(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0143579
(43) 공개일자 2022년10월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H01L 21/02* (2006.01) *C23C 16/04* (2006.01)
*C23C 16/26* (2006.01) *C23C 16/455* (2006.01)
*C23C 16/56* (2006.01) *H01L 21/3105* (2006.01)
(52) CPC특허분류
*H01L 21/0234* (2013.01)
*C23C 16/045* (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0044269
(22) 출원일자 2022년04월11일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
63/175,979 2021년04월16일 미국(US)

(71) 출원인
**에이에스엠 아이피 홀딩 비.브이.**
네덜란드 에이피 알메르 1322 베르스테르케르스트라아트 8
(72) 발명자
**미야마 료**
네덜란드 에이피 알메르 1322 베르스테르케르스트라아트 8
**수사 요시오**
네덜란드 에이피 알메르 1322 베르스테르케르스트라아트 8
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**리앤목특허법인**

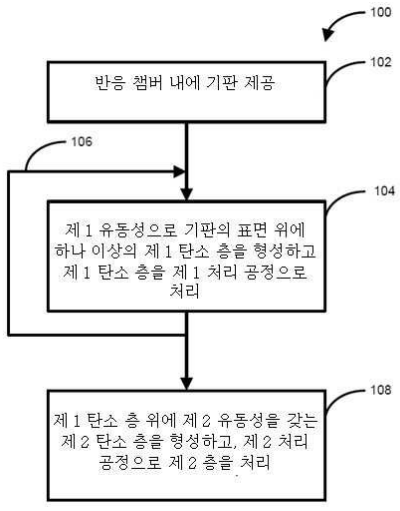
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 **유동성 탄소 층으로 갭을 충진하는 방법**

## (57) 요 약

다수의 탄소 층을 포함한 구조체를 형성하기 위한 방법 및 시스템, 그리고 본 방법 또는 시스템을 사용하여 형성된 구조체가 개시된다. 예시적인 방법은, 초기 제1 유동성을 갖는 제1 탄소 층 및 초기 제2 유동성을 갖는 제2 탄소 층을 형성하는 단계를 포함하되, 제1 유동성은 제2 유동성보다 작다.

*대 표 도* - 도1



(52) CPC특허분류
*C23C 16/26* (2013.01)
*C23C 16/45553* (2013.01)
*C23C 16/56* (2013.01)
*H01L 21/02115* (2013.01)
*H01L 21/02205* (2013.01)
*H01L 21/02274* (2013.01)
*H01L 21/0228* (2013.01)
*H01L 21/31051* (2013.01)
(72) 발명자
**키쿠치 요시유키**
네덜란드 에이피 알메르 1322 베르스테르케르스트라아트 8
**수기우라 히로츠구**
네덜란드 에이피 알메르 1322 베르스테르케르스트라아트 8

# 명 세 서

## 청구범위

### 청구항 1

방법으로서,

표면 상에 형성된 하나 이상의 리세스를 포함한 기판을, 반응 챔버에 제공하는 단계;

상기 표면 위에 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계(상기 하나 이상의 제1 탄소 층 중 적어도 하나는 제1 초기 유동성을 가짐); 및

상기 하나 이상의 제1 탄소 층 위에 제2 탄소 층을 형성하는 단계(상기 제2 탄소 층은 제2 초기 유동성을 가짐)를 포함하되,

상기 제2 초기 유동성은 상기 제1 초기 유동성보다 큰, 방법.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 하나 이상의 리세스 중 적어도 하나의 리세스는 다중 트렌치 구조체를 포함하는, 방법.

### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 제2 탄소 층은 상기 하나 이상의 제1 탄소 층 중 적어도 하나보다 두꺼운, 방법.

### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계는, 상기 하나 이상의 리세스 내에 제1 초기 점성 층을 형성하는 단계 및 제1 플라즈마 공정을 사용하여 상기 제1 초기 점성 층을 처리하는 단계의 하나 이상의 사이클을 포함하는, 방법.

### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 탄소 층을 형성하는 단계는, 제2 초기 점성 층을 형성하는 단계, 및 제2 플라즈마 공정을 사용하여 상기 제2 초기 점성 층을 처리하는 단계를 포함하는, 방법.

### 청구항 6

제5항에 있어서, 상기 제1 플라즈마 공정은 제1 플라즈마 전력을 포함하고, 상기 제2 플라즈마 공정은 제2 플라즈마 전력을 포함하되, 상기 제2 플라즈마 전력은 상기 제1 플라즈마 전력보다 큰, 방법.

### 청구항 7

제4항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 초기 점성 층은 제1 처리 시간 동안 상기 제1 플라즈마 공정으로 처리되고, 상기 제2 초기 점성 층은 제2 처리 시간 동안 상기 제2 플라즈마 공정으로 처리되며, 상기 제2 처리 시간은 상기 제1 처리 시간보다 긴, 방법.

### 청구항 8

제4항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 플라즈마 공정은 제1 이온 에너지 레벨 및 제1 플럭스를 포함하고, 상기 제2 플라즈마 공정은 제2 이온 에너지 레벨 및 제2 플럭스를 포함하되, 상기 제2 이온 에너지 레벨은 상기 제1 이온 에너지 레벨보다 큰, 방법.

### 청구항 9

제8항에 있어서, 상기 제2 플럭스는 상기 제1 플럭스보다 큰 방법.

**청구항 10**

제4항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 탄소 층을 형성하는 단계 동안의 증착 시간은, 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계 동안의 증착 시간보다 긴, 방법.

**청구항 11**

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 탄소 층의 표면은 평탄화되는, 방법.

**청구항 12**

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계 동안에, 상기 반응 챔버 내의 온도는 100° C 미만인, 방법.

**청구항 13**

제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 탄소 층을 형성하는 단계 동안에, 상기 반응 챔버 내의 온도는 100° C 미만인, 방법.

**청구항 14**

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 플라즈마 공정 또는 상기 제2 플라즈마 공정 중 적어도 하나는 He, Ar, 및 $N_2$ 중 하나 이상으로부터 여기된 종을 형성하는 단계를 포함하는, 방법.

**청구항 15**

제1항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계는 제1 횟수만큼 반복되고, 상기 제2 탄소 층을 형성하는 단계는 제2 횟수만큼 반복되며, 상기 제1 횟수는 상기 제2 횟수보다 큰, 방법.

**청구항 16**

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계는, 화학 조성식 $C_xH_yN_zO_a$(x는 2 이상인 자연수이고, y는 자연수이고, z는 0이거나 자연수이고, a는 0이거나 자연수임)로 표시된 탄소 전구체를 상기 반응 챔버에 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

**청구항 17**

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 탄소 층을 형성하는 단계는, 화학 조성식 $C_xH_yN_zO_a$(x는 2 이상인 자연수이고, y는 자연수이고, z는 0이거나 자연수이고, a는 0이거나 자연수임)로 표시된 탄소 전구체를 상기 반응 챔버에 제공하는 단계를 포함하는, 방법.

**청구항 18**

제1항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계는, 사이클 당 제1 성장 레벨을 포함하고, 상기 제2 탄소 층을 형성하는 단계는, 사이클 당 제2 성장 레벨을 포함하되, 상기 사이클 당 제2 성장 레벨은 사이클 당 제1 성장 레벨보다 큰, 방법.

**청구항 19**

방법으로서,

표면 상에 형성된 하나 이상의 리세스를 포함한 기판을, 반응 챔버에 제공하는 단계;

제1 초기 유동성을 갖는 제1 초기 유동성 탄소 층을 증착하는 단계와 제1 초기 유동성 탄소 층을 제1 이온 에너지 레벨 및 제1 플럭스로 처리하는 단계에 의해, 상기 표면 위에 제1 탄소 층을 형성하는 단계;

제2 초기 유동성을 갖는 제2 초기 유동성 탄소 층을 증착하는 단계와 제2 초기 유동성 탄소 층을 제2 이온 에너지 레벨 및 제2 플럭스로 처리하는 단계에 의해, 상기 제1 탄소 층 위에 제2 탄소 층을 형성하는 단계를 포함하

되,

상기 제2 초기 유동성은 상기 제1 초기 유동성보다 크고,

상기 제2 이온 에너지 레벨은 상기 제1 이온 에너지 레벨보다 큰 것 또는 상기 제2 플럭스는 상기 제1 플럭스보다 더 큰 것 중 적어도 하나인, 방법.

**청구항 20**

제1항 내지 제19항 중 어느 한 항의 방법에 따라 형성된 구조체.

**청구항 21**

시스템으로서,

반응 챔버;

탄소 전구체 공급원;

불활성 가스 공급원;

플라즈마 전력 공급원;

배기 공급원; 및

제어기를 포함하되,

상기 제어기는, 상기 반응 챔버 내로 상기 탄소 전구체의 가스 흐름을 제어하여 제1 탄소 층 및 상기 제1 탄소 층 위에 제2 탄소 층을 형성하도록 구성되고,

상기 제1 탄소 층은 제1 두께 및 제1 초기 유동성을 포함하고, 상기 제2 탄소 층은 제2 두께 및 제2 초기 유동성을 포함하되,

상기 제2 두께는 상기 제1 두께보다 큰 것 및 상기 제2 유동성은 상기 제1 유동성보다 큰 것 중 적어도 하나인, 시스템.

**청구항 22**

제21항에 있어서, 상기 제어기는, 상기 제1 탄소 층을 제1 이온 에너지 레벨 및 제1 플럭스로 처리하는 제1 플라즈마 공정을 제어하도록 구성되고, 상기 제어기는, 상기 제2 탄소 층을 제2 이온 에너지 레벨 및 제2 플럭스로 처리하는 제2 플라즈마 공정을 제어하도록 구성되며,

상기 제2 이온 에너지 레벨은 상기 제1 이온 에너지 레벨보다 큰 것 및 상기 제2 플럭스는 상기 제1 플럭스보다 더 큰 것 중 적어도 하나인, 시스템.

## *발명의 설명*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 개시는, 일반적으로 전자 소자의 제조에 사용하기에 적합한 구조체를 형성하는 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 개시의 예시는 탄소 층을 포함한 구조체를 형성하는 방법, 이러한 층을 포함한 구조체, 상기 방법 및 구조체를 사용하여 형성된 소자, 그리고 상기 방법을 수행하고/수행하거나 상기 구조체를 형성하기 위한 시스템에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 반도체 소자와 같은 소자 제조 중에, 기판 표면 상에 갭(또는 리세스(예, 트렌치 또는 피처 사이의 부위)라고 칭함)을 절연체 또는 유전체 재료로 충진하는 것이 자주 바람직하다. 갭을 충진하기 위한 일부 기술은 유동성 탄소 재료의 층의 증착, 예컨대 스핀 온 카본(SOC)을 포함한다. 많은 응용 분야에서, SOC와 같은 탄소 재료의 사용은 충진 능력, 에칭 선택도, 애싱 효율 등과 같은 많은 바람직한 특성을 갖는다.

[0003] 갭을 충진하기 위한 탄소 재료의 사용은 일부 응용예에서 잘 작용할 수 있지만, 전통적인 증착 기술을 사용하여 갭을 충진하는 것은, 예를 들어 갭이 단일 트렌치 구조체보다는 다중(예를 들어, 이중) 트렌치 구조체를 포함하

는 경우와 같은 여러 단점을 갖는다. 다중 트렌치 구조체에서, 제1 트렌치는 제1 트렌치 내에 형성된 하나 이상의 제2 트렌치를 포함할 수 있다. 제1 트렌치는 제1 피치로 이격될 수 있고, 제1 트렌치 내의 제2 트렌치는 제2 피치로 이격될 수 있다. 제1 및 제2 트렌치의 종횡비는 상당히 상이할 수 있으며, 이는 다중 트렌치 구조체 내에 증착된 탄소 재료의 표면에 원치 않는 거칠기를 생성하는 전통적인 증착 기술을 초래할 수 있다. 후속 처리, 예컨대 포토리소그래피, 재료의 에칭 및/또는 재료의 증착을 위해 탄소 재료의 비교적 평탄한 표면을 얻는 것이 일반적으로 바람직할 수 있다. 탄소 재료 표면의 평탄도 및/또는 거칠기가 적절한 수준에 있지 않은 경우에, 임계 치수(CD) 및/또는 라인 에지 거칠기(LER)의 바람직하지 않은 변화가, 후속 형성되는 레지스트 패턴 및 피처를 초래할 수 있다.

[0004] 또한, SOC 공정은 코팅기 및 오븐과 같은 추가 처리 장비를 사용하기 때문에, SOC의 사용은 비교적 고가일 수 있다. 또한, SOC 공정은 일반적으로 코팅, 베이킹 및 경화와 같은 추가 처리 단계를 포함한다. 이러한 추가 장비 및 처리 단계의 사용은, 소자를 형성하는 데 사용되는 구조체를 형성하는 방법에 원하지 않는 시간과 비용을 추가할 수 있다.

[0005] 따라서, 구조체를 형성하기 위한 개선된 방법, 특히 기판 표면 상의 갭 또는 리세스를 유동성 탄소 재료로 충진하는 방법이 요구되며, 이는 비교적 평탄하고 평활한 표면을 제공하는 데 적합하다. 이러한 구조체 및 소자를 형성하기 위한 시스템뿐만 아니라, 추가로 개선된 구조체 및 소자가 요구된다.

[0006] 이 부분에서 진술된 문제점 및 해결책에 대한 임의의 논의를 포함하여 모든 논의는 단지 본 개시에 대한 맥락을 제공하는 목적으로 본 개시에 포함되었고, 그 논의의 일부 또는 전부가 본 발명이 이루어진 당시에 알려졌거나 달리 종래 기술을 구성하고 있음을 인정하는 것으로 받아들여져서는 안 된다.

## *발명의 내용*

[0007] 본 개시는의 다양한 구현예는, 전자 소자 형성에 사용하기에 적합한 구조체를 형성하는 방법, 상기 방법을 수행하여 형성된 구조체, 및 상기 방법을 수행하기 위한 시스템에 관한 것이다. 본 개시의 다양한 구현예가 이전 방법, 구조체, 및 시스템의 문제점을 해결하는 방식은 이하에서 보다 상세히 논의되면서, 일반적으로 본 개시의 예시적 구현예는, 상이한 특성을 갖는 두 개 이상의 탄소 층을 포함한 구조체를 형성하기 위한 개선 방법을 제공한다. 구조체의 형성에 -예를 들어, (다중 트렌치) 리세스를 충진하기 위해- 두 개 이상의 탄소 층을 사용하면, 리세스 충진 재료의 평탄도를 개선할 수 있으며, 이는 결국, 종래의 방법에 비해, 본원에 기술된 방법을 사용하여 형성된 피처에서 임계 치수의 감소된 변동 및 감소된 라인 에지 거칠기를 제공할 수 있다.

[0008] 본 개시의 다양한 구현예에 따라, 구조체를 형성하는 방법이 제공된다. 예시적인 방법은 반응 챔버 내에 기판을 제공하는 단계, 기판의 표면 위에 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계(하나 이상의 제1 탄소 층 중 적어도 하나는 제1 초기 유동성을 가짐), 및 제1 탄소 층 위에 제2 초기 유동성을 갖는 제2 탄소 층을 형성하는 단계를 포함한다. 기판은 기판의 표면 상에 형성된 하나 이상의 리세스를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 탄소 층은, 공극 형성 없이 하나 이상의 (예, 다중 트렌치) 리세스(예, 각각의 트렌치 또는 리세스는 약 3.0 내지 약 100.0의 종횡비를 가짐)를 충진하고, 후속 처리를 위해 비교적 평활한 표면을 제공하는 데 사용될 수 있다. 이들 구현 예시에 따라, 제2 탄소 층의 제2 초기 유동성은 제1 탄소 층의 제1 초기 유동성보다 크다. 본원에서 사용되는 바와 같이, 초기 유동성은, 재료가 기판의 표면 상에 증착될 시 재료의 유동성을 지칭할 수 있다. 탄소 재료의 유동성은, 예를 들어 탄소 재료의 두께를 포함하는 다양한 인자에 따라 달라질 수 있다. 본 개시의 예시에 따라, 제2 탄소 층은 제1 탄소 층 중 하나 이상보다 두꺼울 수 있다. 제1 유동성보다 큰 제2 초기 유동성은, 예를 들어 에칭 공정과 같은 추가 단계를 필요로 하지 않고, 다중 트렌치 구조체의 평탄화된 충진을 용이하게 한다. 이들 구현예의 추가 양태에 따라, 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계는, 하나 이상의 리세스 내에 제1 초기 점성 층을 형성하는 단계 및 제1 플라즈마 공정을 사용하여 제1 초기 점성 층을 처리하는 단계를 포함한다. 추가 예시에 따라, 제2 탄소 층을 형성하는 단계는, 하나 이상의 리세스 내에 제2 초기 점성 층을 형성하는 단계 및 제2 플라즈마 공정을 사용하여 제2 초기 점성 층을 처리하는 단계를 포함한다. 제1 플라즈마 공정은 제1 플라즈마 전력을 이용할 수 있고, 제2 플라즈마 공정은 제2 플라즈마 전력을 이용할 수 있고, 제2 플라즈마 전력은 제1 플라즈마 전력보다 클 수 있다.

[0009] 추가적으로 또는 대안적으로, 제1 초기 점성 층은 제1 처리 시간 동안 제1 플라즈마 공정으로 처리될 수 있고, 제2 초기 점성 층은 제2 처리 시간 동안 제2 플라즈마 공정으로 처리될 수 있다. 이들 구현예의 예시에 따라, 제2 처리 시간은 제1 처리 시간보다 클 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 제1 플라즈마 공정은 제1 이온 에너지 레벨 및 제1 플럭스를 포함할 수 있고, 제2 플라즈마 공정은 제2 이온 에너지 레벨 및 제2 플럭스를 포함할 수 있다. 이들 구현예의 예시에 따라, 제2 이온 에너지 레벨 및/또는 제2 플럭스는 제1 이온 에너지 레벨

및/또는 제1 플럭스보다 클 수 있다. 추가 예시에 따라, 제2 초기 점성 층의 사이클 당 성장은 제1 초기 점성 층의 사이클 당 성장보다 높다.

[0010] 본 개시의 다양한 구현예에 따라, 하나 이상의 제1 탄소 층 및/또는 제2 탄소 층을 형성하는 단계 동안 반응 챔버 내의 온도는 100° C 미만일 수 있다. 또한, 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계는 탄소 전구체를 반응 챔버에 제공하는 단계를 포함할 수 있으며, 여기서 탄소 전구체의 화학 조성은 CxHyNzOa로 표시되며, 여기서 x는 2 이상의 자연수이고, y는 자연수이고, z는 0 또는 자연수이고, a는 0 또는 자연수이다. 다른 예시적인 구현예에서, 제1 플라즈마 공정 및/또는 제2 플라즈마 공정은 He, Ar 또는 N2 중 하나 이상으로부터 여기 종을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 본 개시의 추가 구현예에 따라, 구조체는 본원에 설명된 방법에 따라 적어도 부분적으로 형성된다. 구조체는 제1 탄소 층 및 제2 탄소 층을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 탄소 층은 기판 상의 하나 이상의 다중(예, 이중) 트렌치 구조 내에 형성될 수 있다. 본 개시의 추가적인 예시적인 구현예에서, 제2 탄소 층의 표면은 평탄화된다.

[0012] 본 개시의 또 추가적인 구현예에 따라, 시스템은, 본원에 설명된 바와 같이 방법을 수행하고/수행하거나 구조체를 형성하기 위해 제공된다. 예시적인 시스템은 하나 이상의 반응 챔버, 탄소 전구체 공급원, 불활성 가스 공급원, 플라즈마 전력 공급원, 배기 공급원, 및 제어기를 포함할 수 있다. 제어기는 하나 이상의 반응 챔버 중 적어도 하나 내로 탄소 전구체의 가스 흐름을 제어하여 제1 탄소 층 및 제1 탄소 층 위에 놓이는 제2 탄소 층을 형성하도록 구성될 수 있으며, 여기서 제2 탄소 층의 유동성은 제1 탄소 층의 유동성보다 크고, 제1 탄소 층은 제1 두께를 가질 수 있고, 제2 탄소 층은 제2 두께를 가질 수 있으며, 제2 두께는 제1 두께보다 크다.

[0013] 본 발명은 개시된 임의의 특정 구현예(들)에 제한되지 않으며, 이들 및 다른 구현예는 첨부된 도면을 참조하는 특정 구현예의 다음의 상세한 설명으로부터 당업자에게 쉽게 분명해질 것이다.

## 도면의 간단한 설명

[0014] 다음의 예시적인 도면과 연관하여 고려되는 경우에 발명의 상세한 설명 및 청구범위를 참조함으로써, 본 개시의 예시적인 구현예에 대해 더욱 완전한 이해를 얻을 수 있다.

도 1은 본 개시의 예시적 구현예에 따른 방법을 나타낸다.

도 2는 본 개시의 적어도 하나의 구현예에 따라 형성된 구조체를 나타낸다.

도 3은 본 개시의 예시적 구현예에 따른 방법을 나타낸다.

도 4는 본 개시의 예시적 구현예에 따른 시간 순서 다이어그램을 나타낸다.

도 5는 본 개시의 예시적인 구현예에 따른 다중 트렌치 구조체를 나타낸다.

도 6은 본 개시의 예시적 구현예에 따른 시스템을 나타낸다.

도면의 구성 요소들은 간략하고 명료하게 도시되어 있으며, 반드시 축적대로 도시되지 않았음을 이해할 것이다. 예를 들어, 본 개시에서 예시된 구현예의 이해를 돕기 위해 도면 중 일부 구성 요소의 치수는 다른 구성 요소에 비해 과장될 수 있다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 특정 구현예 및 실시예가 아래에 개시되었지만, 당업자는 본 발명이 구체적으로 개시된 구현예 및/또는 본 발명의 용도 및 이들의 명백한 변형물 및 균등물을 넘어 확장된다는 것을 이해할 것이다. 따라서, 개시된 발명의 범주는 후술되는 구체적인 개시된 구현예에 의해 제한되지 않도록 의도된다.

[0016] 본 개시는 일반적으로, 구조체를 형성하기에 적합한 방법, 및 상기 방법을 사용하여 형성된 구조체, 및 상기 방법을 수행하고/수행하거나 상기 구조체를 형성하기 위한 시스템에 관한 것이다. 예로서, 본원에 설명된 방법은, 유동성 탄소 재료를 이용해 기판 표면 상의 리세스 또는 갭(예, 트렌치, 비아, 또는 피처 사이의 공간, 예컨대 라인 또는 돌출부)을 충진하기 위해 사용될 수 있고, 다중(예, 이중) 트렌치 구조체를 충진하기에 특히 잘 적합하다.

[0017] 예시적인 방법은, 상이한 특성(예, 유동성)을 갖는 둘 이상의 탄소 층을 형성하는 단계를 포함한다. 적어도 두 개의 층이 상이한 특성을 나타내는 다수의 탄소 층의 사용은, 원하는 리세스 충진 특성을 제공할 수 있다. 또한, 두 개 이상의 탄소 층을 사용하여 형성된 구조체는 비교적 평탄하고 평활한 표면을 나타낼 수 있다. 구조

체의 비교적 평탄하고 평활한 표면은, 패턴화된 레지스트 및/또는 구조체의 표면 상에 형성된 피처의 감소된 임계 치수(CD) 변화 및/또는 감소된 라인 에지 거칠기(LER)를 갖는 패터닝을 초래할 수 있다.

[0018] 이하에서 더욱 상세히 설명되는 바와 같이, 탄소 층은 활성화된 종으로 처리되어 유동성, 경도 등과 같은 초기에 증착된 탄소 재료의 하나 이상의 특성을 변경할 수 있다. 특성의 변화는 증착 파라미터 및/또는 처리 파라미터, 예컨대 이온 에너지 및/또는 처리 단계 동안 사용된 여기 종의 플럭스에 따라 달라질 수 있다. 이하에서 추가로 설명되는 바와 같이, 상이한 처리 공정이 제1 및 제2 탄소 층에 사용되어 원하는 층 특성을 획득하고 두 개 이상의 탄소 층의 다양한 두께를 허용할 수 있다.

[0019] 본 개시에서, "가스"는 정상 온도 및 압력에서 가스, 증기화된 고체 및/또는 증기화된 액체인 재료를 지칭할 수 있으며, 맥락에 따라 단일 가스 또는 가스 혼합물로 구성될 수 있다. 공정 가스 이외의 가스, 즉 샤워헤드, 다른 가스 분배 장치 등과 같은 가스 분배 어셈블리를 통과하지 않고 유입되는 가스는, 예를 들어 반응 공간을 밀폐하기 위해 사용될 수 있고, 희귀 가스와 같은 밀폐 가스를 포함한다. 일부 경우에서, 예컨대 재료의 증착 맥락에서, 용어 "전구체"는 다른 화합물을 생성하는 화학 반응에 참여하는 화합물을 지칭할 수 있고, 특히 막 매트릭스 또는 막의 주 골격을 구성하는 화합물을 지칭할 수 있는 반면, 용어 "반응물"은 일부 경우에서 전구체 이외의 화합물을 지칭할 수 있데, 이는 전구체를 활성화시키거나, 전구체를 개질하거나, 전구체의 반응을 촉진시키고, 반응물은 (O, H, N, C와 같은) 원소를 막 매트릭스에 제공할 수 있고, 예를 들어 전력(예, 무선 주파수(RF) 전력)이 인가되는 경우에 막 매트릭스의 일부가 될 수 있다. 일부 경우에서, 용어 전구체 및 반응물은 상호 교환적으로 사용될 수 있다. 용어 "불활성 가스"는 상당한 정도로 화학 반응에 참여하지 않고/않거나 예를 들어 전력(예, RF 전력)이 인가될 경우에 (예를 들어, 전구체의 중합화를 용이하게 하도록) 전구체를 여기시키는 가스를 지칭하나, 반응물과는 달리 상당한 정도로 막 매트릭스의 일부가 될 수 없다.

[0020] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "기판"은, 형성하기 위해 사용될 수 있는, 또는 그 위에 소자, 회로, 또는 막이 형성될 수 있는, 임의의 하부 재료 또는 재료들을 지칭할 수 있다. 기판은 실리콘(예, 단결정 실리콘), 게르마늄과 같은 다른 IV족 재료, III-V족 또는 II-VI족 반도체와 같은 화합물 반도체 재료와 같은 벌크 재료를 포함할 수 있고, 벌크 재료 위에 놓이거나 그 아래에 놓인 하나 이상의 층을 포함할 수 있다. 또한, 기판은, 기판의 층 또는 벌크 재료의 적어도 일부 내에 또는 그 위에 형성된 다양한 피처, 예컨대 갭, 라인, 또는 돌출부, 예컨대 그 사이에 형성된 리세스를 갖는 라인 등을 포함할 수 있다. 예로서, 하나 이상의 피처(예, 리세스, 라인, 또는 돌출부)는, 약 10 nm 내지 약 100 nm의 폭, 약 30 nm 내지 약 1,000 nm의 깊이 또는 높이, 및/또는 약 3 내지 100의 종횡비를 가질 수 있다.

[0021] 일부 구현예에서, "막"은 두께 방향에 수직인 방향으로 연장되는 층을 지칭한다. 일부 구현예에서, "층"은 표면에 형성된 특정 두께를 갖는 재료를 지칭하거나, 막 또는 막이 아닌 구조체의 동의어일 수 있다. 막 또는 층은 특정 특성을 갖는 별개의 단일막 또는 층, 또는 다수의 막 또는 층으로 구성될 수 있고, 인접하는 막 또는 층 사이의 경계는 명확하거나 그렇지 않을 수 있으며, 물리적, 화학적, 및/또는 임의의 특성, 형성 공정 및 시퀀스, 및/또는 인접하는 막 또는 층의 기능 또는 목적에 기반하여 구축되거나 되지 않을 수 있다. 층 또는 막은 연속적일 수 있거나 또는 그렇지 않을 수 있다. 또한, 단일 막 또는 층은 다수의 증착 사이클 및/또는 다수의 증착 및 처리 사이클을 사용하여 형성될 수 있다.

[0022] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "탄소 층"은, 화학식이 탄소를 포함하는 것으로 나타낼 수 있는 층을 지칭할 수 있다. 탄소 재료를 포함하는 층은, 산소, 질소 및 수소 중 하나 이상과 같이 다른 원소를 포함할 수 있다. 유사하게, 용어 "탄소 재료"는 그 화학 조성식이 탄소를 포함하는 것으로 나타낼 수 있고, 산소, 질소 및 수소 중 하나 이상을 포함할 수도 있는 재료를 지칭할 수 있다.

[0023] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "구조체"는 부분적으로 또는 완전히 제조된 소자 구조체를 지칭할 수 있다. 예로서, 구조체는 그 위에 형성된 하나 이상의 층 및/또는 피처를 갖는 기판일 수 있거나 이를 포함할 수 있다.

[0024] 본원에서 사용되는 바와 같이, 용어 "주기적 증착 공정"은 기상 증착 공정을 지칭하고, 여기서 증착 사이클은, 전형적으로 복수의 연속 증착 사이클은 공정 챔버에서 수행된다. 주기적 증착 공정은 주기적 화학 기상 증착(CVD) 및 원자층 증착 공정을 포함할 수 있다. 주기적 증착 공정은, 전구체, 반응물 및/또는 불활성 가스의 플라즈마 활성화(의 펄스) 및/또는 반응 챔버로의 전구체의 펄스를 포함한 하나 이상의 사이클을 포함할 수 있다.

[0025] 본 개시에서, "연속적으로"는, 진공 파괴가 없으며, 시간적으로 중단이 없고, 임의의 재료의 개입 단계가 없으며, 다음 단계로서 그 직후에 처리 조건의 변경이 없고, 또는 일부 구현예에서 그리고 문맥에 따라 두 개의 구조체 사이에 두 개의 구조체 이외의 분리된 물리적 또는 화학적 구조체가 개입하지 않음을 지칭할 수 있다.

[0026] 유동성(예를 들어, 초기 유동성)은 다음과 같이 결정될 수 있다:

[0027] 표 1

| 하부/상부 비율(B/T) | 유동성 |
|---|---|
| 0< B/T <1 | 없음 |
| 1≤ B/T <1.5 | 불량 |
| 1.5≤ B/T <2.5 | 우수 |
| 2.5≤ B/T <3.5 | 매우 우수 |
| 3.5≤ B/T | 대단히 우수 |

[0028]

[0029] 여기서 B/T는, 리세스를 충진하기 전에, 리세스가 형성되는 상부 표면 상에 증착된 막의 두께에 대한 리세스의 하부에 증착된 막의 두께의 비율을 지칭한다. 일반적으로, 유동성은 약 1 이하의 종횡비를 갖는 넓은 리세스를 사용하여 평가되는데, 일반적으로 리세스의 종횡비가 높아질수록 B/T 비율이 높아지기 때문이다. B/T 비는 일반적으로 리세스의 종횡비가 더 높을 경우에 더 높아진다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "유동성" 막 또는 재료는 양호한 유동성을 나타낸다.

[0030] 아래에 더 상세하게 기재된 바와 같이, (예를 들어, 초기) 막의 유동성은, 예를 들어 휘발성 탄화수소 전구체가 플라즈마에 의해 중합되고 기판의 표면 상에 증착하는 경우에 얻어질 수 있되, 상기 가스 전구체는 중합을 개시하도록 플라즈마 가스 방전에 의해 제공되는 에너지에 의해 활성화되거나 단편화된다. 최종 중합체 재료는 일시적으로 (예를 들어, 초기) 유동성 거동을 나타낼 수 있다. 증착 단계가 완료되고/완료되거나 짧은 시간(예, 약 3.0초) 후에, 막이 더 이상 흐르지 않을 수 있고, 오히려 고형화되고, 따라서 별도의 고형화 공정이 사용되지 않을 수 있다.

[0031] 본 개시에서, 변수의 임의의 두 수치가 상기 변수의 실행 가능한 범위를 구성할 수 있고, 표시된 임의의 범위는 끝점을 포함하거나 배제할 수 있다. 추가적으로, 표시된 변수의 임의의 값은 ("약"의 표시 여부에 관계없이) 정확한 값 또는 대략적인 값을 지칭할 수 있고 등가를 포함할 수 있으며, 일부 구현예에서는 평균, 중간, 대표, 다수 등을 지칭할 수 있다. 또한, 본 개시에서, 용어 "포함한", "의해 구성되는", 및 "갖는"은 일부 구현예에서 "통상적으로 또는 대략적으로 포함하는", "포함하는", "본질적으로 이루어지는", 또는 "이루어지는"을 독립적으로 지칭할 수 있다. 본 개시에서, 임의의 정의된 의미는 일부 구현예에서 보통이고 관습적인 의미를 반드시 배제하는 것은 아니다.

[0032] 이제 도면으로 돌아가면, 도 1은 본 개시의 예시에 따른 예시적 방법(100)을 나타낸다. 방법(100)은 반응 챔버 내에 기판을 제공하는 단계(102), 표면 위에 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 단계(104)(상기 하나 이상의 제1 탄소 층 중 적어도 하나는 제1 유동성을 가짐), 원하는 횟수(예, 1 내지 14) 동안 단계(104)를 선택적으로 반복하는 루프/단계(106), 및 그 다음 하나 이상의 탄소 층 위에 제2 초기 유동성을 갖는 제2 탄소 층을 형성하는 단계(108)를 포함한다. 이하에서 더욱 상세히 설명되는 바와 같이, 단계(104 및/또는 108)의 예시는 원하는 특성을 갖는 제1 및 제2 탄소 층을 형성하기 위해 초기에 유동성 탄소 재료를 플라즈마 공정으로 처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0033] 반응 챔버 내에 기판을 제공하는 단계(102) 동안에, 기판은 기상 반응기의 반응 챔버 내에 제공된다. 본 개시의 예에 따라, 반응 챔버는 원자층 증착(ALD)(예, 플라즈마 강화 ALD(PEALD)) 반응기 또는 화학 기상 증착(CVD)(예, 플라즈마 강화 CVD(PECVD)) 반응기와 같은 주기적 증착 반응기의 일부를 형성할 수 있다. 본원에 설명된 방법의 다양한 단계는 단일 반응 챔버 내에 수행될 수 있거나 클러스터 툴의 반응 챔버와 같은 다수의 반응 챔버 내에서 수행될 수 있다. 방법(100)을 사용하기에 적절한 예시적인 반응 챔버는 도 6과 연관하여 아래에 보다 상세히 논의된다.

[0034] 단계(102) 동안에, 기판은 원하는 온도로 될 수 있고/있거나 원하는 압력, 예컨대 후속 단계에 적절한 온도 및/또는 압력이 될 수 있다. 예로서, 반응 챔버 내에서 (예를 들어, 기판 또는 기판 지지부의) 온도는 약 100° C 이하-예를 들어, 주변 온도 내지 약 100° C일 수 있다. 반응 챔버 내 압력은 약 200 Pa 내지 약 1,250 Pa일 수 있다. 본 개시의 특정 예시에 따라, 기판은 하나 이상의 피처를 포함한다. 일부 경우에, 피처는 기판의 표면으로부터 연장될 수 있다. 이들 경우에, 리세스 또는 트렌치(예, 다중 트렌치 구조체)가 피처 사이에 형성될 수

있다.

[0035] 도 1 및 도 2를 참조하면, 단계(102) 중에 제공된 예시적인 기판(230)은, 층 또는 벌크 재료(201) 및 피처(204 및 208)와, 이들 사이에서 층 또는 벌크 재료(201)의 위에 형성된 리세스(또는 트렌치)(206)을 포함할 수 있다. 도 2에 나타낸 바와 같이 단계(104) 동안, 제1 초기 유동성을 갖는 미처리(예, 초기 유동성) 제1 탄소 층(212)이 피처(204, 208)에 걸쳐 등각성으로 증착되어 구조체(232)를 형성할 수 있다. 이하에서 설명되는 바와 같이, 미처리 제1 탄소 층(212)은 처리될 수 있고, (예를 들어, 처리를 포함하는) 단계(104)는 반복되어 구조체(234)를 형성할 수 있으며, 이는 복수의 제1 탄소 층(210) 및 미처리 제1 탄소 층(212)을 포함한다.

[0036] 미처리된 제1 탄소 층(212)은 활성화된 종(214)을 사용하여 제1 처리 공정으로 처리되어 하나 이상의 처리된 제1 탄소 층(211) 및 구조체(236)를 형성할 수 있다.

[0037] 단계(104)에서의 제1 처리 공정은, 미처리 제1 탄소 층(212)을 처리하는 데 사용되는 이온 에너지 및 플럭스를 포함할 수 있다.

[0038] 도 1 및 도 2를 더 참조하면, 단계(108) 동안, 제2 탄소 층은 하나 이상의 처리된 제1 탄소 층(211) 위에 형성된다. 보다 구체적으로, 제2 탄소 층은, (예를 들어, 초기 유동성) 미처리 제2 탄소 층(216)을 먼저 증착하여 구조체(238)를 형성함으로써 형성될 수 있다. 예시적인 구현예에서, 미처리 제2 탄소 층(216)은 제2 초기 유동성을 가지며, 이는 단계(104)에서 형성된 미처리 제1 탄소 층(212)의 제1 초기 유동성보다 크다. 유동성은, 예를 들어 초기 점성 재료의 두께에 따라 달라질 수 있으며; 예를 들어 더 두꺼운 초기 점성 재료가 더 큰 유동성을 나타낼 수 있다. 따라서, 소정의 구현예에서 미처리 제2 탄소 층(216)은 하나 이상의 미처리 제1 탄소 층(212)보다 두껍다. 미처리 제1 탄소 층(212) 및 미처리 제2 탄소 층(216)의 두께는, 증착 시간 및 증착 플라즈마를 형성하기 위해 사용되는 전력과 같은 공정 파라미터로 제어될 수 있다. 소정의 구현예에서, 미처리 제2 탄소 층(216)은, 증착 시간이 더 길고/길거나, 증착 전력이 미처리 제1 탄소 층(212)의 증착 전력보다 더 큰 경우에, 더 두껍게 만들어질 수 있고, 따라서 더 유동적일 수 있다. 구조체(240)에 의해 나타낸 바와 같이 단계(108) 동안, 미처리 제2 탄소 층(216)은 제2 활성화된 종(218)을 포함하는 제2 처리 공정으로 처리되어, 처리된 제2 탄소 층(220)을 형성한다. 제2 처리 공정은, 처리된 제2 탄소 층(220)을 형성하기 위해 미처리된 제2 탄소 층(216)을 처리하는 데 사용되는, 이온 에너지 및 플럭스를 포함할 수 있다. 소정의 구현예에서, 단계(108)의 제2 처리 공정은 단계(104)의 제1 처리 공정보다 더 큰 이온 에너지 및/또는 플럭스를 가질 수 있다. 예를 들어, 단계(108) 동안의 플라즈마 전력 및/또는 플라즈마 시간은, 모든 탄소 층(216)이 처리되도록, 단계(104) 동안의 플라즈마 전력 및/또는 플라즈마 시간보다 클 수 있다.

[0039] 도 3은 본원에서 설명된 바와 같이 탄소 층, 예를 들어 제1 또는 제2 탄소 층을 형성하는 예시적인 방법(300)을 나타낸다. 방법(300)은 방법(100)의 단계(104) 및/또는 단계(108)에 사용될 수 있다. 단계(108)에서 제2 탄소 층이 단계(104)에서 형성된 제1 탄소 층보다 초기에 더 유동적일 수 있도록, 아래에 열거된 방법(300)에 대한 상이한 공정 파라미터가 변경될 수 있다.

[0040] 방법(300)은, 탄소 전구체를 반응 챔버에 제공하는 단계(302) 및 플라즈마를 반응 챔버에 제공하는 단계(304), 및 처리 단계(306)를 포함한다. 또한, 방법(300)은 하나 이상의 불활성 가스를 반응 챔버에 제공하고/제공하거나 하나 이상의 반응물 또는 캐리어 가스를 반응 챔버에 제공하는 단계를 포함할 수 있다. 하나 이상의 불활성 가스는, 예를 들어 아르곤, 헬륨, 및 질소 중 하나 이상을 임의의 조합으로 포함할 수 있다. 특정 예로서, 불활성 가스는 헬륨이거나 헬륨을 포함한다. 반응 챔버로의 불활성 가스의 유량은, 약 500 sccm 내지 약 8,000 sccm일 수 있다. 불활성 가스는 반응 챔버로 활성 종을 제공하고, 반응 챔버로부터 퍼지 반응물 및/또는 부산물을 퍼지하고/퍼지하거나, 반응 챔버로 전구체의 전달을 보조하기 위한 캐리어 가스로서 사용될 수 있다.

[0041] 단계(302)에서, 탄소 층을 형성하기 위한 탄소 전구체가 반응 챔버 내로 도입되고, 일례로, 탄소 전구체는 불활성/캐리어 가스와 함께 반응 챔버 내로 도입된다. 예시적인 전구체는, 화학식 $C_xH_yN_zO_a$로 표현된 화합물을 포함하되, x는 2 이상의 자연수이고, y는 자연수이고, z는 0 또는 자연수이고, a는 0 또는 자연수이다. 예를 들어, x는 약 2 내지 약 15 범위일 수 있고, y는 4 내지 약 30 범위일 수 있고, z는 약 0 내지 약 10일 수 있고, a는 약 0 내지 05 범위일 수 있다. 전구체는, 두 개 이상의 탄소 원자 및 하나 이상의 수소 원자를 갖는 사슬 또는 환형 분자를 포함할 수 있으며, 분자는 상기 화학식으로 표시된다. 특정 예시로서, 전구체는 하나 이상의 환형(예, 방향족) 구조 및/또는 적어도 하나의 이중 결합(일부 경우에 두 개 이상 또는 세 개 이상의 이중 결합을 포함함)을 갖는 화합물일 수 있거나 이를 포함할 수 있다. 특정 예로서, 탄소 전구체는 1,3,5, 트리메틸벤젠 또는 2,4,6, 트리메틸피리딘이거나 이를 포함할 수 있다.

[0042] 탄소 전구체 공급원으로부터 반응 챔버로의 탄소 전구체의 유량은 다른 공정 조건에 따라 달라질 수 있다. 예로서, 유량은 약 100 sccm 내지 약 3,000 sccm일 수 있다. 유사하게, 탄소 전구체를 반응 챔버에 제공하는 각각의 단계의 지속 시간은 다양한 고려 사항에 따라 달라질 수 있다. 예로서, 지속 시간은 약 1.0초 내지 약 35.0초의 범위일 수 있다.

[0043] 도 3을 계속 참조하면, 단계(304) 중에, 증착 플라즈마가 상기 반응 챔버 내에 형성되어 기판의 표면 상에 초기 점성 탄소 재료를 형성한다. 일단 탄소 전구체가 반응 챔버에 제공되고 플라즈마가 형성되면, 탄소 전구체는 여기된 종을 사용하여 초기 점성(유동성) 재료로 변환된다. 초기 점성 탄소 재료는, 예를 들어 여기된 종과의 추가 반응을 통해 탄소 층이 될 수 있다. 탄소 층은 고형분 또는 실질적으로 고형분일 수 있다. 단계(302) 동안 플라즈마를 점화하고 유지하기 위해 사용되는 전력은, 약 50 W 내지 약 800 W 범위일 수 있다. 전력의 주파수는 약 1 MHz 내지 약 10 GHz 범위일 수 있다. 이러한 일 구현예에서, 플라즈마를 점화하고 유지하는 데 사용되는 전력은, 제1 탄소 층에서 플라즈마를 점화하고 유지하는 데 사용되는 전력보다, 제2 탄소 층에서 더 높을 수 있어서, 제2 탄소 층은 더 두껍고, 더 유동성이 있고/있거나 사이클 당 더 높은 성장을 나타낸다.

[0044] 제1 층 및 제2 층의 두께는, 증착 시간 및 전력과 같은 공정 파라미터로 제어될 수 있다. 예를 들어, 제2 탄소 층을 갖는 증착 시간은 제1 탄소 층을 갖는 증착 시간보다 더 길 수 있고, 이는 더 두껍고 더 점성인 제2 탄소 층을 생성한다.

[0045] 단계(306) 동안에, 탄소 층은 활성화된 종(예를 들어, 플라즈마(예, 무선 주파수 및/또는 마이크로파 플라즈마)를 사용하여 형성됨)으로 처리되어, 예를 들어 탄소 층의 증가된 밀도 및/또는 경도를 형성할 수 있다. 직접식 플라즈마 및/또는 원격식 플라즈마가 활성화 종을 형성하기 위해 사용될 수 있다.

[0046] 단계(306)는 불활성 가스로부터 활성화된 종을 형성하는 단계를 포함할 수있다. 플라즈마를 형성하기 위해 사용되는 전력은 약 50 W 내지 약 800 W 범위일 수 있다. 전력의 주파수는 약 1 MHz 내지 약 10 GHz 범위일 수 있다.

[0047] 일부 경우에, 불활성 가스는 반응 챔버로 연속적으로 흐를 수 있고, 활성화 종은 플라즈마를 형성하기 위해 사용되는 전력을 순환시킴으로써 주기적으로 형성될 수 있다. 처리 단계를 위한 종의 형성은, 하나 이상의 상이한 단계 동안에 사용된 동일한 반응 챔버에서 형성될 수 있거나, 동일한 클러스터 툴의 다른 반응 챔버와 같이 별도의 반응 챔버일 수 있다.

[0048] 단계(302-306) 동안 반응 챔버 내의 온도는 100° C 이하(예를 들어, 주변 온도와 100° C 사이)일 수 있다. 처리용 종 형성 동안의 반응 챔버 내 압력은 약 200 Pa 내지 약 1,250 Pa 범위일 수 있다.

[0049] 전술한 바와 같이, 제2 탄소 층은 바람직하게는 제1 탄소 층 중 하나 이상보다 더 두껍고 더 점성일 수 있다. 이들 경우에, 제2 탄소 층은 제1 층을 갖는 것들보다 더 높은 에너지 및/또는 더 높은 플럭스를 갖는 이온에 의해 처리될 수 있어서, 이온은 제2 탄소 층의 재료의 바닥에 도달하여 전체 제2 탄소 층을 처리할 수 있다.

[0050] 본원에 기술된 다양한 방법의 단계는 중첩될 수 있고, 전술한 순서로 수행될 필요는 없다. 또한, 일부 경우에, 다양한 단계 또는 이의 일부가 다음 단계로 진행하는 방법에 앞서 한 번 이상 반복될 수 있다. 예를 들어, 단계(302 및 304)는 방법(300)이 단계(306)로 진행하기 전에 일 회 이상, 예를 들어 약 1 내지 약 20회 반복될 수 있다(반복 단계(308)). 유사하게, 단계(302-306)(단계(308)를 반복하거나 반복하지 않음)는 다음 단계(예, 방법(100)의 다음 단계)로 진행하기 전에 여러 번 반복(310)될 수 있다.

[0051] 도 4는 방법(100) 및/또는 방법(300)과 함께 사용하기에 적합한 예시적인 시간 순서 다이어그램을 나타낸다. 도 4는 탄소 전구체, 및 플라즈마 전력 펄스(이 공정에서 사용되는 전력의 일례는 RF 전력임)를 나타내고, 여기서 가스 및/또는 플라즈마 전력은 미처리 제1 탄소 층(212) 및 미처리 제2 탄소 층(216)에 대한 펄스 기간 동안 및 증착된 재료를 처리하기 위한 펄스 기간 동안 반응 챔버에 제공된다. 전술한 바와 같이, 불활성 가스는 반응 챔버에 연속적으로 제공될 수 있고, 본원에 설명된 바와 같은 활성화 종을 형성하는 데 사용될 수 있다. 불활성 가스는, 탄소 전구체를 반응 챔버에 도입하기 위한 캐리어 가스로서 또한 사용될 수 있다. 펄스의 폭은 반드시 각 펄스와 연관된 시간의 양을 나타내는 것은 아닐 수 있으며; 나타낸 펄스는 다양한 펄스의 상대적인 시작 시간을 예시할 수 있다. 유사하게, 예시된 펄스의 높이는 반드시 특정 진폭 또는 값을 나타내는 것은 아닐 수 있지만, 상대적으로 크고 작은(예, 온 및 오프) 값을 나타낼 수 있다. 이들 예시는 단순히 예시적인 것이며, 본 개시의 범주 또는 청구범위를 제한하려는 것이 아니다.

[0052] 전력(예, RF 전력) 하위 순서(412)는, 미처리 제1 탄소 층(212)을 증착하기 위한 하나 이상의 제1 탄소 층 증착

펄스 기간(404), 및 미처리 제1 탄소 층(212)을 처리하기 위한 하나 이상의 제1 탄소 처리 펄스 기간(406)을 포함할 수 있다. 이들 구현예의 예시에 따라, 다수의 제1 탄소 층 증착 펄스 기간(404) 및 제1 탄소 처리 펄스 기간(406)의 수는, 바람직하게는 동일하고, 약 1 내지 약 150의 범위일 수 있다. 전력 하위 순서(412)는 또한 미처리 제2 탄소 층(216)을 증착하기 위한 제2 탄소 층 증착 펄스 기간(408), 및 미처리 제2 탄소 층(216)을 처리하기 위한 제2 탄소 층 처리 펄스 기간(410)을 포함한다. 도 4에 도시된 구현예는, 제2 탄소 층 증착 펄스 기간(408)이 제1 탄소 층 증착 펄스 기간(404)보다 큰, 바람직한 구현예를 나타낸다. 도 4는, 또한 제2 탄소 층 처리 펄스 기간(410)에 사용된 전력 및/또는 펄스 기간이, 제1 탄소 층 처리 펄스 기간(406)에 사용된 전력 및 펄스 기간보다 큰 바람직한 구현예를 도시한다.

[0053] 전술한 바와 같이, 순서(400)의 예시적인 구현예는 제1 탄소 층 및 제2 탄소 층 증착 펄스 기간(404 및 408) 중 하나 이상 및/또는 제1 탄소 층 및 제2 탄소 층 처리 펄스 기간(406 및 410) 중 하나 이상 동안에, 불활성 가스를 반응 챔버에 연속적으로 공급하는 단계를 포함한다. 불활성 가스는 제1 탄소 층 증착 펄스 기간(404) 이전에 반응 챔버에 제공될 수 있고, 마지막 제2 탄소 층 처리 펄스 기간(410) 이후에 종료될 수 있다.

[0054] 순서(400)는 또한, 하나 이상의 제1 탄소 층을 형성하는 각각의 단계를 위해 전구체 펄스 기간(402) 동안 반응 챔버에 탄소 전구체를 제공하고, 제2 탄소 층을 형성하기 위한 전구체 펄스 기간(414) 동안 탄소 전구체를 반응 챔버에 제공하기 위한, 전구체 하위 순서(420)를 포함할 수 있다. 전구체 펄스 기간(402)은, 예를 들어 약 1초 내지 약 35초의 범위일 수 있다. 전구체 펄스 기간(414)은, 예를 들어 약 3초 내지 약 60초의 범위일 수 있다. 각각의 전구체 펄스 기간(402)은 시간이 동일하거나 변할 수 있고; 전구체 펄스 기간(414)은 바람직하게는 전구체 펄스 기간(402)보다 크다.

[0055] 반응 챔버로의 탄소 전구체의 흐름이 시작된 후(펄스(402 또는 414)), 제1 탄소 층 및 제2 탄소 층 증착 펄스 기간(404 및 408) 중 하나 이상 동안에 플라즈마를 형성하기 위한 전력이 펄스 기간 동안 제공될 수 있다. 본원에서, 불활성 가스 및 탄소 전구체 둘 모두는 플라즈마가 점화/형성될 시 반응 챔버에 제공될 수 있다. 제1 탄소 층 및 제2 탄소 층 증착 펄스 기간(404, 408)은, 예를 들어 약 1초 내지 약 30초의 범위일 수 있다. 제1 탄소 층 증착 펄스 기간(404) 각각은 동일한 시간 또는 다양한 시간일 수 있고; 제2 탄소 층 증착 펄스 기간(408)은 제1 탄소 층 증착 펄스 기간(404)보다 클 수 있다.

[0056] 본 예시에 나타낸 바와 같이, 전구체 펄스 기간(402)은 제1 탄소 층 및 제2 탄소 층 처리 펄스 기간(406 및 410) 전에 중지된다. 일단 탄소 전구체가 반응 챔버로 흐르고 플라즈마 전력이 중지되면, 반응 챔버는 퍼지 기간 동안에 퍼지될 수 있다. 퍼지 기간은, 예를 들어 약 5초 내지 약 30초의 범위일 수 있다. 각각의 퍼지 기간은 동일하거나 시간에 따라 달라질 수 있다.

[0057] 증착 펄스 기간(404 및 408) 동안에 전력(예를 들어, 전극에 인가됨)은 약 50 W 내지 약 800 W의 범위일 수 있다. 본 발명의 일 구현예는 증착 펄스 기간(404) 동안의 전력이 증착 펄스 기간(408) 동안의 전력과 동일하다는 것을 개시한다. 처리 펄스 기간은 약 1초 내지 약 30초의 범위일 수 있다.

[0058] 증착 펄스 기간(404 및 408) 후, 플라즈마 전력은, 처리 펄스 기간(406 및 410) 동안에 활성화 종으로 탄소 재료를 처리하기 위해 원하는 레벨까지 증가할 수 있다. 반응 챔버 내의 전력 레벨 및 압력은 전술한 바와 같을 수 있다. 처리 펄스 기간(406 및 410)은, 예를 들어 약 1초 내지 약 30초의 범위일 수 있다. 예시적인 구현예에서, 각각의 처리 펄스 기간(406)은 시간이 동일하거나 달라질 수 있는 반면, 처리 펄스 기간(410)은 처리 펄스 기간(406)보다 크다. 이온 에너지를 제어하기 위해, 처리 펄스 기간 동안 플라즈마 전력의 주파수가 변할 수 있다.

[0059] 하나 이상의 처리 펄스 기간(406 및 410)에 활성화 종으로 탄소 재료를 처리하는 단계 이후, 반응 챔버는 제2 퍼지 기간 동안에 퍼지될 수 있다. 제2 퍼지 기간은, 예를 들어 약 10초 내지 약 70초의 범위일 수 있다. 각각의 제2 퍼지 기간은 동일하거나 시간에 따라 달라질 수 있다.

[0060] 도 5는 본 개시의 예시적인 구현예에 따른 다중 트렌치 구조체(512 및 514)를 나타낸다. 구조체(512)는 (예를 들어, 방법(300)을 사용하여 형성된) 기판(510)의 트렌치(502) 내에 하나 이상의 제1 탄소 층(516)을 나타낸다. 하나 이상의 제1 탄소 층(516)을 형성하는 데 사용되는 초기 유동성 탄소의 증착 속도는, 사이클 당 1 내지 10 nm의 제1 성장을 나타낼 수 있다. 하나 이상의 제1 탄소 층 각각은 제1 처리 공정(520)으로 처리될 수 있다. 그 다음, 하나 이상의 제2 탄소 층은, 적어도 사이클 당 제1 성장의 2배인 사이클 당 성장으로, 제2 초기 유동성 탄소 재료를 증착함으로써, 트렌치(504)를 충진하기 위해 사용될 수 있다. 그 다음, 제2 초기 유동성 탄소 재료는 제2 처리 공정(522)으로 처리되어 구조체(514)를 형성할 수 있다. 예시적인 구현예에서, 제1 및 제2 처리 공

정에 의한 처리에 노출된 유동성 탄소 재료의 두께는, 구조체(512 및 514) 사이에서 유사할 수 있거나, 제2 층은 제1 탄소 층 중 하나 이상보다 두꺼울 수 있다.

[0061] 도 6은, 본 개시의 예시적 구현예에 따라 반응기 시스템(시스템으로 단순히 자주 지칭됨)(600)을 나타낸다. 반응기 시스템(600)은, 본원에 설명된 하나 이상의 단계 또는 하위 단계를 수행하고/수행하거나 본원에 설명된 하나 이상의 구조체 또는 이의 부분을 형성하기 위해 사용될 수 있다.

[0062] 시스템(600)은, 반응 챔버(3)의 내부(11)(반응 구역)에서 서로 평행하게, 그리고 서로 마주하는 한 쌍의 전기 전도성 평판 전극(4, 2)을 포함한다. 예를 들어, 전원(25)에서 하나의 전극(예, 전극(4))으로 HRF 전력(예, 13.56 MHz 또는 27 MHz)을 인가하고 다른 전극(예, 전극(2))을 전기적으로 접지함으로써, 플라즈마는 반응 챔버(3) 내에서 여기될 수 있다. 온도 조절기가 하부 스테이지(2)(하부 전극)에 제공되고, 그 위에 배치된 기판(1)의 온도는 원하는 온도로 유지될 수 있다. 전극(4)은, 샤워 플레이트 같은 가스 분배 장치로서 기능할 수 있다. 반응물 가스, 희석 가스(존재하는 경우), 전구체 가스 및/또는 기타는 각각 가스 라인(20), 가스 라인(21), 및 가스 라인(22) 중 하나 이상과 샤워 플레이트(4)를 통해 반응 챔버(3) 내에 도입될 수 있다. 세 개의 가스 라인으로 나타냈지만, 반응기 시스템(600)은 임의 적절한 개수의 가스 라인을 포함할 수 있다. 가스 라인(20)은 탄소 전구체 공급원(29)에 결합될 수 있고, 가스 라인(21)은 불활성 가스 공급원(27)에 결합될 수 있고, 가스 라인(22)은 다른 가스 공급원(28)에 결합될 수 있다.

[0063] 반응 챔버(3)에 배기 라인(7)을 갖는 원형 덕트(13)가 제공되고, 이를 통해 반응 챔버(3)의 내부(11)에 있는 가스가 배기될 수 있다. 추가적으로, 반응 챔버(3) 아래에 배치된 이송 영역(5)은, 이송 영역(5)의 내부(이송 구역)(16)를 통해 반응 챔버(3)의 내부(11)로 밀봉 가스를 유입하기 위한 밀봉 가스 라인(24)을 구비하며, 반응 구역과 이송 구역을 분리하기 위한 분리 판(14)이 제공된다(웨이퍼가 이송 영역(5)으로 또는 이송 영역으로부터 이송되는 게이트 밸브는 본 도면에서 생략됨). 이송 영역은 배기 라인(6)이 또한 구비된다. 일부 구현예에서, 증착 및 처리 단계는 동일한 반응 공간에서 수행되어, 제1 및/또는 제2 탄소 층에 대한 두 개 이상의(예, 모든) 단계(예, 증착, 처리를 포함한 단계)는, 기판을 공기 또는 다른 산소 함유 대기에 노출시키지 않고 연속적으로 수행될 수 있다.

[0064] 일부 구현예에서, 불활성 또는 캐리어 가스의 반응 챔버(3)로의 연속적인 흐름은, 캐리어 가스 라인이 전구체 리저버(용기)를 갖는 우회 라인을 구비하고 메인 라인과 우회 라인이 스위칭되는, 유동-통과 시스템(FPS)을 이용하여 달성될 수 있고, 캐리어 가스만을 반응 챔버에 공급하고자 할 때에는 우회 라인이 닫히고, 반면 캐리어 가스와 전구체 가스 모두를 반응 챔버에 공급하고자 할 때에는 메인 라인이 닫히게 되어, 캐리어 가스는 우회 라인을 통해 흐르고 전구체 가스와 함께 용기로부터 흘러 나온다. 이 방식으로, 캐리어 가스는 반응 챔버 내로 연속해서 흐를 수 있고, 메인 라인과 우회 라인 사이를 스위칭함으로써, 실질적으로 반응 챔버의 압력 요동 없이, 전구체 가스를 펄스로 운반할 수 있다.

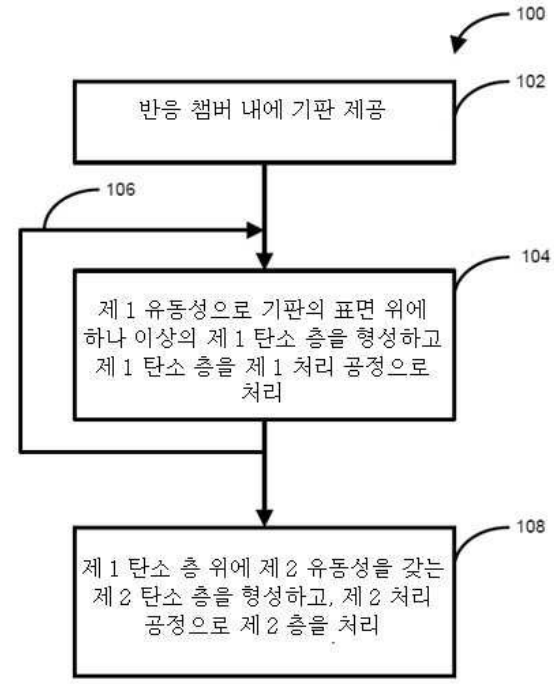
[0065] 장치는, 본원에 설명된 하나 이상의 방법 단계를 수행하도록 달리 구성되거나 프로그래밍된 하나 이상의 제어기(들)(26)를 포함할 수 있음을 당업자는 이해할 것이다. 제어기(들)는, 당업자가 이해하는 바와 같이, 다양한 전력원, 가열 시스템, 펌프, 로보틱스, 및 반응기의 가스 유량 제어기 또는 밸브들과 통신한다. 예로서, 제어기는 하나 이상의 반응 챔버 중 적어도 하나 내로 탄소 전구체의 가스 흐름을 제어하여 제1 탄소 층 및 제1 탄소 층 위에 놓이는 제2 탄소 층을 형성하도록 구성될 수 있으며, 여기서 제2 탄소 층의 유동성 및/또는 두께는 제1 탄소 층의 유동성 및/또는 두께보다 크다. 제어기는, 상기 제1 탄소 층을 제1 이온 에너지 레벨 및 제1 플럭스로 처리하는 제1 플라즈마 공정을 제어하도록 추가로 구성될 수 있고, 제어기는 상기 제2 탄소 층을 제2 이온 에너지 레벨 및 제2 플럭스로 처리하는 제2 플라즈마 공정을 제어하도록 구성되며, 제2 이온 에너지 레벨이 제1 이온 에너지 레벨보다 크고/크거나 제2 플럭스가 제1 플럭스보다 크다.

[0066] 일부 구현예에서, 듀얼 챔버 반응기(서로 근접하게 배치된 웨이퍼를 공정 처리하기 위한 두 개의 섹션 또는 컴파트먼트)가 이용될 수 있고, 반응물 가스 및 귀가스는 공유된 라인을 통해 공급될 수 있는 반면에 전구체 가스는 공유되지 않는 라인을 통해 공급된다.

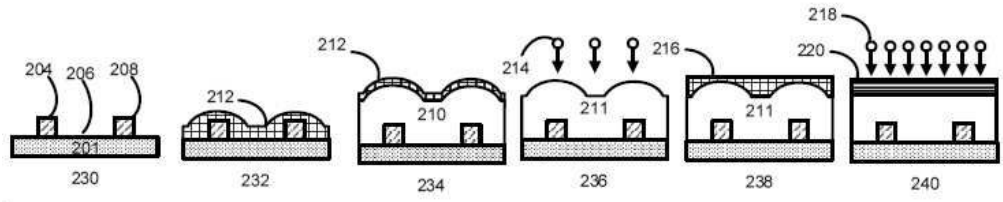
[0067] 위에 설명된 본 개시의 예시적 구현예는 본 발명의 범주를 제한하지 않는데, 그 이유는 이들 구현예는 본 발명의 구현예의 예시일 뿐이기 때문이다. 임의의 균등한 구현예는 본 발명의 범주 내에 있도록 의도된다. 확실하게, 본원에 나타내고 설명된 것 외에도, 설명된 요소의 대안적인 유용한 조합과 같은 본 발명의 다양한 변경은 설명으로부터 당업자에게 분명할 수 있다. 이러한 변경 및 구현예도 첨부된 청구범위의 범주 내에 있는 것으로 의도된다.

## 도면

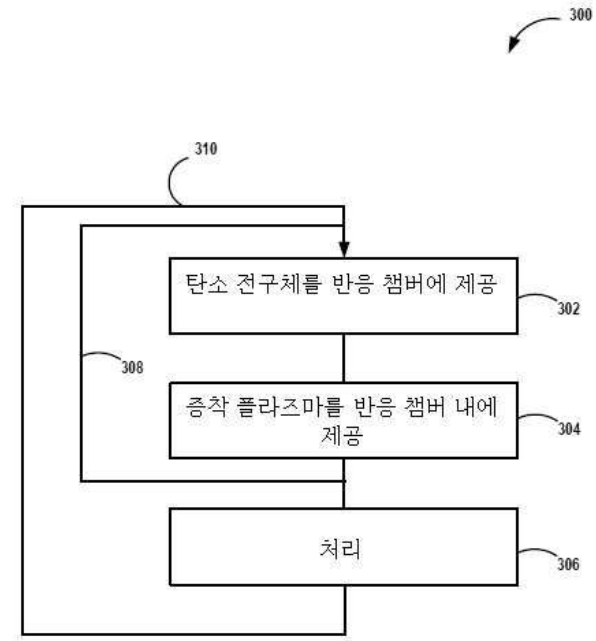
### 도면1


100
102
반응 챔버 내에 기판 제공
106
104
제 1 유동성으로 기판의 표면 위에 하나 이상의 제 1 탄소 층을 형성하고 제 1 탄소 층을 제 1 처리 공정으로 처리
108
제 1 탄소 층 위에 제 2 유동성을 갖는 제 2 탄소 층을 형성하고, 제 2 처리 공정으로 제 2 층을 처리

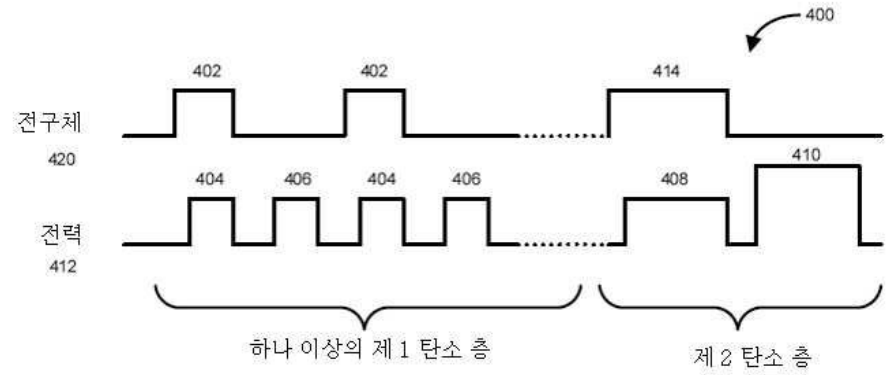
### 도면2


204
206
208
201
230
212
232
212
210
234
214
211
236
216
211
238
218
220
240

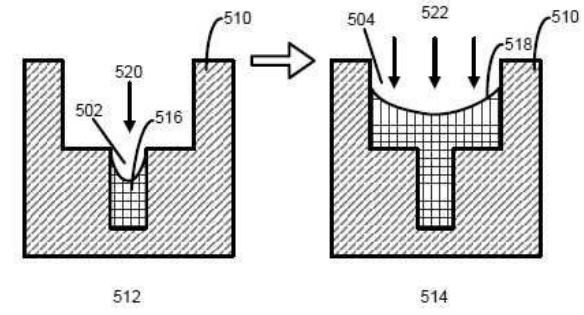
도면3


300
310
탄소 전구체를 반응 챔버에 제공
302
308
증착 플라즈마를 반응 챔버 내에 제공
304
처리
306

도면4


400
402
402
414
전구체
420
410
404
406
404
406
408
전력
412
하나 이상의 제 1 탄소 층
제 2 탄소 층

도면5


510
520
502
516
504
522
518
510
512
514

도면6

