



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0140388  
(43) 공개일자 2020년12월15일

- |   |  |
|---|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/>C23C 16/503 (2006.01) C23C 16/26 (2006.01)<br/>C23C 16/505 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)<br/>H01L 21/033 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류<br/>C23C 16/503 (2013.01)<br/>C23C 16/26 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2020-7034601</p> <p>(22) 출원일자(국제) 2018년10월16일<br/>심사청구일자 없음</p> <p>(85) 번역문제출일자 2020년12월01일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/US2018/056004</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2019/212592<br/>국제공개일자 2019년11월07일</p> <p>(30) 우선권주장<br/>62/666,205 2018년05월03일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인<br/>어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드<br/>미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050</p> <p>(72) 발명자<br/>벵카타수브라마니안, 에스와라난드<br/>미국 95050 캘리포니아 산타 클라라 바르부르턴 애비뉴 1721 아파트먼트 12<br/>양, 양<br/>미국 92121-1714 캘리포니아 샌 디에고 모어하우스 드라이브 5775<br/>(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인<br/>특허법인 남앤남</p> |
|---|--|

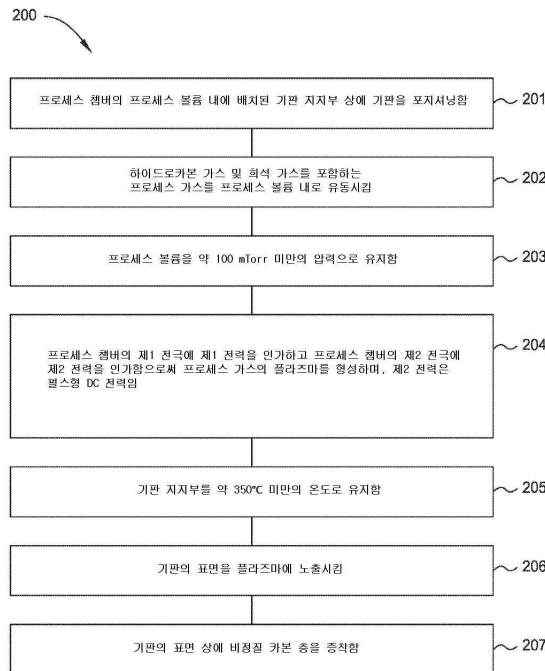
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 패터닝을 위한 고품질 C 막들의 펄스형 플라즈마(DC/RF) 증착

(57) 요약

본 개시내용의 실시예들은, PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition) 프로세스를 사용하여, 기판 상에 이전에 형성된 층들 위를 포함하여 기판 상에 비정질 카본 층을 증착하기 위한 방법들에 관한 것이며, 특히, 본원에서 설명된 방법들은 sp3(다이아몬드형) 카본 대 sp2(그래파이트형) 카본의 높은 비(ratio)를 갖는 비정질 (뒷면에 계속)

대표도 - 도2



카본 층을 증착하는 플라즈마를 생성하기 위해 RF AC 전력과 펄스형 DC 전력의 조합을 활용한다. 방법들은 또한, 더 낮은 프로세싱 압력들, 더 낮은 프로세싱 온도들, 및 더 높은 프로세싱 전력들을 제공하며, 그 각각은 단독으로 또는 조합하여, 증착되는 비정질 카본 층에서의 sp3 카본의 상대적 프랙션(relative fraction)을 추가로 증가시킬 수 있다. 더 높은 sp3 카본 프랙션의 결과로서, 본원에서 설명된 방법들은 종래의 방법들에 의해 증착된 비정질 카본 층들과 비교하여 개선된 밀도, 강성, 에칭 선택성, 및 막 응력을 갖는 비정질 카본 층들을 제공한다.

(52) CPC특허분류

*C23C 16/505* (2013.01)

*H01L 21/02527* (2013.01)

*H01L 21/02592* (2013.01)

*H01L 21/0337* (2013.01)

(72) 발명자

**만나, 프라밋**

미국 94086 캘리포니아 씨니베일 웨스트 워싱턴 애  
비뉴 299 #421

**라마스와미, 카르틱**

미국 95120 캘리포니아 새너 제이 뷰포인트 레인  
10020

**코시자와, 타케히토**

미국 95129 캘리포니아 새너 제이 러피노 테라스  
5116

**말릭, 아비짓 바수**

미국 94539 캘리포니아 프리몬트 마스터스 코트  
47863

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

프로세스 챔버의 프로세스 볼륨 내에 배치된 기관 지지부 상에 기관을 포지셔닝하는 단계;

하이드로카본 가스 및 희석 가스를 포함하는 프로세스 가스를 상기 프로세스 볼륨 내로 유동시키는 단계;

상기 프로세스 볼륨을 약 100 mTorr 미만의 압력으로 유지하는 단계;

상기 프로세스 챔버의 제1 전극에 제1 전력을 인가하고 그리고 상기 프로세스 챔버의 제2 전극에 제2 전력을 인가함으로써 상기 프로세스 가스의 플라즈마를 형성하는 단계 - 상기 제2 전력은 펄스형 DC 전력임 -;

상기 기관 지지부를 약 350°C 미만의 온도로 유지하는 단계;

상기 기관의 표면을 상기 플라즈마에 노출시키는 단계; 및

상기 기관의 표면 상에 비정질 카본 층을 증착하는 단계를 포함하는,  
기관을 프로세싱하는 방법.

#### 청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 비정질 카본 층은 약  $1.8 \text{ g/cm}^3$  초과 밀도를 갖고 그리고 약 150 GPa 초과 영률을 갖는,

기관을 프로세싱하는 방법.

#### 청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 비정질 카본 층은 약 500 MPa 미만의 막 응력을 갖는,

기관을 프로세싱하는 방법.

#### 청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 하이드로카본 가스는,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ,  $\text{C}_4\text{H}_8$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ , 또는 이들의 조합 중 하나를 포함하고, 그리고 상기 하이드로카본 가스 대 상기 희석 가스의 유량비(flowrate ratio)는 약 1:10 내지 약 10:1인,

기관을 프로세싱하는 방법.

#### 청구항 5

제4 항에 있어서,

상기 온도는 약 100°C 미만이고, 그리고 상기 압력은 약 20 mTorr 미만인,

기관을 프로세싱하는 방법.

#### 청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 희석 가스는  $\text{H}_2$ 를 포함하고, 그리고  $\text{H}_2$  대 상기 하이드로카본 가스의 유량비는 약 0.5:1 내지 약 1:10인,

기관을 프로세싱하는 방법.

**청구항 7**

제1 항에 있어서,

상기 제1 전력은, 약 350 kHz 내지 약 100 MHz의 주파수를 갖는 약 500 W 내지 5 kW의 RF AC 전력이고, 그리고 상기 제2 전력은 약 200 W 내지 약 15 kW이고 그리고 약 1 kHz의 주파수로 펄싱되는,

기관을 프로세싱하는 방법.

**청구항 8**

제1 항에 있어서,

상기 제1 전극은 상기 기관 지지부 내에 배치되고, 그리고 상기 제2 전극은 상기 기관 지지부의 맞은편에 배치되고, 그리고 상기 제2 전극은 샤워헤드인,

기관을 프로세싱하는 방법.

**청구항 9**

제1 항에 있어서,

상기 제2 전극은 상기 기관 지지부 내에 배치되고, 그리고 상기 제1 전극은 상기 기관 지지부의 맞은편에 배치되는,

기관을 프로세싱하는 방법.

**청구항 10**

기관을 기관 지지부 상에 포지셔닝하는 단계 - 상기 기관 지지부는 프로세스 챔버의 프로세스 볼륨 내에 배치됨 -;

하이드로카본 가스 및 희석 가스를 포함하는 프로세스 가스를 상기 프로세스 볼륨 내로 유동시키는 단계;

상기 프로세스 볼륨을 약 20 mTorr 미만의 압력으로 유지하는 단계;

상기 프로세스 챔버의 제1 전극에 RF AC 전력을 인가하고 그리고 상기 프로세스 챔버의 제2 전극에 펄스형 DC 전력을 인가함으로써 상기 프로세스 가스의 플라즈마를 형성하는 단계 - 상기 RF AC 전력은, 약 350 kHz 내지 약 100 MHz의 주파수를 갖는 약 500 W 내지 5 kW이고, 상기 펄스형 DC 전력은 약 200 W 내지 약 15 kW임 -;

상기 기관 지지부를 약 100°C 미만의 온도로 유지하는 단계;

상기 기관의 표면을 상기 플라즈마에 노출시키는 단계; 및

상기 기관의 표면 상에 비정질 카본 층을 증착하는 단계를 포함하는,

기관을 프로세싱하는 방법.

**청구항 11**

제10 항에 있어서,

상기 하이드로카본 가스는 CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>, 또는 이들의 조합 중 하나를 포함하는,

기관을 프로세싱하는 방법.

**청구항 12**

제11 항에 있어서,

상기 희석 가스는 H<sub>2</sub>를 포함하고, 그리고 H<sub>2</sub> 대 상기 하이드로카본 가스의 유량비는 약 0.5:1 내지 약 1:10인,

기관을 프로세싱하는 방법.

**청구항 13**

제10 항에 있어서,

상기 제2 전극은 상기 기판 지지부 내에 배치되고, 그리고 상기 제1 전극은 상기 기판 지지부의 맞은편에 배치되는,

기판을 프로세싱하는 방법.

**청구항 14**

기판의 표면 상에 배치된 비정질 카본 층을 포함하며,

상기 비정질 카본 층은 약 1.8 g/cm<sup>3</sup> 초과와 밀도, 약 150 GPa 초과와 영률, 및 약 500 MPa 미만의 막 응력을 갖는,

카본 하드마스크.

**청구항 15**

제14 항에 있어서,

상기 비정질 카본 층은 상기 비정질 카본 층을 관통해 형성된 복수의 개구들을 갖고, 그리고 상기 복수의 개구들 각각은 약 2:1 초과와 높이 대 폭 비를 갖는,

카본 하드마스크.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 개시내용의 실시예들은, PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition) 프로세스를 사용하여, 기판 상에 이전에 형성된 층들 위를 포함하여 기판 상에 비정질 카본 층을 증착하기 위한 방법들에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 비정질 카본으로 형성된 카본 하드마스크들은, 반도체 디바이스 제조에서 기판 표면에 또는 기판 표면의 재료 표면 층에 고 종횡비 개구들(예컨대, 2:1 이상의 높이 대 폭 비)을 형성할 시에 에칭 마스크로서 사용된다. 일반적으로, 막힘(clogging), 홀-형상 왜곡(hole-shape distortion), 패턴 변형, 최상부 임계 치수 확대(top critical dimension blow up), 라인 벤딩(line bending), 및 프로파일 휨(profile bowing)을 포함하여, 고 종횡비 개구들을 형성하는 것과 관련된 프로세싱 문제들은, 종래의 증착된 카본 하드마스크들의 바람직하지 않은 재료 특성들의 결과이다. 예컨대, 더 낮은 재료 밀도와 더 낮은 재료 강성(즉, 영률(Young's modulus)) 중 하나 또는 둘 모두를 갖는 카본 하드마스크들은, 더 높은 밀도 또는 더 높은 강성을 갖는 하드마스크 재료들과 비교할 때 고 종횡비 개구들의 변형을 증가시키는 것으로 알려져 있다.

[0003] 마찬가지로, 하드마스크 재료들과 기판 재료들 사이의 감소된 에칭 선택성은 더 높은 에칭 선택성을 나타내는 하드마스크들과 비교하여 슬릿 패턴 변형 및 라인 벤딩을 증가시킬 수 있다. 높은 막 응력(압축 또는 인장)으로 인해 유사한 문제들이 야기될 수 있다. 또한, CD(critical dimension)들이 축소되고 고 종횡비 개구들의 크기(magnitude)들이 증가됨에 따라, 고 종횡비 개구들을 형성하는 데 사용되는 종래의 증착된 카본 하드마스크의 두께가 또한 증가된다. 불행하게도, 낮은 광학 K(optical K) 및 증가된 두께 중 하나 또는 둘 모두로 인해 더 낮은 투명도를 갖는 하드마스크들은 후속 포토리소그래피 프로세스들에서 오정렬을 야기할 수 있다. 또한, 하드마스크 재료와 하부 기판 재료 사이의 에칭 선택성이 더 낮은 프로세스들은 대개 프로세싱 시간 및 비용을 증가시키는 비교적 더 두꺼운 하드마스크들에 의존한다.

[0004] 따라서, 개선된 하드마스크들, 및 개선된 하드마스크들을 형성하는 방법들이 당해 기술분야에 필요하다.

**발명의 내용**

[0005] 일 실시예에서, 기판을 프로세싱하는 방법이 제공된다. 방법은 프로세스 챔버의 프로세스 볼륨 내에 배

치된 기관 지지부 상에 기관을 포지셔닝하는 단계를 포함한다. 방법은 하이드로카본 가스 및 희석 가스를 포함하는 프로세스 가스를 프로세스 볼륨 내로 유동시키는 단계를 더 포함한다. 방법은 프로세스 볼륨을 약 100 mTorr 미만의 압력으로 유지하는 단계를 더 포함한다. 방법은 프로세스 챔버의 제1 전극에 제1 전력을 인가하고 그리고 프로세스 챔버의 제2 전극에 제2 전력을 인가함으로써 프로세스 가스의 플라즈마를 형성하는 단계를 더 포함하며, 제2 전력은 펄스형 DC 전력이다. 방법은 기관 지지부를 약 350°C 미만의 온도로 유지하는 단계를 더 포함한다. 방법은 기관의 표면을 플라즈마에 노출시키는 단계를 더 포함한다. 방법은 기관의 표면 상에 비정질 카본 층을 증착하는 단계를 더 포함한다.

[0006] 다른 실시예에서, 기관을 프로세싱하는 방법이 제공된다. 방법은 프로세스 챔버의 프로세스 볼륨 내에 배치된 기관 지지부 상에 기관을 포지셔닝하는 단계를 포함한다. 방법은 하이드로카본 가스 및 희석 가스를 포함하는 프로세스 가스를 프로세스 볼륨 내로 유동시키는 단계를 더 포함한다. 방법은 프로세스 볼륨을 약 20 mTorr 미만의 압력으로 유지하는 단계를 더 포함한다. 방법은 프로세스 챔버의 제1 전극에 RF AC 전력을 인가하고 그리고 프로세스 챔버의 제2 전극에 펄스형 DC 전력을 인가함으로써 프로세스 가스의 플라즈마를 형성하는 단계를 더 포함하며, RF AC 전력은 약 350 kHz 내지 약 100 MHz의 주파수를 갖는 약 500 W 내지 5 kW이고, 펄스형 DC 전력은 약 1 kHz의 주파수로 펄스되는 약 200 W 내지 약 15 kW이다. 방법은 기관 지지부를 약 100°C 미만의 온도로 유지하는 단계를 더 포함한다. 방법은 기관의 표면을 플라즈마에 노출시키는 단계를 더 포함한다. 방법은 기관의 표면 상에 비정질 카본 층을 증착하는 단계를 더 포함한다.

[0007] 또 다른 실시예에서, 카본 하드마스크가 제공된다. 카본 하드마스크는 기관의 표면 상에 배치된 비정질 카본 층을 포함한다. 비정질 카본 층은 약 1.8 g/cm<sup>3</sup> 초과 밀도, 약 150 GPa 초과 영률, 및 약 500 MPa 미만의 막 응력을 갖는다.

**도면의 간단한 설명**

[0008] 본 개시내용의 상기 열거된 특징들이 상세히 이해될 수 있는 방식으로, 앞서 간략히 요약된 본 개시내용의 보다 구체적인 설명이 실시예들을 참조로 하여 이루어질 수 있는데, 이러한 실시예들의 일부는 첨부된 도면들에 예시되어 있다. 그러나, 첨부된 도면들은 본 개시내용의 단지 전형적인 실시예들을 예시하는 것이므로 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다는 것이 주목되어야 하는데, 이는 본 개시내용이 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있기 때문이다.

[0009] 도 1은 일 실시예에 따른, 본원에서 제시된 방법들을 실시하기 위해 사용되는 예시적인 프로세싱 챔버의 개략적인 단면도를 예시한다.

[0010] 도 2는 일 실시예에 따른, 비정질 카본 층을 증착하는 방법의 흐름도를 예시한다.

[0011] 도 3은 일 실시예에 따른, 도 2에서 제시된 방법에 따라 증착된 비정질 카본 층으로 형성된 카본 하드마스크를 예시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0009] [0012] 본 개시내용의 실시예들은, PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition) 프로세스를 사용하여, 기관 상에 이전에 형성된 층들 위를 포함하여 기관 상에 비정질 카본 층을 증착하기 위한 방법들에 관한 것이다. 특히, 본원에서 설명된 방법들은 sp<sup>3</sup>(다이아몬드형) 카본 대 sp<sup>2</sup>(그래파이트형) 카본의 높은 비(ratio)를 갖는 비정질 카본 층을 증착하는 플라즈마를 생성하기 위해 RF AC 전력과 펄스형 DC 전력의 조합을 활용한다. 방법들은 또한, 더 낮은 프로세싱 압력들, 더 낮은 프로세싱 온도들, 및 더 높은 프로세싱 전력들을 제공하며, 그 각각은 단독으로 또는 조합하여, 증착되는 비정질 카본 층에서의 sp<sup>3</sup> 카본의 상대적 프랙션(relative fraction)을 추가로 증가시킬 수 있다. 더 높은 sp<sup>3</sup> 카본 프랙션의 결과로서, 본원에서 설명된 방법들은 종래의 방법들에 의해 증착된 비정질 카본 층들과 비교하여 개선된 밀도, 강성, 에칭 선택성, 및 막 응력을 갖는 비정질 카본 층들을 제공한다.

[0010] [0013] 도 1은 일 실시예에 따른, 본원에서 제시된 방법들을 실시하기 위해 사용되는 예시적인 프로세싱 챔버(100)의 개략적인 단면도이다. 본원에서 설명된 방법들을 실시하기 위해 사용될 수 있는 다른 예시적인 프로세싱 챔버들은, 캘리포니아, 산타클라라의 Applied Materials, Inc.로부터 입수가 가능한 RADION™, PRODUCER®, 및 SYM3™ 프로세싱 장치뿐만 아니라 다른 제조자들로부터의 적합한 증착 챔버들을 포함한다.

[0011] [0014] 프로세싱 챔버(100)는 덮개 조립체(101), 측벽들(102), 및 챔버 베이스(104)를 포함한다. 덮개 조립체

(101)는 챔버 덮개(106), 챔버 덮개(106)에 커플링되고 챔버 덮개(106)와 전기 통신하는 샤워헤드(107), 및 챔버 덮개(106)와 측벽들(102) 사이에 배치된 전기 절연 링(108)을 포함한다. 샤워헤드(107), 측벽들(102), 및 챔버 베이스(104)는 함께 프로세싱 볼륨(105)을 정의한다. 일 실시예에서, 챔버 덮개(106) 및 샤워헤드(107)는 알루미늄과 같은 전기 전도성 재료로 형성된다. 가스 유입구(109)는 챔버 덮개(106)를 관통하여 배치되고 가스 소스(110)에 유동적으로(fluidly) 커플링된다. 복수의 개구들(111)이 관통하여 배치된 샤워헤드(107)는 가스 소스(110)로부터 프로세싱 볼륨(105) 내로 프로세싱 가스들을 균일하게 분배하기 위해 사용된다. 다른 실시예들에서, 프로세싱 챔버(100)는 샤워헤드(107)를 포함하지 않으며, 프로세싱 가스들은 측벽들(102) 또는 챔버 덮개(106)를 관통하여 배치된 하나 이상의 가스 유입구들을 통해 프로세싱 볼륨(105)에 전달된다.

[0012] [0015] 프로세싱 볼륨(105)은 진공 배출구(114)를 통해 진공 소스(112)에 유동적으로 커플링되며, 진공 소스(112)는 하나 이상의 전용 진공 펌프들일 수 있고, 프로세싱 볼륨(105)을 대기 압력 미만의 압력(sub-atmospheric) 컨디션들로 유지하고 프로세싱 동안 프로세싱 볼륨(105)으로부터 프로세싱 가스 및 다른 가스들을 진공배기(evacuate)시킨다. 프로세싱 볼륨(105) 내에 배치된 기관 지지부(115)는 챔버 베이스(104)를 통해 연장되는 이동가능한 지지 샤프트(116) 상에 배치된다. 본원에서, 프로세싱 챔버(100)는, 하나 이상의 측벽들(102) 중 하나의 측벽의 개구(118)를 통해 기관(117)을 기관 지지부(115)로 그리고 기관 지지부(115)로부터 이송하는 것을 용이하게 하도록 구성되며, 개구(118)는 기관 프로세싱 동안 도어 또는 밸브(도시되지 않음)로 밀봉된다.

[0013] [0016] 기관(117)은 하나 이상의 냉각 채널들(120) 및 가열기(119) 중 하나 또는 둘 모두를 사용하여 원하는 프로세싱 온도로 유지된다. 저항성 가열기일 수 있는 가열기(119) 및 하나 이상의 냉각 채널들은 기관 지지부(115)에 배치된다. 하나 이상의 냉각 채널들(120)은 냉각제 소스(도시되지 않음), 이를테면, 비교적 높은 전기 저항을 갖는 개질된 워터 소스(modified water source) 또는 냉매 소스(refrigerant source)에 유동적으로 커플링된다. 가열기(119)는 전력 소스(도시되지 않음)와 전기 통신하며, 전력 소스는 가열기(119)에 전력을 공급하고 기관 지지부(115)의 온도를 상승시키도록 구성된다.

[0014] [0017] 일부 실시예들에서, 하나 이상의 전극들(124)은 기관 지지부(115)의 유전체 재료에 매립된다. 하나 이상의 전극들은 전력 공급부(121)에 전기적으로 커플링된다. 전력 공급부(122)는 샤워헤드(107)에 전기적으로 커플링된다. 샤워헤드를 포함하지 않는 실시예들의 경우, 전력 공급부(122)는 덮개 조립체(106)에 전기적으로 커플링된다. 전력 공급부들(121 및 122) 각각은 CW(continuous wave) RF 전력 공급부, 펄스형 RF 전력 공급부, DC 전력 공급부, 및/또는 펄스형 DC 전력 공급부일 수 있다. 일 실시예에서, 전력 공급부(121)는 CW RF 전력 공급부이고, 전력 공급부(122)는 펄스형 DC 전력 공급부이다. 다른 실시예에서, 전력 공급부(121)는 펄스형 DC 전력 공급부이고, 전력 공급부(122)는 펄스형 RF 전력 공급부이다. 단지 2개의 전력 공급부들(121 및 122)만이 도시되지만, 필요에 따라 더 많은 전력 공급부들이 기관 지지부(115) 또는 덮개 조립체(101)의 전극들에 커플링될 수 있다는 것이 고려된다. 예컨대, 펄스형 DC 전력 공급부들은, 덮개 조립체(101)의 전극들에 커플링된 RF 공급부와 함께, 기관 지지부(115) 및 덮개 조립체(101) 둘 모두의 전극들에 커플링될 수 있다.

[0015] [0018] 일 실시예에서, 전력 공급부(122)로부터의 RF 전력을 덮개 조립체(101)의 하나 이상의 전극들에 제공함으로써, 플라즈마(123)가 프로세싱 볼륨(105)에서 형성되고 유지되며, 이에 의해 용량성 결합 플라즈마(123)를 생성한다. 그런 다음, 전력 공급부(121)로부터의 DC 전력을 기관 지지부(115) 내에 배치된 하나 이상의 전극들에 제공함으로써, 플라즈마(123)가 수정된다. 다른 실시예에서, 플라즈마(123)는 전력 공급부(121)로부터의 RF 전력에 의해 형성 및 유지되고, 전력 공급부(122)로부터의 DC 전력에 의해 수정된다.

[0016] [0019] 도 2는 일 실시예에 따른, 기관의 표면 상에 비정질 카본 층을 증착하는 방법(200)의 흐름도이다. 동작(201)에서, 방법(200)은 기관 지지부 상에 기관을 포지셔닝하는 단계를 포함한다. 기관 지지부는 도 1에서 설명된 프로세싱 챔버(100)와 같은 프로세싱 챔버의 프로세싱 볼륨 내에 배치된다. 동작(202)에서, 방법(200)은 프로세싱 가스를 프로세싱 볼륨 내로 유동시키는 단계를 포함한다. 프로세싱 가스는 카본 소스 가스, 이를테면, 하이드로카본 가스, 예컨대  $CH_4$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_3H_8$ ,  $C_4H_{10}$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_3H_6$ ,  $C_4H_8$ ,  $C_5H_{10}$ , 또는 이들의 조합들을 포함하고, 프로세싱 가스는 또한, 희석 가스, 예컨대 불활성 가스, 이를테면, Ar, He, Ne, Kr, Xe, 또는 이들의 조합들을 포함한다. 일부 실시예들에서, 희석 가스는 불활성 가스들, 이를테면, 희가스(noble gas)들,  $N_2$ ,  $H_2$ , 또는 이들의 조합들을 포함한다.

[0017] [0020] 일부 실시예들에서, 하이드로카본 가스의 유량 대 희석 가스의 유량의 비는 약 1:10 내지 약 10:1, 이를테면, 약 1:5 내지 약 5:1이다. 예컨대, 일 실시예에서,  $C_2H_2$ 의 유량 대 He의 유량의 비는 약 1:3 내지 약 3:1

이다. 일부 실시예들에서, 희석 가스는 H<sub>2</sub>를 포함하며, H<sub>2</sub>의 유량 대 하이드로카본 가스의 유량의 비는 약 0.5:1 내지 약 1:10, 이를테면, 약 1:1 내지 약 1:5이다.

- [0018] [0021] 동작(203)에서, 방법(200)은 프로세싱 볼륨을 약 0.1 mTorr 내지 약 100 mTorr, 이를테면, 약 0.1 mTorr 내지 약 50 mTorr, 또는 약 0.1 mTorr 내지 약 30 mTorr, 또는 약 0.1 mTorr 내지 약 20 mTorr, 또는 약 0.1 mTorr 내지 약 15 mTorr, 또는 약 0.1 mTorr 내지 약 10 mTorr, 또는 약 100 mTorr 미만, 또는 약 50 mTorr 미만, 또는 약 20 mTorr 미만, 또는 약 15 mTorr 미만, 또는 약 10 mTorr 미만의 프로세싱 압력으로 유지하는 단계를 포함한다.
- [0019] [0022] 동작(204)에서, 방법(200)은 프로세싱 챔버의 제1 전극에 제1 전력을 인가하고 그리고 프로세싱 챔버의 제2 전극에 제2 전력을 인가함으로써 프로세싱 가스의 플라즈마를 형성 및 유지하는 단계를 포함하며, 제2 전력은 펄스형 DC 전력이다. 일 실시예에서, 제1 전극은 기관 지지부 내에 배치된다. 다른 실시예에서, 제1 전극은 기관 지지부의 맞은편에 배치되는데, 이를테면, 프로세싱 챔버의 샤워헤드 또는 챔버 덮개 내에 배치된다. 일 실시예에서, 제1 전력은 약 500 W 내지 약 5 kW, 이를테면, 약 2500 W의 RF AC 전력이다. 제1 전력은 약 350 kHz 내지 약 100 MHz, 이를테면, 2 MHz 또는 13.56 MHz의 주파수를 갖는다.
- [0020] [0023] 일 실시예에서, 제2 전극은 기관 지지부 내에 배치된다. 다른 실시예에서, 제2 전극은 기관 지지부의 맞은편에 배치된다. 일 실시예에서, 제2 전극은 샤워헤드이다. 일 실시예에서, 제2 전력은 약 200 W 내지 약 15 kW이다. 다른 실시예에서, 제2 전력은 약 1 kHz의 주파수로 펄싱된다. 다른 실시예에서, 제2 전력은 약 50%의 듀티 사이클을 갖는다.
- [0021] [0024] 위에서 설명된 바와 같이, 기관 지지부로부터 펄스형 DC 전력을 제공하는 것은 플라즈마 내에서 이온 에너지들의 더 큰 균일성을 유발하며, 이는 결국, 증착되는 비정질 카본 층에서 sp<sup>3</sup> 카본의 더 높은 농도로 이어지는 것으로 여겨진다. 도 3과 관련하여 아래에서 설명된 바와 같이, 더 높은 sp<sup>3</sup> 농도들을 갖는 비정질 카본 층들은 종래의-증착된 비정질 카본 층들과 비교하여 더 높은 밀도, 더 높은 영률, 및 더 낮은 막 응력과 같은 바람직한 특성들을 나타낸다. 추가로, 위에서 설명된 바와 같이, 펄스형 DC 전력을 기관 지지부의 맞은편, 예컨대 제2 전극, 이를테면, 샤워헤드에 제공하는 것은, 제2 전극으로부터의 2차 전자 방출 증가를 유발하며, 이는 증착된 비정질 카본 층의 막 응력을 추가로 감소시킬 수 있는 것으로 여겨진다.
- [0022] [0025] 동작(205)에서, 방법(200)은 기관 지지부 및 그에 따라, 기관 지지부 상에 배치된 기관을 약 -50°C 내지 약 350°C, 이를테면, 약 -50°C 내지 약 150°C, 약 -50°C 내지 약 100°C, 약 -50°C 내지 약 50°C, 약 -25°C 내지 약 25°C의 온도, 또는 약 350°C 미만, 이를테면, 약 200°C 미만, 약 150°C 미만, 100°C 미만, 또는 약 50°C 미만의 온도로 유지하는 단계를 포함한다.
- [0023] [0026] 동작(206)에서, 방법(200)은 기관의 표면을 플라즈마에 노출시키는 단계를 포함한다. 동작(207)에서, 방법(200)은 기관의 표면 상에 비정질 카본 층을 증착하는 단계를 포함한다.
- [0024] [0027] 도 2가 흐름도의 일 예를 예시하지만, 방법(200)의 변형들이 고려된다는 점이 주목되어야 한다. 예컨대, 동작(205)이 동작(202, 203, 또는 204) 전에 발생할 수 있다는 것이 고려된다. 추가적으로, 동작들(202-207) 중 하나 이상이 동시에 발생할 수 있다는 것이 고려된다.
- [0025] [0028] 도 3은 일 실시예에 따른, 도 2에서 제시된 방법에 따라 증착된 카본 하드마스크(303)를 예시한다. 패터닝된 카본 하드마스크로서 도시된 카본 하드마스크(303)는 기관(301)의 패터닝된 표면 상에 배치된 비정질 카본 층(302)을 포함하며, 비정질 카본 층(302)은 비정질 카본 층(302)에 형성된 복수의 개구들(304)을 갖는다. 기관(301), 또는 기관(301)의 하나 이상의 재료 층들은, 결정질 실리콘, 실리콘 산화물, 실리콘 산질화물, 실리콘 질화물, 스트레인드 실리콘(strained silicon), 실리콘 게르마늄, 텅스텐, 티타늄 질화물, 도핑되거나 또는 도핑되지 않은 폴리실리콘, 카본 도핑된 실리콘 산화물들, 실리콘 질화물들, 도핑된 실리콘, 게르마늄, 갈륨 비소, 유리, 사파이어, 및 로우 k 유전체 재료들 중 하나 또는 이들의 조합으로 형성된다.
- [0026] [0029] 비정질 카본 층(302)은 약 1 kÅ 내지 약 40 kÅ, 이를테면, 약 10 kÅ 내지 약 40 kÅ, 또는 약 10 kÅ 내지 약 30 kÅ의 두께, 약 1.8 g/cm<sup>3</sup> 초과 밀도, 및 약 150 GPa 초과 영률을 갖는다. 일 실시예에서, 비정질 카본 층(302)은 약 500 MPa 미만의 인장 또는 압축 막 응력을 갖는다. 일부 실시예들에서, 개구들(304) 각각은 약 2:1 초과, 이를테면, 약 3:1 초과, 약 4:1 초과, 약 5:1 초과, 약 6:1 초과, 약 7:1 초과, 약 8:1 초과, 약 9:1 초과, 또는 약 10:1 초과 종횡비(즉, 높이(306) 대 폭(305)의 비)를 갖는다.
- [0027] [0030] 본원에서 설명된 방법들 및 그러한 방법들에 따라 증착된 비정질 카본 층들은 카본 하드마스크 애플리케이션

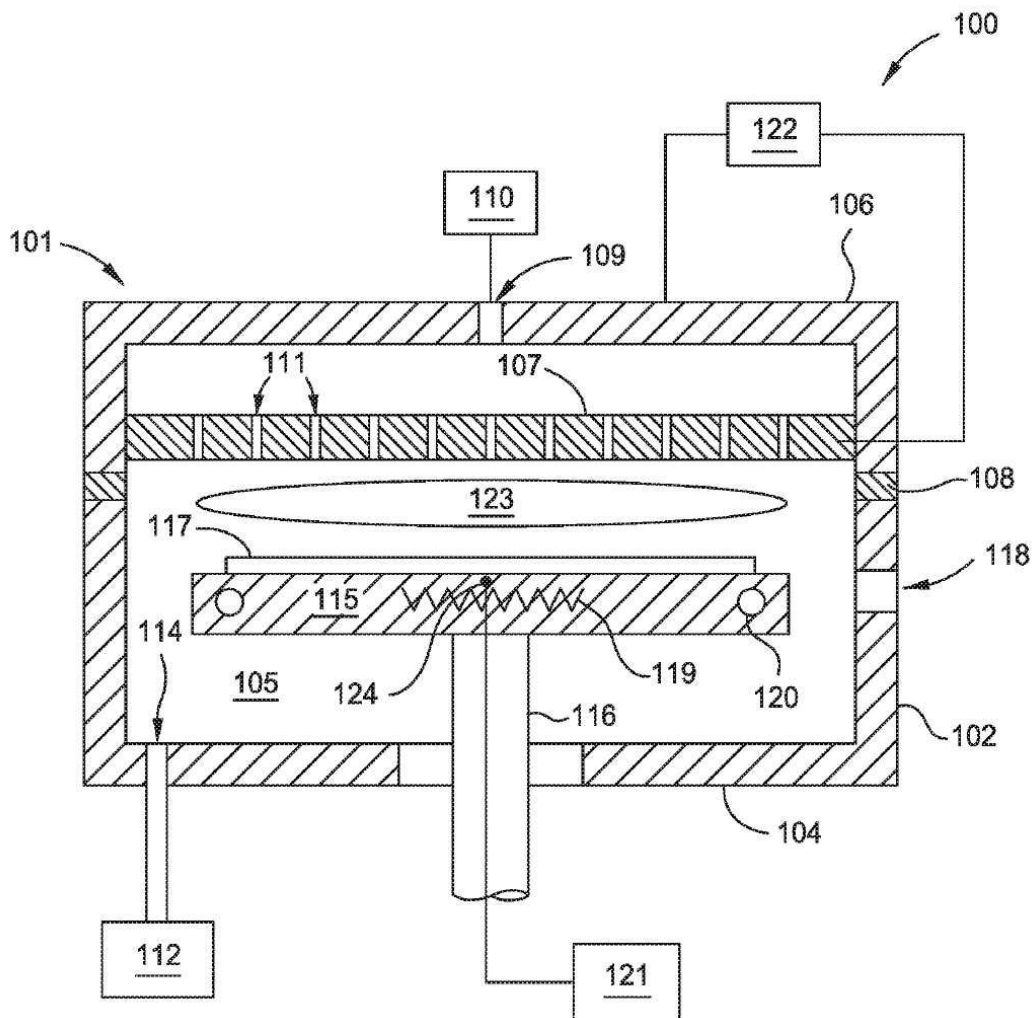


이션들에 대해 바람직한 특성들을 나타낸다. 증착된 비정질 카본 층들은 sp<sup>3</sup>(다이아몬드형) 카본 대 sp<sup>2</sup>(그래파이트형) 카본의 높은 비를 나타낸다. 방법들은 또한, 더 낮은 프로세싱 압력들, 더 낮은 프로세싱 온도들, 및 더 높은 프로세싱 전력들을 제공하며, 그 각각은 단독으로 또는 조합하여, 증착되는 비정질 카본 층에서의 sp<sup>3</sup> 카본의 상대적 프랙션을 추가로 증가시킬 수 있다. 더 높은 sp<sup>3</sup> 카본 프랙션의 결과로서, 본원에서 설명된 방법들은 종래의 방법들에 의해 증착된 비정질 카본 층들과 비교하여 개선된 밀도, 강성, 에칭 선택성, 및 막 응력을 갖는 비정질 카본 층들을 제공한다.

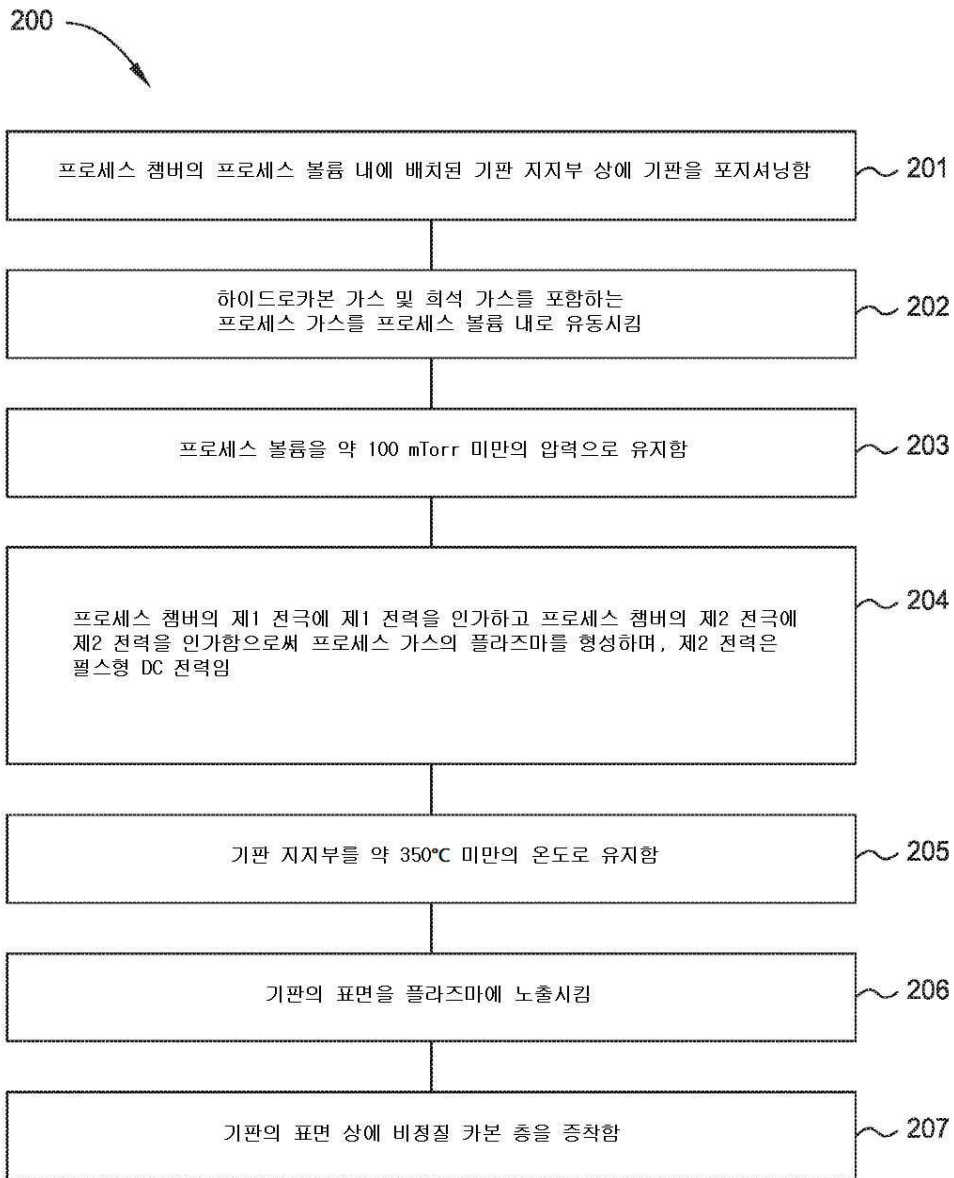
[0028] [0031] 전술한 바가 본 개시내용의 실시예들에 관한 것이지만, 본 개시내용의 다른 그리고 추가적인 실시예들이, 본 개시내용의 기본적인 범위를 벗어나지 않으면서 구상될 수 있고, 본 개시내용의 범위는 다음의 청구항들에 의해 결정된다.

**도면**

**도면1**



도면2



도면3

