험성이 증가되고 하부 구조물이 손상된다.

[0029] 본 발명의 방법은 이러한 방법들의 개요를 제공하는 도 4a의 흐름도로 요약된다. 이들 방법들은 몇 개의 기관들의 런(run)에 적용되며, 프로세스들은 공통 프로세싱 챔버에서 각각의 챔버들 상에서 수행된다. 방법들은 프로세싱 챔버를 시즈닝함으로써(블록 412), 즉, 물질로 프로세싱 챔버의 내부 구조물을 코팅함으로써 시작되며, 상기 물질은 일례로  $\text{SiO}_2$ 를 포함한다. 기관은 이송 챔버로 이송되어 블록(406)에서 프로세스가 기관 상에서 수행될 수 있다(블록 404). 이러한 프로세스는 프로세스의 적용 전체 결과가 물질의 순수 증착인 경우에도, 상당한 에칭(significant etching)을 포함한다. 기관은 프로세싱 챔버 밖으로 이송되며(블록 410), 프로세싱 챔버는 세정된다(블록 412).

[0030] 전체 기관 런이 완료되었는지 여부에 대한 검사가 이루어진다(블록 414). 전형적인 기관 런은 5개의 기관을 포함할 수 있으나, 상이한 특정 실시예에서 이보다 많은 또는 이보다 작은 수의 기관이 이용될 수 있다. 기관 런이 완료되지 않았다면, 런에서 다음 기관이 프로세싱 챔버로 이송되고(블록 404) 상기 방법은 다음 기관에 대해 반복된다. 일단 전체 기관 런이 완료된다면, 동일한 프로세스(블록 406)를 이용하여 또는 상이한 프로세스를 이용하여, 프로세스 챔버는 또다른 기관 런을 위한 준비로 다시 시즈닝된다(블록 402).

[0031] 도 4b는 블록 406에서 어떤 프로세스가 이용될 수 있는지를 상세히 나타낸다. 이 예에서, 증착은 증착/에칭/증착 프로세스를 이용하여 기관 상에서 달성되나, 본 발명의 방법은 상당한 에칭 컴포넌트를 갖는 다른 형태의 프로세스들에도 일반적으로 적용될 수 있다. 통상적으로 기관은 200-mm 또는 300-mm 직경 웨이퍼와 같은 반도체 웨이퍼이다.

[0032] 실리콘 프리커서의 흐름, 산소 프리커서의 흐름, 및 유동 가스의 흐름을 포함하는 프리커서 가스들의 흐름들이 챔버에 제공된다(블록 420). 표 1은 모노실란( $\text{SiH}_4$ ), 분자형 산소( $\text{O}_2$ ), 및  $\text{H}_2$ 의 흐름들을 포함하는 비도핑 실리콘 게이트 글래스("USG")막의 증착을 위한 예시적인 유량들을 제공하나, 도펀트 소스들을 포함하는 다른 프리커서 가스들 및 다른 유동 가스들이 상기 개시된 것처럼 이용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0033] 표 1 : USG 증착을 위한 예시적인 유량들

Flow Rates for 200-mm Wafer Process		Flow Rates for 300-mm Wafer Process	
$\mathcal{F}(\text{SiH}_4)$	10 – 200 sccm	$\mathcal{F}(\text{SiH}_4)$	10 – 200 sccm
$\mathcal{F}(\text{O}_2)$	20 – 300 sccm	$\mathcal{F}(\text{O}_2)$	20 – 300 sccm
$\mathcal{F}(\text{H}_2)$	50 – 400 sccm	$\mathcal{F}(\text{H}_2)$	50 – 600 sccm
$\mathcal{F}(\text{He})$	50 – 400 sccm	$\mathcal{F}(\text{He})$	50 – 600 sccm

[0034]

[0035] 표에 표시된 것처럼, 프리커서 가스들의 유량들은 200-mm 및 300-mm 직경 웨이퍼들에 대해 유사할 수 있으나, 유동 가스의 유량은 일반적으로 더 높다.

[0036] 고밀도 플라즈마는 챔버로의 결합 에너지에 의해 가스 흐름들로부터 형성된다(블록 422). 고밀도 플라즈마를 생성하는 공통 기술들은 유도적으로 rf 에너지를 결합시키는 것이다. D/S 비율은 가스들에 대한 유량들에 의해서 뿐만 아니라, 챔버와 결합된 에너지의 전력 밀도 기관에 인가될 수 있는 바이어스의 세기, 챔버 내에서의 온도, 챔버 내에서의 압력, 및 다른 이러한 요인들에 의해 결정된다. 막의 시작 부분의 증착(블록 424)을 위해, 이러한 프로세스 파라미터들은 소정의 실시예들에서 20을 초과하는 D/S 비율을 제공하면서 동시에 900-6000 Å/min의 상대적으로 낮은 증착 속도를 제공하도록 선택될 수 있다. 본 발명자들은 매우 작은 피쳐 크기의 캡층진 특성이 낮은 증착 속도 및 높은 D/S 비율의 조합으로 개선된다는 것을 발견했다.

[0037] 증착 완료 이후, 증착 프리커서들의 흐름들은 종료되며(블록 426) 원하는 두께의 막이 완성되었는지 여부가 검사된다(블록 428). 본 발명의 실시예들은 에칭 스테이지에 의해 구별되는 적어도 2개의 증착 스테이지를 포함하며, 충전되는 갭의 특정한 특성에 따라 때로 5-15개의 증착 스테이지들 또는 이보다 많은 증착 스테이지들을 가질 수 있다.

[0038] 프로세스의 에칭 단계는 통상적으로  $\text{NF}_3$  또는 염화플루오르화탄소(chlorofluorocarbon)와 같은 불소 프리커서를 포함하는 할로젠 프리커서를 흘려보냄으로써 시작될 수 있다(블록 430). 고밀도 플라즈마는 높은 소스 전력 밀도를 이용하여 할로젠 프리커서로부터 형성된다(블록 432). 일부 실시예에서, 소스 전력 밀도는 약 80,000 내지 140,000W/m<sup>2</sup> 사이이며, 이는 300-mm-직경 웨이퍼에 대해 약 6000 내지 10,000W 사이의 전체 소스 전력 및 200-mm-직경 웨이퍼에 대해 약 2500 내지 4500W 사이의 전체 소스 전력에 해당한다. 발명자들은 높은 소스 전력은 증착 프로파일이 보다 낮은 소스 전력을 사용하는 것보다 대칭이 되게 한다는 것을 발견했다. 일부 실시예에서, 전체 소스 전력은 소스 전력의 대부분이 측면 소스로부터 제공되도록 상부 및 측면 소스들 사이에 분포된다. 이를테면, 측면 소스 전력은 상부 소스 전력의 1-5배이며, 이는 특정 실시예에서 상부 소스 전력의 3배이다.

[0039] 형성되는 할로젠 플라즈마는 증착된 막을 에치백하는데 이용된다(블록 434). 에칭될 수 있는 특정 양의 물질은 비교적 기관 구조물의 특정한 구성과 관련되지만, 에칭된 물질의 양이 이른 에칭 사이클에서보다 늦은 에칭 사이클에서 클 수 있다는 것은 사실이다. 이는 증착 및 에칭 단계들의 시퀀스 결과로서 기관의 전체 토폴로지가 변경된다는 사실의 일반적 결과이다. 단계들의 시퀀스에 따른 일반적 성향은 토폴로지가 사이클의 에칭 단계 동안 에칭 양이 더 커지도록 따르게 된다는 것이다. 블록 436에서, 할로젠 프리커서 흐름은 프로세스가 블록 420에서 실리콘 프리커서, 산소 프리커서 및 유동 가스의 흐름들을 다시 흘려보냄으로써 증착 단계로 복귀될 수 있도록 종료된다.

[0040] 일반적으로는, 각각의 증착 단계 동안 물질의 증착을 위해 동일한 프리커서들이 사용되며 에칭 단계 동안 물질을 제거하기 위해 동일한 프리커서가 이용될 것으로 예상되나, 이는 본 발명에 있어 요구조건은 아니다. 각각의 증착 단계 동안 증착된 물질의 양은 통상적으로 300 내지 1000 Å이며, 사이클당 보다 많은 증착 양이 이용될

경우 전체 프로세스는 보다 적은 사이클을 요구한다. 각각의 사이클이 300Å을 증착할 때, 각각의 사이클이 1000Å을 증착할 때와 동일한 물질의 양을 증착하기 위해 약 6배의 많은 사이클을 이용할 것이 요구될 수 있다.

[0041] 도 4c는 일부 실시예에서 사용될 수 있는 시즈닝 프로세스(블록 402)를 나타낸다. 시즈닝 프로세스는 챔버 내에서 시즈닝 조건을 설정함으로써 시작된다(440). 일부 실시예에서, 이러한 조건으로는 25 내지 65mtorr의 챔버 압력이 포함된다. 시즈닝 프리커서들의 흐름이 제공된다(블록 442). 시즈닝이 SiO<sub>2</sub> 코팅을 포함하는 실시예에서, 프리커서들은 실란과 같은 실리콘-함유 가스 및 산소 함유 가스를 포함할 수 있다. 이를테면, 실리콘 프리커서는 SiH<sub>4</sub>를 포함하며 산소 프리커서는 O<sub>2</sub>를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 산소-함유 가스의 유량은 실리콘 함유 가스의 유량 보다 작으며, 실리콘-함유 가스의 유량의 0.9배 미만일 수 있고, 실리콘-함유 가스의 유량의 0.8배 미만일 수 있고, 실리콘-함유 가스의 유량의 0.7배 미만일 수 있고, 실리콘-함유 가스의 유량의 0.6배 미만일 수 있고, 또는 실리콘-함유 가스의 유량의 0.5배 미만일 수 있다. 예를 들어, SiH<sub>4</sub>와 O<sub>2</sub>를 사용하는 일 실시예에서, O<sub>2</sub>의 유량은 300sccm이며 SiH<sub>4</sub>의 유량은 470sccm이며, 유량들의 비율은 대략 0.65이다. 블록 442에서 제공되는 유량들은 또한 He, Ne 또는 Ar을 사용하는 실시예들과 같이, 비반응성 가스들을 포함할 수 있다. 이러한 비반응성 가스들의 유량은 통상적으로 스퍼터링 작용을 감소시키도록 200sccm미만이며, 0 sccm일 수 있다.

[0042] 블록 444에서, 고밀도 플라즈마는 앞서 개시된 것처럼 프로세싱 챔버에 에너지를 결합시킴으로써 시즈닝 프리커서들로부터 형성된다. 바람직하게 에너지는 상부 소스 전력의 인가로 우선적으로 결합되며, 본 발명의 실시예들은 챔버 상부에서 인가되는 소스 전력의 70% 이상을 가지며, 챔버 상부에서 인가되는 소스 전력의 80% 이상을 가지며, 챔버 상부에서 인가되는 소스 전력의 90% 이상을 가지며, 또는 챔버 상부에서 인가되는 소스 전력의 100%를 갖는다. 인가되는 전형적인 전력은 7500W 이상이며, 일 실시예는 프로세싱 챔버의 상부에서 완전히 인가되는 약 9000W를 이용한다.

[0043] 이러한 고밀도 플라즈마는 블록 446에서 시즈닝층을 증착하는데 이용된다. 통상적으로 시즈닝층의 두께는 불균일할 수 있다고 예상되지만, 일부 실시예에서, 시즈닝층은 한 포인트에서 적어도 5000Å의 두께를 가지며, 한 포인트에서 적어도 6000Å의 두께를 가지며, 한 포인트에서 적어도 7500Å의 두께를 가지며 한 포인트에서 적어도 10,000Å의 두께를 가지며, 또는 한 포인트에서 적어도 12,500Å의 두께를 갖는다. 시즈닝층의 증착 이후, 시즈닝 프리커서들의 흐름은 중단된다(블록 448).

[0044] 도 4d는 본 발명의 실시예에 따른 도 4a의 블록 412에서 챔버를 세정하는 하나의 방법을 나타내는 흐름도이다. 이러한 세정 방법은 2 스테이지의 세정 사이에서 수행되는 가열(heat-up) 프로세스를 이용하는 2-스테이지 세정을 포함한다.

[0045] 따라서, 블록 460에서, F<sub>2</sub>와 같은 할로젠 프리커서는 기판이 처리된 이후 프로세싱 챔버로 흘러보내진다. 블록 462에서 할로젠 프리커서로부터 고밀도 플라즈마가 형성되며, 고밀도 플라즈마를 이용하여 블록 464에서 부분 세정이 수행된다. 일부 실시예에서 부분 세정은 프로세스의 엔드포인트의 75% 이상으로 수행될 수 있다.

[0046] 제 1 세정 스테이지가 완료된 이후, 할로젠 프리커서의 흐름은 중단된다(블록 46). 이러한 흐름은 가열 가스들의 흐름으로 대체되며(블록 468), 가열 가스들로부터 가열 플라즈마가 형성된다(블록 470). 단지 예시적으로, 가열 가스들은 상이한 실시예에서 O<sub>2</sub>, Ar 및/또는 He를 포함할 수 있고, 예시적으로 12,000W의 소스 전력이 30 내지 120초 사이의 시간 동안 동등한 상부 및 측면 분포로 인가된다. 이러한 중간 가열은 세정 동안 발생하는 챔버의 일반적 냉각을 반격하는 역할을 한다.

[0047] 가열 가스들의 흐름이 중단(블록 472)된 이후, 할로젠-프리커서 흐름이 회복될 수 있고(블록 474) 챔버 세정을 완료하기 위해 사용되는 고밀도 플라즈마가 블록 478에서 형성된다.

[0048] 예시적인 기판 프로세싱 시스템

[0049] 본 발명자들은 프레드 씨. 레테커, 파하드 모그하담, 히로기 하나와, 테추야 이스히카와, 단 메이단, 시지안 리, 브리안 루에, 로버트 스테거, 야신 왕, 마누스 웡 및 어숙 신하에 의해 1996년 7월 15일자로 출원된 "대칭 조정가능한 유도결합된 HDP-CVD 반응기"란 명칭의 공동 양도된 미국 특허 No. 6,170,428호에 일반적 설명이 제공되며, 캘리포니아 산타클라라의 어플라이드 머티리얼스사에 의해 제조되는 ULTIMA<sup>TM</sup> 시스템을 이용하여 본 발명의 실시예들을 구현했으며, 상기 문헌은 본 명세서에서 참조된다. 시스템의 개요는 도 5a 및 도 5b를 참조로

하기에 개시된다. 도 5a는 일 실시예에서 HDP-CVD 시스템(510)의 구조물을 개략적으로 나타낸다. 시스템(510)은 챔버(513), 진공 시스템(570), 소스 플라즈마 시스템(580A), 바이어스 플라즈마 시스템(580B), 가스 전달 시스템(533), 및 원격 플라즈마 세정 시스템(550)을 포함한다.

[0050] 챔버(513)의 상부는 알루미늄 산화물 또는 알루미늄 질화물과 같은 세라믹 유전체 물질로 구성된 돔(514)을 포함한다. 돔(514)은 플라즈마 프로세싱 영역(516)의 상부 경계를 한정한다. 플라즈마 프로세싱 영역(516)은 기관(517)의 상부 표면 및 기관 지지 부재(518)에 의해 바닥부 상에 경계설정된다.

[0051] 히터 플레이트(523) 및 냉각 플레이트(524)가 돔(514) 위에 놓이며 돔(514)과 열적으로 결합된다. 히터 플레이트(523) 및 냉각 플레이트(524)는 100℃ 내지 200℃ 범위에 걸쳐  $\pm 10^\circ\text{C}$  이내로 돔 온도의 제어를 허용한다. 이는 다양한 프로세스에 대한 돔 온도 최적화를 허용한다. 예를 들면, 증착 프로세스를 위해서 보다는 세정 또는 에칭 프로세스들을 위해 보다 높은 온도로 돔을 유지하는 것이 요구될 수 있다. 돔 온도의 정확한 제어는 챔버 내에서의 박리(flake) 또는 미립자 수를 감소시키며 증착된 층과 기관 사이의 접착력을 개선시킨다.

[0052] 챔버(513)의 하부는 진공 시스템과 챔버를 결합시키는 바디 부재(522)를 포함한다. 기관 지지 부재(518)의 베이스부(521)는 바디 부재(522) 상에 장착되며 바디 부재(522)와 연속적인 내부 표면을 형성한다. 기관들은 챔버(513)의 측면에 있는 삽입/제거 개구(미도시)를 통해 로봇 블레이드(미도시)에 의해 챔버(513) 안팎으로 이동된다. 리프트 핀들(미도시)이 모터(미도시)의 제어하에 상승된 다음 하강되어 상부 로딩 위치(557)에서의 로봇 블레이드로부터 기관 지지 부재(518)의 기관 수용부(519) 상에 기관이 위치되는 하부 프로세싱 위치(556)로 기관을 이동시킨다. 기관 수용부(519)는 기관 프로세싱 동안 기관 지지 부재(518)에 기관을 고정하는 정전기 척(520)을 포함한다. 바람직한 실시예에서, 기관 지지 부재(518)는 알루미늄 산화물 또는 알루미늄 세라믹 물질로부터 형성된다.

[0053] 진공 시스템(570)은 트윈-블레이드 쓰로틀 밸브(526)를 수용하고 게이트 밸브(527)와 터보-분자형 펌프(528)에 부착되는 쓰로틀 바디(525)를 포함한다. 쓰로틀 바디(525)는 가스 흐름에 대한 최소 차단을 제공하며, 대칭 펌핑을 허용한다. 게이트 밸브(527)는 쓰로틀 바디(525)로부터 펌프(528)를 분리시킬 수 있고 쓰로틀 밸브(526)가 완전히 개방될 때 배기 흐름 용량을 제한함으로써 챔버 압력을 제어할 수 있다. 쓰로틀 밸브, 게이트 밸브 및 터보-분자형 펌프의 배열은 약 1 밀리토르 내지 약 2 토르로 챔버 압력을 정확히 안정하게 제어할 수 있다.

[0054] 소스 플라즈마 시스템(580A)은 돔(514) 상에 장착된 상부 코일(529) 및 측면 코일(530)을 포함한다. 대칭 접지 실드(미도시)는 코일들 사이의 전기적 결합을 감소시킨다. 코일(529)은 상부 소스 RF(SRF) 발생기(531A)에 의해 전력공급되는 반면, 측면 코일(530)은 측면 SRF 발생기(531B)에 의해 전력공급되어, 각각의 코일에 대한 독립적인 전력 레벨 및 동작 주파수를 허용한다. 이러한 이중 코일 시스템은 챔버(513)에서의 방사상 이온 밀도의 제어를 허용하여 플라즈마 균일성을 개선시킨다. 측면 코일(530) 및 상부 코일(529)은 통상적으로 유도적으로 구동되어, 상보형 전극을 필요로 하지 않는다. 특정 실시예에서, 상부 소스 RF 발생기(531A)는 공칭적으로 2MHz에서 2,500와트에 이르는 RF 전력을 제공하고 측면 소스 RF 발생기(531B)는 공칭적으로 2MHz에서 5,000와트에 이르는 전력을 제공한다. 상부 및 측면 RF 발생기들의 동작 주파수들은 플라즈마-발생 효율이 개선되도록 공칭 동작 주파수(예를 들어, 각각 1.7-1.9MHz 및 1.9-2.1MHz)로부터 상쇄될 수 있다.

[0055] 바이어스 플라즈마 시스템(580B)은 바이어스 RF("BRF") 발생기(531C) 및 바이어스 매칭 네트워크(532C)를 포함한다. 바이어스 플라즈마 시스템(580B)은 바디 부재(522)와 기관 부분(517)을 결합시켜 상보형 전극으로 작용한다. 바이어스 플라즈마 시스템(580B)은 소스 플라즈마 시스템(580A)에 의해 생성된 플라즈마 종들(예를 들어, 이온들)의 기관 표면으로의 수송을 강화시키는 역할을 한다. 특정 실시예에서, 바이어스 RF 발생기는 하기에 보다 상세히 개시되는 바와 같이, 5MHz 미만의 주파수에서 10,000와트에 이르는 RF 전력을 제공한다.

[0056] RF 발생기(531A, 531B)는 디지털방식으로 제어되는 합성기를 포함하며 약 1.8 내지 약 2.1MHz 범위의 주파수에 대해 동작한다. 각각의 발생기는 챔버 및 코일로부터 다시 발생기로 반사되는 전력을 측정하고 당업자에 의해 이해되는 바와 같이, 최저 반사 전력을 얻기 위해 동작 주파수를 조절하는 RF 제어 회로(미도시)를 포함한다. RF 발생기는 통상적으로 50옴의 특성 임피던스를 갖는 로드(load)에서 동작하도록 설계된다. RF 전력은 발생기와 상이한 특성 임피던스를 갖는 로드들로부터 반사될 수 있다. 이는 로드로 전달되는 전력을 감소시킬 수 있다. 부가적으로, 로드로부터 발생기로 다시 반사되는 전력은 발생기에 과부하를 걸어 손상시킬 수 있다. 플라즈마의 임피던스는 다른 요인들중에서도 특히 플라즈마 이온 밀도에 따라 5옴 미만 900옴 이상의 범위이기 때문에, 그리고 반사 전력은 주파수의 함수이기 때문에, 반사 전력에 따른 발생기 주파수 조절은 RF 발생기로부터 플라즈마로 전달되는 전력을 증가시켜 발생기를 보호한다. 반사 전력을 감소시키고 효율을 개선하는 또다른 방법은 매칭 네트워크를 이용하는 것이다.



- [0057] 매칭 네트워크(532A, 532B)는 발생기들(531A, 531B)의 출력 임피던스를 이들 각각의 코일들(529, 530)과 매칭시킨다. RF 제어 회로는 로드(532)가 변함에 따라 발생기를 로드와 매칭시키기 위해 매칭 네트워크 내에서 캐패시터들의 값을 변화시킴으로써 매칭 네트워크들을 조절할 수 있다. RF 제어 회로는 로드로부터 발생기로 다시 반사된 전력이 일정 제한치를 초과할 때 매칭 네트워크를 조절할 수 있다. 일정한 매칭을 제공하고 RF 제어 회로가 매칭 네트워크로부터 조절되는 것을 효과적으로 불가능하게 하는 방법 중 하나는 반사 전력의 임의의 예상된 값 이상으로 반사 전력 제한치를 설정하는 것이다. 이는 가장 최근 조건에서 매칭 네트워크 상수를 고정시킴으로써 소정의 조건하에서 플라즈마 안정화를 도울 수 있다.
- [0058] 다른 방안으로 플라즈마 안정화를 도울 수 있다. 예를 들어, RF 제어 회로는 로드(플라즈마)로 전달된 전력을 결정하기 위해 이용될 수 있고 충을 증착하는 동안 전달된 전력을 실질적으로 일정하게 유지하기 위해 발생기 출력 전력을 증가 또는 감소시킬 수 있다.
- [0059] 가스 전달 시스템(533)은 몇 개의 소스들(534A-534E)로부터 가스 전달 라인들(538)(단지 일부만이 도시됨)을 통해 기판을 프로세싱하는 챔버에 가스들을 공급한다. 당업자들이 이해할 수 있듯이, 소스들(534A-534E)을 위해 사용되는 실제 소스들 및 챔버(513)와 전달 라인들(538)의 실제 접속은 챔버(513) 내에서 실행되는 증착 및 세정 프로세스들에 따라 변한다. 가스들은 가스 링(537) 및/또는 상부 노즐(545)을 통해 챔버(513)로 주입된다. 도 5b는 가스 링(537)의 추가 사항들을 나타내는 챔버(513)의 간략화된 부분 단면도이다.
- [0060] 일 실시예에서, 제 1 및 제 2 가스 소스들(534A, 534B) 및 제 1 및 제 2 가스 흐름 제어기들(535A', 535B')은 가스 전달 라인들(538)(단지 일부만이 도시됨)을 통해 가스 링(537)의 링 플레넘(536)에 가스를 제공한다. 가스 링(537)은 기판 위로 가스의 균일한 흐름을 제공하는 다수의 소스 가스 노즐들(539)(설명을 위해 단지 하나만이 도시됨)을 갖는다. 노즐 길이 및 노즐 각도는 개별 챔버내에서 특정 프로세스를 위한 가스 활용 효율성 및 균일성 프로파일의 조절이 허용되도록 변경될 수 있다. 바람직한 실시예에서, 가스 링(537)은 알루미늄 산화물 세라믹으로 제조된 12개의 소스 가스 노즐들을 갖는다.
- [0061] 가스 링(537)은 다수의 산화제 가스 노즐들(540)(단지 하나만이 도시됨)을 포함하며, 이는 바람직한 실시예에서, 소스 가스 노즐들(539)과 공면(co-planar)이며 소스 가스 노즐들(539) 보다 짧고, 일 실시예에서는 바디 플레넘(541)으로부터 가스를 수용한다. 일부 실시예에서, 챔버(513) 속으로 가스들을 주입하기 이전에 소스 가스들 및 산화제 가스들을 혼합시키는 것을 바람직하지 않다. 다른 실시예에서, 산화제 가스 및 소스 가스는 바디 플레넘(541)과 가스 링 플레넘(536) 사이에 구멍들(미도시)을 제공함으로써 챔버(513) 속으로 가스들을 주입하기 이전에 혼합될 수 있다. 일 실시예에서, 제 3, 제 4, 및 제 5 가스 소스들(534C, 534D, 534D') 및 제 3 및 제 4 가스 흐름 제어기들(535C, 535D')은 가스 전달 라인들(538)을 통해 바디 플레넘에 가스를 공급한다. 543B(다른 밸브들을 미도시)와 같은 추가 밸브들은 흐름 제어기들로부터 챔버로의 가스를 차단시킬 수 있다. 본 발명의 일부 실시예들을 구현할 때, 소스(534A)는 실란( $\text{SiH}_4$ ) 소스를 포함하며, 소스(534B)는 분자형 산소( $\text{O}_2$ ) 소스를 포함하며, 소스(534C)는 실란( $\text{SiH}_4$ ) 소스를 포함하며, 소스(534D)는 헬륨( $\text{He}$ ) 소스를 포함하며, 소스(534D')는 분자형 수소( $\text{H}_2$ ) 소스를 포함한다.
- [0062] 가연성, 유독성 또는 부식성 가스가 사용되는 실시예에서는, 증착 이후 가스 전달 라인들에 남아있는 가스들을 제거하는 것이 바람직하다. 이는 예를 들어, 전달 라인(538A)으로부터 챔버(513)를 절연시키고 진공 포어라인(544)으로 전달 라인(538A)을 배기시키기 위해 밸브(543B)와 같은 3-웨이 밸브를 사용하여 달성될 수 있다. 도 5a에 도시된 것처럼, 543A 및 543C와 같은 다른 유사한 밸브들이 다른 가스 전달 라인들상에 통합될 수 있다. 이러한 3-웨이 밸브들은 배기되지 않은 가스 전달 라인(3-웨이 밸브와 챔버 사이)의 체적을 최소화시키기 위해 실제 챔버(513)를 폐쇄시키는 것처럼 위치될 수 있다. 부가적으로, 2-웨이(온-오프) 밸브들(미도시)은 질량 흐름 제어기("MFC")와 챔버 사이 또는 가스 소스와 MFC 사이에 위치될 수 있다.
- [0063] 다시 도 5a를 참조로, 챔버(513)는 상부 노즐(545)과 상부 벤트(546)를 갖는다. 상부 노즐(545)과 상부 벤트(546)는 가스들의 상부 및 측면 흐름들의 독립적 제어를 허용하여, 막 균일성을 개선하고 막의 증착 및 도핑 파라미터들의 미세한 조절을 허용한다. 상부 벤트(546)는 상부 노즐(545) 부근의 환형 개구이다. 일 실시예에서, 제 1 가스 소스(534A)는 소스 가스 노즐들(539)과 상부 노즐(545)을 공급한다. 소스 노즐 MFC(535A')는 소스 가스 노즐(539)로 전달되는 가스의 양을 제어하며 상부 노즐 MFC(535A)는 상부 가스 노즐(545)로 전달되는 가스의 양을 제어한다. 유사하게, 2개의 MFC(535B, 535B')는 소스(534B)와 같은 단일의 산소 소스로부터 상부 벤트(546)와 산화제 가스 노즐(540)에 대한 산소의 흐름을 제어하는데 이용된다. 일부 실시예에서, 산소는 임의의 측면 노즐들로부터 챔버에 공급되지 않는다. 상부 노즐(545)과 상부 벤트(546)로 공급되

는 가스들은 챔버(513)로 가스들을 흘려보내기 이전에 개별적으로 유지되거나, 또는 챔버(513)로 이들을 흘려보내기 이전에 상부 플레넘(548)에서 혼합될 수 있다. 동일한 가스의 개별 소스들은 챔버의 다양한 부분들에 공급되도록 이용될 수 있다.

[0064] 원격 마이크로파-생성 플라즈마 세정 시스템(550)은 챔버 컴포넌트들로부터 증착 잔류물을 주기적으로 세정하도록 제공된다. 세정 시스템은 반응기 캐비티(553)에서 세정 가스 소스(534E)(예를 들어, 분자형 불소, 질소 삼불화물, 다른 불화탄소 또는 등가물)로부터 플라즈마를 생성하는 원격 마이크로파 발생기(551)를 포함한다. 이러한 플라즈마로부터 생성되는 반응성 종들은 애플리케이션 튜브(555)를 경유하여 세정 가스 공급 포트(554)를 통해 챔버(513)로 전달된다. 세정 플라즈마를 함유하도록 이용되는 물질(예를 들어, 캐비티(553) 및 애플리케이션 튜브(555))은 플라즈마에 의한 공격을 견뎌내야 한다. 반응기 캐비티(553)와 공급 포트(554) 사이의 간격은 실제 짧게 유지되어야 하며, 이는 원하는 플라즈마 종들의 농도는 반응기 캐비티(553)로부터의 간격에 따라 감소될 수 있기 때문이다. 원격 캐비티에서의 세정 플라즈마 생성은 유효 마이크로파 발생기의 사용을 허용하며 챔버 컴포넌트들이 인시튜로 형성되는 플라즈마가 존재할 수 있는 온도, 방사, 또는 글로우 방전의 충격을 겪지 않게 한다. 결과적으로, 정전기 척(520)과 같이 비교적 민감한 컴포넌트들은 인시튜 플라즈마 세정 프로세스가 요구될 수 있는, 더미 웨이퍼들로 커버되거나 또는 보호될 필요가 없다. 도 5a에서, 플라즈마-세정 시스템(550)은 챔버(513) 상부에 배치되는 것으로 도시되었지만, 다른 위치가 선택적으로 이용될 수 있다.

[0065] 상부 노즐을 통해 챔버 속으로 공급되는 소스 가스들의 흐름을 지향시키고 원격적 생성된 플라즈마의 흐름들을 지향시키기 위해 상부 노즐 부근에 배플(561)이 제공될 수 있다. 상부 노즐(545)을 통해 공급된 소스 가스들은 중앙 통로(562)를 통해 챔버로 지향되는 반면, 세정 가스 공급 포트(554)를 통해 제공된 원격적으로 생성된 플라즈마 종들은 배플(561)에 의해 챔버(513)의 측면으로 지향된다.

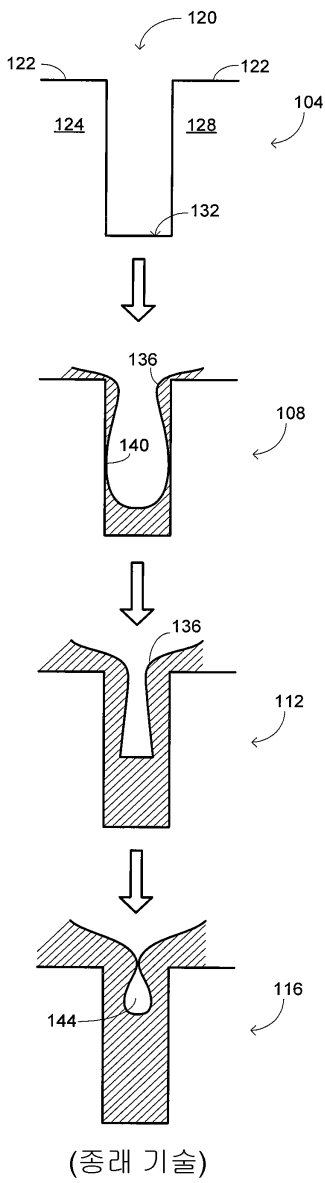
[0066] 당업자들은 본 발명의 범주를 벗어나지 않고 특정 파라미터들이 상이한 프로세싱 챔버 및 상이한 프로세싱 조건을 위해 변형될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 또한 당업자들은 다른 변형을 이해할 것이다. 이러한 등가물 및 대안물은 본 발명의 범주에 포함된다. 따라서, 본 발명의 범주는 개시된 실시예들로 제한되는 것이 아니라, 첨부되는 특허청구항들에 의해 한정되어야 한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0067] 도 1은 종래 기술의 겹층진 프로세스 동안 보이드 형성을 나타내는 개략적 단면도;
- [0068] 도 2는 다수의 얇은-트렌치-절연 구조물들을 포함하는 부분적으로 완성된 집적회로의 단면도;
- [0069] 도 3a 및 도 3b는 구조물 내에 조밀하게 팩킹된 영역 및 개구 영역의 겹층진 특성을 각각 나타내는 개략도들;
- [0070] 도 4a는 본 발명의 실시예에서 구조물들 상에 막들을 증착하는 방법을 요약한 흐름도;
- [0071] 도 4b는 증착 및 에칭 단계들이 삽입된, 도 4a의 방법들을 이용할 수 있는 특정 증착 프로세스를 요약한 흐름도;
- [0072] 도 4c는 도 4a의 방법의 일부로서 소정 실시예들에서 사용될 수 있는 프로세스 챔버의 시즈닝 방법을 요약한 흐름도;
- [0073] 도 4d는 도 4a의 방법의 일부로서 소정의 실시예들에서 사용될 수 있는 프로세스 챔버의 세정 방법을 요약한 흐름도;
- [0074] 도 5a는 본 발명의 방법들이 실행될 수 있는 고밀도 플라즈마 화학적 기상 증착 시스템의 일 실시예의 개략도;
- [0075] 도 5b는 도 5a의 예시적인 프로세싱 시스템과 조합되어 사용될 수 있는 가스 링의 개략적 단면도.

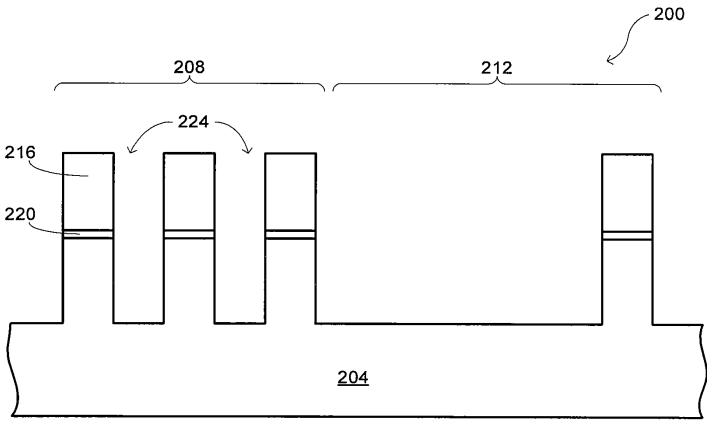
도면

도면1

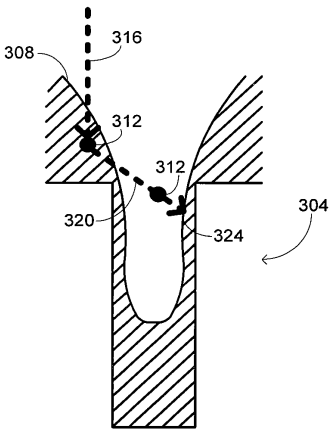




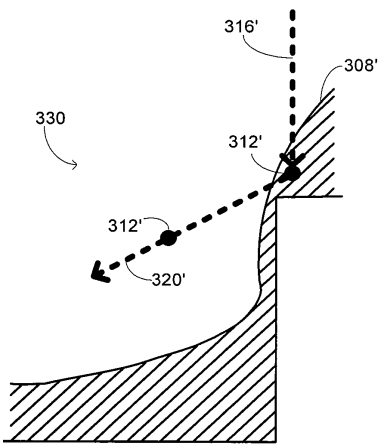
도면2



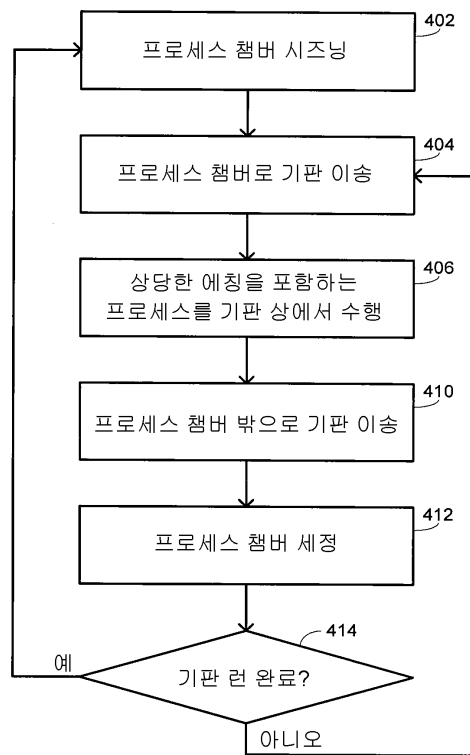
도면3a



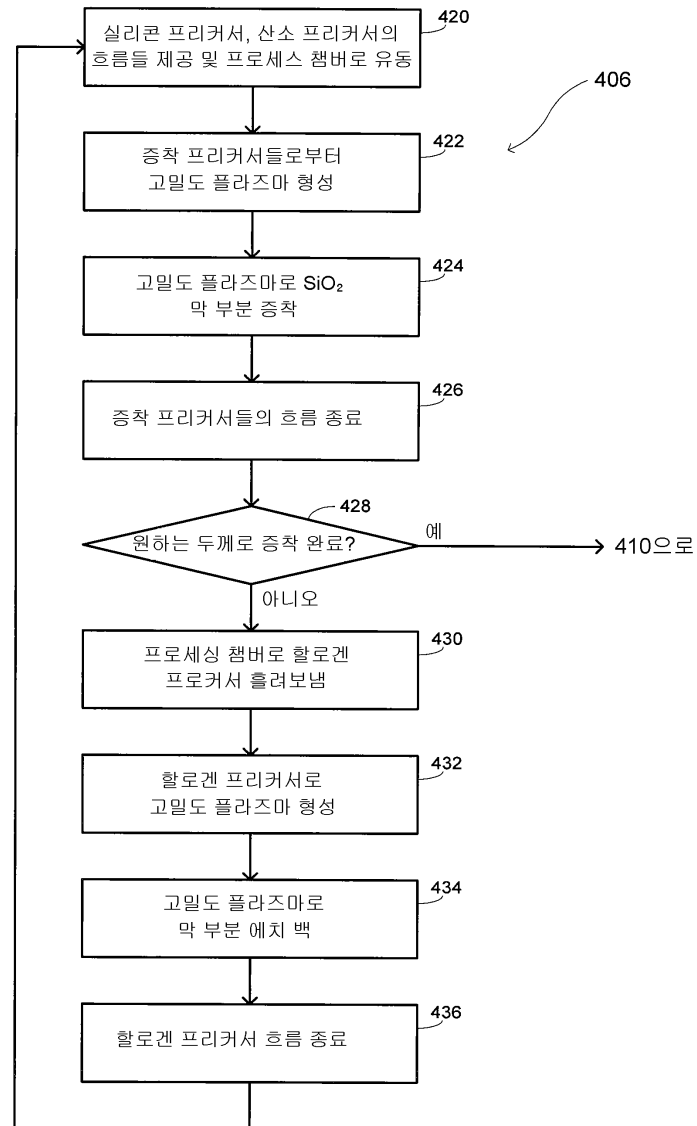
도면3b



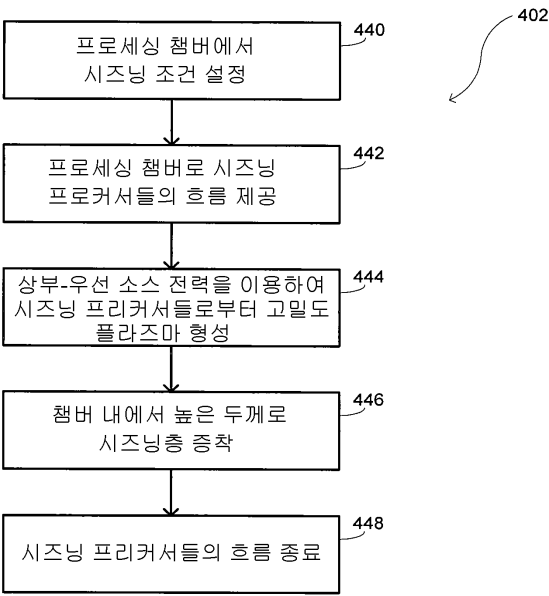
도면4a



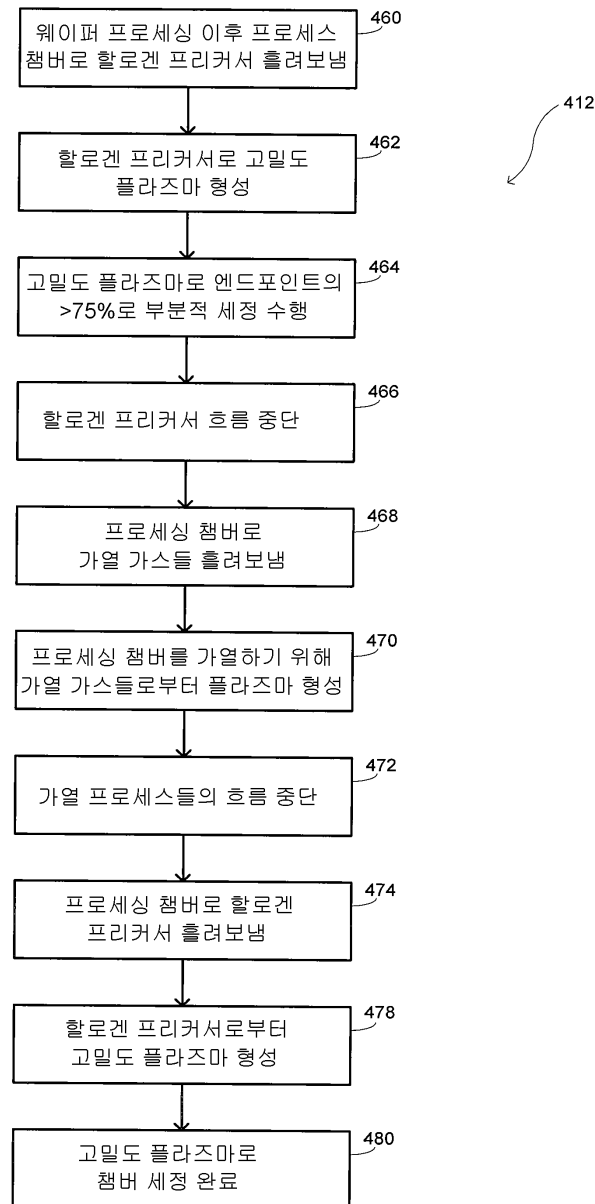
도면4b



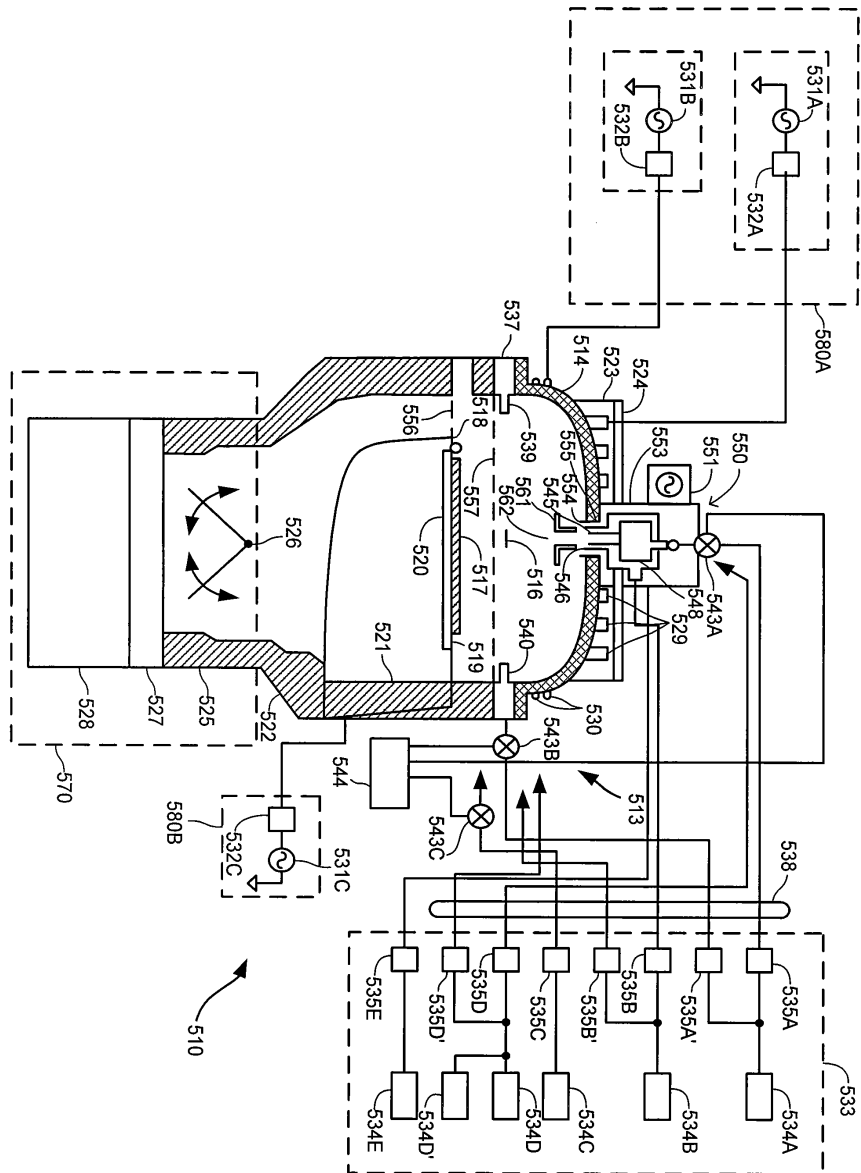
도면4c



도면4d



도면5a



도면5b

