



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년01월21일
(11) 등록번호 10-2758013
(24) 등록일자 2025년01월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/02 (2006.01) C23C 16/455 (2006.01)
G03F 7/20 (2006.01) H01J 37/32 (2006.01)
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/324 (2017.01)
H01L 21/67 (2006.01) H01L 21/683 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/02274 (2013.01)
C23C 16/45536 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-7015648
(22) 출원일자(국제) 2019년10월04일
심사청구일자 2022년09월01일
(85) 번역문제출일자 2021년05월24일
(65) 공개번호 10-2021-0066936
(43) 공개일자 2021년06월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/054812
(87) 국제공개번호 WO 2020/086241
국제공개일자 2020년04월30일

(73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050
(72) 발명자
벤카타수브라마니안, 에스와라난드
미국 95054 캘리포니아 산타클라라 바우어스 애브뉴 3050 엠/에스 1269 어플라이드 머티어리얼스 인코포레이티드 로우 디파트먼트 (내)
고트하임, 사무엘 이.
미국 95054 캘리포니아 산타클라라 바우어스 애브뉴 3050 엠/에스 1269 어플라이드 머티어리얼스 인코포레이티드 로우 디파트먼트 (내)
(뒷면에 계속)

(74) 대리인
특허법인(유)남아이피그룹, 특허법인 남앤남

(30) 우선권주장
62/751,213 2018년10월26일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020150007287 A
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 19 항

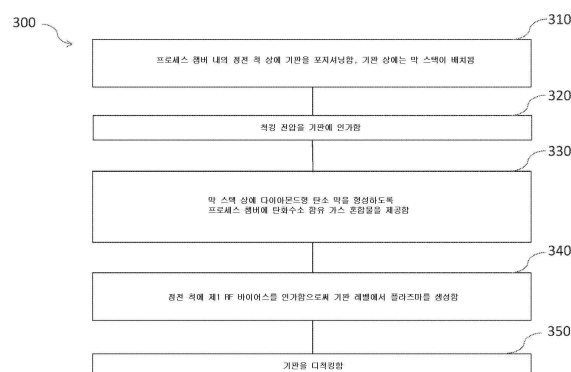
심사관 : 권철순

(54) 발명의 명칭 패터닝 애플리케이션들을 위한 고밀도 탄소 막들

(57) 요약

본 개시내용의 실시예들은 일반적으로, 패터닝 애플리케이션들을 위한 높은 투명도의 고밀도 탄소 막들의 증착에 관한 것이다. 일 실시예에서, 기판 상에 탄소 막을 형성하는 방법이 제공된다. 이 방법은 정전 척 상에 포지셔닝된 기판을 갖는 프로세스 챔버 내로 탄화수소 함유 가스 혼합물을 유동시키는 단계 - 기판은 약 -10℃ 내지 약 20℃의 온도 및 약 0.5mTorr 내지 약 10Torr의 챔버 압력에서 유지됨 -, 및 기판 상에 약 60% 이상의 혼성 sp³ 원자들을 함유하는 다이아몬드형 탄소 막을 증착하기 위해, 정전 척에 제1 RF 바이어스를 인가함으로써 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하며, 여기서 제1 RF 바이어스는 약 1800와트 내지 약 2200와트의 전력에서 그리고 약 40MHz 내지 약 162MHz의 주파수에서 제공된다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G03F 7/2004 (2013.01)
H01J 37/32174 (2013.01)
H01L 21/02315 (2013.01)
H01L 21/3065 (2013.01)
H01L 21/324 (2013.01)
H01L 21/67098 (2013.01)
H01L 21/67248 (2013.01)
H01L 21/6831 (2013.01)

(72) 발명자

만나, 프라밋

미국 95054 캘리포니아 산타클라라 바우어스 애브
 뉴 3050 엠/에스 1269 어플라이드 머티어리얼스 인
 코포레이티드 로우 디파트먼트 (내)

말릭, 아비짓 비.

미국 95054 캘리포니아 산타클라라 바우어스 애브
 뉴 3050 엠/에스 1269 어플라이드 머티어리얼스 인
 코포레이티드 로우 디파트먼트 (내)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020160107289 A*
 KR1020180053766 A
 US20090246243 A1
 US20180277340 A1*
 US20080248650 A1
 JP2014060421 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

정전 척 상에 포지셔닝된 기관을 갖는 프로세스 챔버 내로 탄화수소 함유 가스 혼합물을 유동시키는 단계 — 상기 정전 척은, 상기 정전 척 내에 배치된 제1 RF(Radio Frequency) 전극 및 제2 RF 전극을 포함하며, 상기 기관은 -10°C 내지 20°C 의 온도 및 0.5mTorr 내지 10Torr의 챔버 압력에서 유지됨 —; 및

상기 기관 상에 60% 이상의 혼성(hybridized) sp^3 원자들을 함유하는 다이아몬드형 탄소 막을 증착하기 위해, 상기 제1 RF 전극에 제1 RF 바이어스를 인가하고 상기 제2 RF 전극에 제2 RF 바이어스를 인가함으로써 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하며,

상기 제1 RF 바이어스는 1800와트 내지 2200와트의 전력으로 그리고 13.56MHz 이상의 주파수로 제공되고, 상기 제2 RF 바이어스는 350KHz와 13.56MHz 사이의 주파수로 제공되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제2 RF 바이어스는 800와트 내지 1200와트의 전력으로 제공되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 RF 바이어스는 2000와트의 전력 및 60MHz의 주파수로 제공되고, 상기 제2 RF 바이어스는 1000와트의 전력 및 2MHz의 주파수로 제공되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 기관은 10°C 의 온도로 유지되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 6

정전 척 상에 포지셔닝된 기관을 갖는 프로세스 챔버 내로 탄화수소 함유 가스 혼합물을 유동시키는 단계; 및

상기 기관 상에 다이아몬드형 탄소 막을 증착하기 위해, 상기 정전 척에 배치된 제1 전극에 제1 RF 바이어스를 그리고 상기 정전 척에 배치된 제2 전극에 제2 RF 바이어스를 인가함으로써 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하며,

상기 제1 RF 바이어스는 13.56MHz 이상의 주파수로 제공되고 상기 제2 RF 바이어스는 13.56MHz 이하의 주파수로 제공되며, 상기 기관은 -10°C 내지 20°C 의 온도 및 0.5mTorr 내지 10Torr의 챔버 압력에서 유지되며,

상기 제1 RF 바이어스는 13.56MHz 내지 162MHz의 주파수에서 제공되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제2 RF 바이어스는 2MHz의 주파수 및 800와트 내지 1200와트의 전력으로 제공되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 제1 RF 바이어스는 60MHz의 주파수 및 1500와트 내지 2500와트의 전력으로 제공되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 플라즈마를 생성하는 단계는 상기 정전 척 상부에 상기 정전 척에 대향하여 배치된 전극에 제3 RF 바이어스를 인가하는 단계를 더 포함하는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제3 RF 바이어스는 10와트 내지 3000와트의 전력 및 350kHz 내지 162MHz의 주파수로 제공되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 11

정전 척 상에 포지셔닝된 기관을 갖는 프로세스 챔버의 처리 볼륨 내로 탄화수소 함유 가스 혼합물을 유동시키는 단계 - 상기 정전 척은, 상기 정전 척 내에 배치된 제1 RF 전극 및 제2 RF 전극을 포함하고, 상기 기관은 5mTorr 내지 10mTorr의 챔버 압력에서 유지되고, 상기 탄화수소 함유 가스 혼합물은 아세틸렌(C_2H_2)을 포함함 -;

상기 기관 상에 다이아몬드형 탄소 막을 증착하기 위해, 상기 정전 척에 배치된 제1 RF 전극에 제1 RF 바이어스를 인가하고, 상기 정전 척에 배치된 제2 RF 전극에 제2 RF 바이어스를 인가함으로써 기관 레벨에서 플라즈마를 생성하는 단계 - 상기 제1 RF 바이어스는 2000와트의 전력 및 60MHz의 주파수로 제공되고, 상기 제2 RF 바이어스는 350KHz 내지 13.56MHz의 주파수로 제공됨 -;

상기 다이아몬드형 탄소 막 위에, 패터닝된 포토레지스트 층을 형성하는 단계;

상기 패터닝된 포토레지스트 층에 대응하는 패턴으로 상기 다이아몬드형 탄소 막을 에칭하는 단계; 및

상기 다이아몬드형 탄소 막의 에칭된 부분들 내로 재료를 증착하는 단계를 포함하는,

기관을 처리하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 제2 RF 바이어스는 1000와트의 전력 및 2MHz의 주파수로 제공되는,

기관을 처리하는 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 다이아몬드형 탄소 막은 극자외선("EUV: extreme ultraviolet") 리소그래피 프로세스에서 하부층으로서 사용되는,

기관을 처리하는 방법.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 탄화수소 함유 가스 혼합물은 He, Ar, Xe, N₂, H₂, 또는 이들의 임의의 조합들을 포함하는 희석 가스를 더 포함하는,

기관을 처리하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 탄화수소 함유 가스 혼합물은 상기 프로세스 챔버의 측벽에 배치된 가스 패널을 통해 상기 프로세스 챔버 내로 유동되는,

기관을 처리하는 방법.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 탄화수소 함유 가스 혼합물은 C₂H₂, C₃H₆, CH₄, C₄H₈, 1,3-디메틸아다만탄, 바이시클로[2.2.1]헵타-2,5-디엔(2,5-노르보르나딘), 아다만탄(C₁₀H₁₆), 노보넨(C₇H₁₀), 또는 이들의 임의의 조합들을 포함하는 탄화수소 전구체를 포함하는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 탄화수소 함유 가스 혼합물은 He, Ar, Xe, N₂, H₂, 또는 이들의 임의의 조합들을 포함하는 희석 가스를 더 포함하는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 탄화수소 함유 가스 혼합물은 상기 프로세스 챔버의 측벽에 배치된 가스 패널을 통해 상기 프로세스 챔버 내로 유동되는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 19

제6항에 있어서,

상기 탄화수소 함유 가스 혼합물은 C₂H₂, C₃H₆, CH₄, C₄H₈, 1,3-디메틸아다만탄, 바이시클로[2.2.1]헵타-2,5-디엔(2,5-노르보르나딘), 아다만탄(C₁₀H₁₆), 노보넨(C₇H₁₀), 또는 이들의 임의의 조합들을 포함하는 탄화수소 전구체를 포함하는,

기관 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

청구항 20

제6항에 있어서,

상기 탄화수소 함유 가스 혼합물은 He, Ar, Xe, N₂, H₂, 또는 이들의 임의의 조합들을 포함하는 희석 가스를 더 포함하는,

기판 상에 탄소 막을 형성하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시내용의 실시예들은 일반적으로 집적 회로들의 제작에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 명세서에서 설명되는 실시예들은 패터닝 애플리케이션들을 위한 고밀도 탄소 막들의 증착을 위한 기술들을 제공한다.

배경 기술

[0002] 집적 회로들은 단일 칩 상에 수백만 개의 트랜지스터들, 커패시터들 및 저항기들을 포함할 수 있는 복잡한 디바이스들로 발전했다. 칩 설계들의 발전은 지속적으로 더 빠른 회로망과 더 높은 회로 밀도를 필요로 한다. 더 큰 회로 밀도들을 가진 더 빠른 회로들에 대한 요구들은 집적 회로 컴포넌트들의 제조에 사용되는 프로세스 시퀀스들에 대한 대응하는 요구들을 부과한다. 예를 들어, 종래의 포토리소그래피 기술들을 사용하는 프로세스 시퀀스들에서, 에너지 민감성 레지스트 층이 기판 상에 배치된 재료 층들의 스택 위에 형성된다. 에너지 민감성 레지스트 층은 패턴의 이미지에 노출되어 포토레지스트 마스크를 형성한다. 그 후, 마스크 패턴은 에칭 프로세스를 사용하여 스택의 재료 층들 중 하나 이상에 전사된다.

[0003] 패턴 치수들이 감소됨에 따라, 패턴 분해능을 제어하기 위해 에너지 민감성 레지스트의 두께가 대응하게 감소된다. 이러한 얇은 레지스트 층들은 화학적 에천트에 의한 공격으로 인해 패턴 전사 동작 동안 하부 재료 층들을 마스크하기가 불충분할 수 있다. 화학적 에천트에 대한 더 큰 저항 때문에, 패턴 전사를 가능하게 하기 위해 에너지 민감성 레지스트 층과 하부 재료 층들 사이에 하드마스크가 흔히 사용된다. CD(critical dimensions)가 감소함에 따라, 현재의 하드마스크 재료들은 기본 재료들(예컨대, 산화물들 및 질화물들)에 비해 원하는 에칭 선택성이 부족하며 흔히 증착하기가 어렵다.

[0004] 따라서 당해 기술분야에서는 개선된 하드마스크 층들 및 개선된 하드마스크 층들을 증착하기 위한 방법들이 필요하다.

발명의 내용

[0005] 본 개시내용의 실시예들은 일반적으로 집적 회로들의 제작에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 명세서에서 설명되는 실시예들은 패터닝 애플리케이션들을 위한 고밀도 막들의 증착을 위한 기술들을 제공한다. 일 실시예에서, 기판 상에 탄소 막을 형성하는 방법이 제공된다. 이 방법은 정전 척 상에 포지셔닝된 기판을 갖는 프로세스 챔버 내로 탄화수소 함유 가스 혼합물을 유동시키는 단계 - 기판은 약 -10℃ 내지 약 20℃의 온도 및 약 0.5mTorr 내지 약 10Torr의 챔버 압력에서 유지됨 -, 및 기판 상에 약 60% 이상의 혼성(hybridized) sp³ 원자들을 함유하는 다이아몬드형 탄소 막을 증착하기 위해, 정전 척에 제1 RF 바이어스를 인가함으로써 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하며, 여기서 제1 RF 바이어스는 300mm 기판에 대해 약 1800와트 내지 약 2200와트의 전력에서 그리고 약 40MHz 내지 약 162MHz의 주파수에서 제공된다.

[0006] 다른 실시예에서, 이 방법은 정전 척 상에 포지셔닝된 기판을 갖는 프로세스 챔버의 처리 볼륨 내로 탄화수소 함유 가스 혼합물을 유동시키는 단계, 및 기판 상에 다이아몬드형 탄소 막을 증착하기 위해, 정전 척에 제1 RF 바이어스를 그리고 정전 척 상부에 정전 척에 대향하여 배치된 전극에 제2 RF 바이어스를 인가함으로써 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하며, 여기서 제1 RF 바이어스는 약 13.56MHz 이하의 주파수에서 제공되고 제2 RF 바이어스는 약 40MHz 이상의 주파수에서 제공되며, 기판은 약 -10℃ 내지 약 20℃의 온도 및 약 0.5mTorr 내지 약 10Torr의 챔버 압력에서 유지된다.

[0007] 또 다른 실시예에서, 이 방법은 정전 척 상에 포지셔닝된 기판을 갖는 프로세스 챔버의 처리 볼륨 내로 탄화수소 함유 가스 혼합물을 유동시키는 단계 - 기판은 약 5mTorr 내지 약 10mTorr의 챔버 압력에서 유지되고, 탄화수소 함유 가스 혼합물은 아세틸렌(C_2H_2)을 포함함 -, 기판 상에 다이아몬드형 탄소 막을 증착하기 위해, 정전 척에 제1 RF 바이어스를 인가함으로써 기판 레벨에서 플라즈마를 생성하는 단계 - 제1 RF 바이어스는 약 2000와트의 전력 및 약 60MHz의 주파수에서 제공됨 -, 다이아몬드형 탄소 막 위에, 패터닝된 포토레지스트 층을 형성하는 단계, 패터닝된 포토레지스트 층에 대응하는 패턴으로 다이아몬드형 탄소 막을 에칭하는 단계, 및 다이아몬드형 탄소 막의 에칭된 부분들 내로 재료를 증착하는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0008] 본 개시내용의 상기 열거된 특징들이 상세히 이해될 수 있는 방식으로, 앞서 간략히 요약된 실시예들의 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 본 개시내용의 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 한다는 것이 주목되어야 하는데, 이는 본 개시내용이 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있기 때문이다.

[0009] 도 1a는 본 명세서에서 설명되는 실시예들의 실시예에 사용될 수 있는 증착 시스템의 개략적인 단면도를 도시한다.

[0010] 도 1b는 본 명세서에서 설명되는 실시예들의 실시예에 사용될 수 있는 다른 증착 시스템의 개략적인 단면도를 도시한다.

[0011] 도 2는 본 명세서에서 설명되는 실시예들의 실시를 위해 도 1a 및 도 1b의 장치에 사용될 수 있는 정전척의 개략적인 단면도를 도시한다.

[0012] 도 3은 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라 기판 상에 배치된 막 스택 상에 다이아몬드형 탄소 층을 형성하기 위한 방법의 흐름도를 도시한다.

[0013] 도 4a - 도 4b는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라 기판 상에 형성된 막 스택 상에 다이아몬드형 탄소 층을 형성하기 위한 시퀀스의 일 실시예를 도시한다.

[0014] 이해를 용이하게 하기 위해, 도면들에 대해 공통된 동일한 엘리먼트(element)들을 가리키는 데, 가능한 경우, 동일한 참조 부호들이 사용되었다. 한 실시예의 엘리먼트들 및 특징들은 추가 언급 없이 다른 실시예들에 유리하게 포함될 수 있다는 것이 고려된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 다음의 개시내용은 기판 상에 다이아몬드형 탄소 막들을 증착하기 위한 기술들을 설명한다. 본 명세서에서 설명되는 실시예들은 임의의 적절한 박막 증착 시스템을 사용하여 실행될 수 있는 PECVD 프로세스를 참조하여 아래에서 설명될 것이다. 적절한 시스템들의 예들은 DXZ[®] 처리 챔버를 사용할 수 있는 CENTURA[®] 시스템들, PRECISION 5000[®] 시스템들, PRODUCER[®] 시스템들, PRODUCER[®] GT[™] 시스템들, PRODUCER[®] XP Precision[™] 시스템들, PRODUCER[®] SE[™] 시스템들, Sym3[®] 처리 챔버 및 Mesa[™] 처리 챔버를 포함하는데, 이들 모두는 California, Santa Clara 소재의 Applied Materials, Inc.로부터 상업적으로 입수할 수 있다. PECVD 프로세스들을 수행할 수 있는 다른 툴들도 또한 본 명세서에서 설명되는 실시예들로부터 이익을 얻도록 구성될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 설명되는 PECVD 프로세스들을 가능하게 하는 임의의 시스템이 유리하게 하는 데 사용될 수 있다. 본 명세서에서 설명되는 장치 설명은 예시적인 것이며, 본 명세서에서 설명되는 실시예들의 범위를 제한하는 것으로 해석되거나 이해되지 않아야 한다.

[0010] 도 1a는 본 명세서에서 설명되는 실시예들에 따라 다이아몬드형 탄소 층 증착을 수행하는 데 사용될 수 있는 기판 처리 시스템(132)의 개략적인 예시를 도시한다. 기판 처리 시스템(132)은 가스 패널(130)에 결합된 프로세스 챔버(100) 및 제어기(110)를 포함한다. 프로세스 챔버(100)는 일반적으로 처리 볼륨(126)을 한정하는 상단 벽(124), 측벽(101) 및 하단 벽(122)을 포함한다. 기판 지지 어셈블리(146)가 프로세스 챔버(100)의 처리 볼륨(126)에 제공된다. 기판 지지 어셈블리(146)는 일반적으로 스템(stem)(160)에 의해 지지되는 정전 척(150)을 포함한다. 정전 척(150)은 통상적으로 알루미늄, 세라믹 및 다른 적절한 재료들, 이를테면 스테인리스 스틸로 제작될 수 있다. 정전 척(150)은 (도시되지 않은) 변위 메커니즘을 사용하여 프로세스 챔버(100) 내부에

서 수직 방향으로 이동될 수 있다.

- [0011] [0017] 진공 펌프(102)가 프로세스 챔버(100)의 바닥에 형성된 포트에 결합된다. 진공 펌프(102)는 프로세스 챔버(100) 내에서 원하는 가스 압력을 유지하는 데 사용된다. 진공 펌프(102)는 또한, 프로세스 챔버(100)로부터의 프로세스의 부산물들 및 처리-후 가스들을 진공배기한다.
- [0012] [0018] 복수의 개구들(128)을 갖는 가스 분배 어셈블리(120)가 정전 척(150) 위의 프로세스 챔버(100)의 최상부에 배치된다. 가스 분배 어셈블리(120)의 개구들(128)은 프로세스 가스들을 프로세스 챔버(100)에 도입하는 데 이용된다. 개구들(128)은 서로 다른 프로세스 요건들에 대해 다양한 프로세스 가스들의 유동을 가능하게 하기 위해 서로 다른 크기들, 수, 분포들, 형상, 설계 및 직경들을 가질 수 있다. 가스 분배 어셈블리(120)는 처리 중에 다양한 가스들이 처리 볼륨(126)으로 유동하게 하는 가스 패널(130)에 연결된다. 정전 척(150) 상에 포지셔닝된 기관(190)의 최상부 표면(191) 상에 재료의 증착을 야기하는 프로세스 가스들의 열분해를 향상시키기 위해, 가스 분배 어셈블리(120)를 빠져나가는 프로세스 가스 혼합물로부터 플라즈마가 형성된다.
- [0013] [0019] 가스 분배 어셈블리(120)와 정전 척(150)은 처리 볼륨(126)에 한 쌍의 이격된 전극들을 형성할 수 있다. 가스 분배 어셈블리(120)와 정전 척(150) 사이에서 플라즈마의 생성을 가능하게 하기 위해 하나 이상의 RF 전원(140)이 선택적인 정합 회로망(138)을 통해 가스 분배 어셈블리(120)에 바이어스 전위를 제공한다. 대안으로, RF 전원(140) 및 정합 회로망(138)은 가스 분배 어셈블리(120)나 정전 척(150)에 결합되거나, 가스 분배 어셈블리(120)와 정전 척(150) 모두에 결합되거나, 프로세스 챔버(100) 외부에 배치된 (도시되지 않은) 안테나에 결합될 수 있다. 일부 실시예들에서, RF 전원(140)은 350kHz, 2MHz, 13.56MHz, 27MHz, 40MHz, 60MHz, 100MHz 또는 162MHz의 주파수에서 전력을 생성할 수 있다.
- [0014] [0020] 제어기(110)는 CPU(central processing unit)(112), 메모리(116), 및 프로세스 시퀀스를 제어하고 가스 패널(130)로부터의 가스 유동들을 조절하는 데 이용되는 지원 회로(114)를 포함한다. CPU(112)는 산업 환경에서 사용될 수 있는 범용 컴퓨터 프로세서의 임의의 형태일 수 있다. 소프트웨어 루틴들이 메모리(116), 이를테면 랜덤 액세스 메모리, 판독 전용 메모리, 플래시 또는 하드 디스크 드라이브, 또는 다른 형태의 디지털 저장소에 저장될 수 있다. 지원 회로(114)는 CPU(112)에 결합되며, 캐시, 클록 회로들, 입력/출력 시스템들, 전원 공급 장치들 등을 포함할 수 있다. 기관 처리 시스템(132)의 다양한 컴포넌트들과 제어기(110) 사이의 양방향 통신들은, 총괄적으로 신호 버스들(118)로 지칭되는 다수의 신호 케이블들을 통해 처리되며, 그러한 신호 케이블들 중 일부가 도 1a에 예시된다.
- [0015] [0021] 도 1b는 본 명세서에서 설명되는 실시예들의 실시예에 사용될 수 있는 다른 기관 처리 시스템(180)의 개략적인 단면도를 도시한다. 기관 처리 시스템(180)이 가스 패널(130)로부터의 처리 가스들을 측벽(101)을 통해 기관(190)의 최상부 표면(191)에 걸쳐 반경 방향으로 유동시키도록 구성된다는 점을 제외하면, 기관 처리 시스템(180)은 도 1a의 기관 처리 시스템(132)과 유사하다. 또한, 도 1a에 도시된 가스 분배 어셈블리(120)는 전극(182)으로 대체된다. 전극(182)은 2차 전자 생성을 위해 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 전극(182)은 실리콘 함유 전극이다.
- [0016] [0022] 도 2는 본 명세서에서 설명되는 실시예들의 실시예에 사용될 수 있는, 도 1a 및 도 1b의 처리 시스템들에 사용되는 기관 지지 어셈블리(146)의 개략적인 단면도를 도시한다. 도 2를 참조하면, 정전 척(150)은 정전 척(150)의 상부 표면(192) 상에 지지된 기관(190)의 온도를 제어하기에 적합한 히터 엘리먼트(170)를 포함할 수 있다. 히터 엘리먼트(170)는 정전 척(150)에 내장될 수 있다. 정전 척(150)은 히터 전원(106)으로부터 히터 엘리먼트(170)로 전류를 인가함으로써 저항식으로 가열될 수 있다. 히터 전원(106)은 RF 에너지로부터 히터 전원(106)을 보호하기 위해 RF 필터(216)를 통해 결합될 수 있다. 히터 전원(106)으로부터 공급되는 전류는 히터 엘리먼트(170)에 의해 발생하는 열을 제어하여, 막 증착 동안 기관(190) 및 정전 척(150)을 실질적으로 일정한 온도로 유지하도록 제어기(110)에 의해 조절된다. 공급되는 전류는 기관 상에 다이아몬드형 탄소 막들을 증착하는 동안 정전 척(150)의 온도를 약 -50℃ 내지 약 350℃로 선택적으로 제어하도록 조절될 수 있다.
- [0017] [0023] 도 1a 및 도 1b를 참조하면, 열전쌍과 같은 온도 센서(172)는 정전 척(150)의 온도를 모니터링하도록 정전 척(150)에 내장될 수 있다. 측정된 온도는 기관을 원하는 온도로 유지하도록 히터 엘리먼트(170)에 공급되는 전류를 제어하기 위해 제어기(110)에 의해 사용된다.
- [0018] [0024] 다시 도 2를 참조하면, 정전 척(150)은 전도성 재료의 메시일 수 있는 척킹 전극(210)을 포함한다. 척킹 전극(210)은 정전 척(150)에 내장될 수 있다. 척킹 전극(210)은 에너지가 공급될 때 기관(190)을 정전 척(150)의 상부 표면(192)에 정전기적으로 클램핑하는 척킹 전원(212)에 결합된다.

- [0019] [0025] 척킹 전극(210)은 모노폴라 또는 바이폴라 전극으로서 구성될 수 있거나, 다른 적절한 배열을 가질 수 있다. 척킹 전극(210)은 RF 필터(214)를 통해 척킹 전원(212)에 결합될 수 있으며, 이는 DC(direct current) 전력을 제공하여 기관(190)을 정전 척(150)의 상부 표면(192)에 정전기적으로 고정한다. RF 필터(214)는 프로세스 챔버(100) 내에 플라즈마를 형성하는 데 이용되는 RF 전력이 전기 장비를 손상시키는 것을 방지한다. 정전 척(150)은 AlN 또는 Al₂O₃와 같은 세라믹 재료로 제작될 수 있다.
- [0020] [0026] 전력 인가 시스템(220)이 기관 지지 어셈블리(146)에 결합된다. 전력 인가 시스템(220)은 히터 전원(106), 척킹 전원(212), 제1 RF(radio frequency) 전원(230) 및 제2 RF 전원(240)을 포함할 수 있다. 전력 인가 시스템(220)의 실시예들은 제어기(110), 및 제어기(110) 그리고 제1 RF 전원(230)과 제2 RF 전원(240) 모두와 통신하는 센서 디바이스(250)를 추가로 포함할 수 있다. 제어기(110)는 또한 기관(190) 상에 재료 층을 증착하기 위해 제1 RF 전원(230) 및 제2 RF 전원(240)으로부터의 RF 전력의 인가에 의해 처리 가스로부터의 플라즈마를 제어하는 데 이용될 수 있다.
- [0021] [0027] 앞서 설명한 바와 같이, 정전 척(150)은, 일 양상에서는 기관(190)을 척킹하도록 기능할 수 있으면서, 제1 RF 전극으로서도 또한 기능하는 척킹 전극(210)을 포함한다. 정전 척(150)은 또한 제2 RF 전극(260)을 포함할 수 있고, 척킹 전극(210)과 함께 RF 전력을 인가하여 플라즈마를 조정할 수 있다. 제1 RF 전원(230)은 제2 RF 전극(260)에 결합될 수 있는 한편, 제2 RF 전원(240)은 척킹 전극(210)에 결합될 수 있다. 제1 정합 회로망 및 제2 정합 회로망이 제1 RF 전원(230) 및 제2 RF 전원(240)에 각각 제공될 수 있다. 제2 RF 전극(260)은 전도성 재료의 고체 금속판 또는 전도성 재료의 메시일 수 있다.
- [0022] [0028] 제1 RF 전원(230)과 제2 RF 전원(240)은 동일한 주파수 또는 서로 다른 주파수에서 전력을 생성할 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 RF 전원(230) 및 제2 RF 전원(240) 중 하나 또는 둘 다는 약 350kHz 내지 약 162 MHz(예컨대, 350kHz, 2MHz, 13.56MHz, 27MHz, 40MHz, 60MHz, 100MHz 또는 162MHz)의 주파수에서 독립적으로 전력을 생성할 수 있다. 플라즈마를 조정하기 위해 제1 RF 전원(230) 및 제2 RF 전원(240) 중 하나 또는 둘 다를로부터의 RF 전력이 변경될 수 있다.
- [0023] [0029] 일반적으로, 도 1a, 도 1b 및 도 2에 관해 설명된 시스템들은 본 명세서에서 설명되는 실시예들에 따라 탄소 막들을 증착하는 데 사용될 수 있다. 본 명세서에서 설명되는 실시예들에 따라 제작되는 탄소 막들(예컨대, 하나 이상의 탄소 층들)은 본질적으로 비정질이고 높은 sp³ 탄소 함량(예컨대, 다이아몬드형)을 갖는다. 증착 직후(as-deposited)의 다이아몬드형 탄소 층은 0.1 미만, 예를 들어 0.09인 흡광 계수 또는 k-값((633nm에서) K), 1.8g/cc를 초과하는, 예를 들어 대략 2.0g/cc 이상, 대략 2.5g/cc 이상, 이를테면 약 1.8g/cc 내지 약 2.5g/cc의 밀도(g/cc), 2.0을 초과하는, 예를 들어 대략 2.0 내지 대략 3.0, 이를테면 2.3의 굴절률 또는 n-값((633nm에서) n), 약 -100MPa 미만, 예를 들어 약 -1000MPa 내지 약 -100MPa, 이를테면 약 -550MPa의 응력(MPa), 및 약 150GPa 이상, 예를 들어 약 200 내지 약 400GPa의 탄성 계수(GPa)를 갖는다. 본 개시내용의 다양한 실시예들에서, 증착 직후의 다이아몬드형 탄소 층은 sp³ 혼성 탄소 원자들의 적어도 40% 이상, 이를테면 약 60% 이상, 예를 들어 sp³ 혼성 탄소 원자들의 약 90%를 함유할 수 있다. 증착 직후의 다이아몬드형 탄소 층은 약 5Å 내지 약 20,000Å의 두께를 가질 수 있다.
- [0024] [0030] 위의 특징들을 갖는 다이아몬드형 탄소 층은 다음의 예시적인 증착 프로세스 파라미터들을 사용하여 형성될 수 있다. 기관 온도는 약 -50℃ 내지 약 350℃(예컨대, 약 -10℃ 내지 약 20℃)의 범위일 수 있다. 챔버 압력은 약 0.5mTorr 내지 약 10Torr(예컨대, 약 5mTorr 내지 약 10mTorr)의 챔버 압력 범위일 수 있다. 탄화 수소 함유 가스 혼합물의 유량은 약 10sccm 내지 약 1,000sccm(예컨대, 약 100sccm 내지 약 200sccm)일 수 있다. 희석 가스의 유량은 개별적으로, 약 50sccm 내지 약 5000sccm(예컨대, 약 50sccm 내지 약 200sccm)의 범위일 수 있다. 아래의 표 1은 California, Santa Clara 소재의 Applied Materials, Inc.로부터 입수 가능한 증착 챔버에서 300mm 기관에 대해 수행되는 예시적인 증착 프로세스 파라미터들을 예시한다.

표 1

[0025]

증착 파라미터	예시적인 범위	예시적인 범위	예시적인 범위
온도(℃)	-50 내지 350℃	10 내지 100℃	10 내지 50℃
압력(Torr)	0.5mTorr-10Torr	2mTorr-50mTorr	2mTorr-10mTorr
제1 RF 전력(60MHz)	100-3000와트	2,000-3000와트	2000와트
제2 RF 전력(2MHz)	200-2000와트	800-1200와트	1000와트

간격	1000 내지 15000mils	6000 내지 12000mils	8000 내지 12000mils
C ₂ H ₂ 유동	10-1000sccm	100-200sccm	150sccm
He 유동	50-5000sccm	50-100sccm	100sccm

- [0026] [0031] 도 3은 본 개시내용의 일 실시예에 따라 기판 상에 배치된 막 스택 상에 다이아몬드형 탄소 층을 형성하기 위한 방법(300)의 흐름도를 도시한다. 막 스택 상에 형성된 다이아몬드형 탄소 층은 예를 들어, 막 스택에 계단형 구조들을 형성하기 위한 하드마스크로서 이용될 수 있다. 도 4a - 도 4b는 방법(300)에 따라 기판 상에 배치된 막 스택 상에 다이아몬드형 탄소 층을 형성하기 위한 시퀀스를 예시하는 개략적인 단면도들이다. 도 3에 도시된 동작들은 동시에 그리고/또는 도시된 순서와는 다른 순서로 수행될 수 있다고 또한 이해되어야 한다.
- [0027] [0032] 이 방법(300)은 동작(310)에서, 도 4a에 도시된 기판(400)과 같은 기판을 도 1a 또는 도 1b에 도시된 프로세스 챔버(100)와 같은 프로세스 챔버에 포지셔닝함으로써 시작된다. 기판(400)은 도 1a, 도 1b 및 도 2에 도시된 기판(190)일 수 있다. 기판(400)은 정전 척, 예를 들어 정전 척(150)의 상부 표면(192) 상에 포지셔닝될 수 있다. 기판(400) - 기판(400) 상에 막 스택(404)이 배치됨 -은 필요에 따라, 막 스택(404)으로 계단형 구조들과 같은 구조(402)를 형성하는 데 이용될 수 있는 실리콘계 재료 또는 임의의 적절한 절연 재료, 전도성 재료 또는 반도체 재료일 수 있다.
- [0028] [0033] 도 4a에 도시된 예시적인 실시예에 도시된 바와 같이, 기판(400)은 실질적으로 평평한 표면, 고르지 않은 표면, 또는 상부에 구조가 형성된 실질적으로 평평한 표면을 가질 수 있다. 막 스택(404)은 기판(400) 상에 형성된다. 일 실시예에서, 막 스택(404)은 프론트 엔드 또는 백 엔드 프로세스에서 게이트 구조, 접촉 구조 또는 상호 접속 구조를 형성하는 데 이용될 수 있다. 이 방법(300)은 낸드(NAND) 구조와 같은 메모리 구조에 사용되는 계단형 구조들을 막 스택(404) 내에 형성하도록 막 스택(404)에 대해 수행될 수 있다. 일 실시예에서, 기판(400)은 결정질 실리콘(예컨대, Si<100> 또는 Si<111>), 실리콘 산화물, 변형 실리콘, 실리콘 게르마늄, 도핑 또는 비도핑 폴리실리콘, 도핑 또는 비도핑 실리콘 기판들 및 패터닝된 또는 패터닝되지 않은 기판들인 SOI(silicon on insulator), 탄소 도핑 실리콘 산화물들, 실리콘 질화물, 도핑 실리콘, 게르마늄, 갈륨 비화물, 유리, 사파이어와 같은 재료일 수 있다. 기판(400)은 200mm, 300mm 및 450mm 또는 다른 직경의 기판들과 같은 다양한 치수들뿐만 아니라 직사각형 또는 정사각형 패널들을 가질 수 있다. 달리 언급되지 않는 한, 본 명세서에서 설명되는 실시예들 및 예들은 200mm 직경, 300mm 직경 또는 450mm 직경을 갖는 기판들에 대해 수행된다. SOI 구조가 기판(400)에 이용되는 실시예에서, 기판(400)은 실리콘 결정질 기판 상에 배치된 매립 유전체 층을 포함할 수 있다. 본 명세서에 도시된 실시예에서, 기판(400)은 결정질 실리콘 기판일 수 있다.
- [0029] [0034] 일 실시예에서, 기판(400) 상에 배치된 막 스택(404)은 수직으로 적층된 다수의 층들을 가질 수 있다. 막 스택(404)은 막 스택(404)으로 반복적으로 형성된 (408a₁, 408a₂, 408a₃, ..., 408a_n으로서 도시된) 제1 층 및 (408b₁, 408b₂, 408b₃, ..., 408b_n으로서 도시된) 제2 층을 포함하는 쌍들을 포함할 수 있다. 이 쌍들은 번갈아 나오는 (408a₁, 408a₂, 408a₃, ..., 408a_n으로서 도시된) 제1 층과 (408b₁, 408b₂, 408b₃, ..., 408b_n으로서 도시된) 제2 층을 포함하는데, 이들은 제1 층들과 제2 층들의 쌍들의 원하는 수들에 도달할 때까지 반복적으로 형성된다.
- [0030] [0035] 막 스택(404)은 3차원 메모리 칩과 같은 반도체 칩의 일부일 수 있다. 도 4a - 도 4b에는 (408a₁, 408a₂, 408a₃, ..., 408a_n으로서 도시된) 제1 층들과 (408b₁, 408b₂, 408b₃, ..., 408b_n으로서 도시된) 제2 층들의 3개의 반복하는 층들이 도시되어 있지만, 필요에 따라 제1 및 제2 층들의 임의의 원하는 수의 반복 쌍들이 이용될 수 있다는 점이 주목된다.
- [0031] [0036] 일 실시예에서, 막 스택(404)은 3차원 메모리 칩에 대한 다수의 게이트 구조들을 형성하는 데 이용될 수 있다. 막 스택(404)으로 형성된 제1 층들(408a₁, 408a₂, 408a₃, ..., 408a_n)은 제1 유전체 층일 수 있고, 제2 층들(408b₁, 408b₂, 408b₃, ..., 408b_n)은 제2 유전체 층일 수 있다. 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 실리콘 산질화물, 실리콘 탄화물, 실리콘 산탄화물(silicon oxycarbide), 티타늄 질화물, 산화물과 질화물의 합성물, 질화물 층을 샌드위치하는 적어도 하나 이상의 산화물 층들, 및 이들의 조합들을 포함하는 적절한 유전체 층들이 제1 층들(408a₁, 408a₂, 408a₃, ..., 408a_n) 및 제2 층(408b₁, 408b₂, 408b₃, ..., 408b_n)을 형성하는 데 이용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 유전체 층들은 4보다 더 큰 유전율을 갖는 고-k 재료일 수 있다. 고-

k 재료들의 적절한 예들은 무엇보다도, 하프늄 이산화물(HfO_2), 지르코늄 이산화물(ZrO_2), 하프늄 실리콘 산화물(HfSiO_2), 하프늄 알루미늄 산화물(HfAlO), 지르코늄 실리콘 산화물(ZrSiO_2), 탄탈 이산화물(TaO_2), 알루미늄 산화물, 알루미늄 도핑 하프늄 이산화물, 비스무스 스트론튬 티타늄(BST: bismuth strontium titanium) 및 플래티늄 지르코늄 티타늄(PZT: platinum zirconium titanium)을 포함한다.

[0032] [0037] 하나의 특정 예에서, 제1 층들($408a_1, 408a_2, 408a_3, \dots, 408a_n$)은 실리콘 산화물 층들이고, 제2 층들($408b_1, 408b_2, 408b_3, \dots, 408b_n$)은 제1 층들($408a_1, 408a_2, 408a_3, \dots, 408a_n$) 상에 배치된 실리콘 질화물 층들 또는 폴리실리콘 층들이다. 일 실시예에서, 제1 층들($408a_1, 408a_2, 408a_3, \dots, 408a_n$)의 두께는 약 50Å 내지 약 1000Å, 이를테면 약 500Å으로 제어될 수 있고, 각각의 제2 층들($408b_1, 408b_2, 408b_3, \dots, 408b_n$)의 두께는 약 50Å 내지 약 1000Å, 이를테면 약 500Å으로 제어될 수 있다. 막 스택(404)은 약 100Å 내지 약 2000Å의 총 두께를 가질 수 있으며, 기술이 발전함에 따라 달라질 수 있다.

[0033] [0038] 다이아몬드형 탄소 층은, 기판(400) 상에 존재하는 막 스택(404)을 갖거나 갖지 않는, 기판(400)의 임의의 표면들 또는 임의의 부분 상에 형성될 수 있다는 점이 주목된다.

[0034] [0039] 동작(320)에서, 척킹 전압이 정전 척에 인가되어 기판(400)을 정전 척에 클램핑한다. 척킹 전극(210)을 통해 기판(400)에 전기적 바이어스가 제공된다. 척킹 전극(210)은 척킹 전극(210)에 바이어싱 전압을 공급하는 척킹 전원(212)과 전자 통신할 수 있다. 일 실시예에서, 척킹 전압은 약 10볼트 내지 약 3000볼트이다.

[0035] [0040] 동작(320) 중에, 처리 볼륨의 프로세스 압력은 약 0.1mTorr 내지 약 10Torr(예컨대, 약 0.5mTorr 내지 약 15mTorr)로 유지될 수 있고, 처리 온도 및/또는 기판 온도는 약 -50°C 내지 약 350°C(예컨대, 약 -10°C 내지 약 20°C)로 유지될 수 있다.

[0036] [0041] 동작(330)에서, 탄화수소 함유 가스 혼합물이 처리 볼륨(126)으로 유동된다. 탄화수소 함유 가스 혼합물은 가스 분배 어셈블리(120)를 거쳐 또는 측벽(101)을 통해 가스 패널(130)로부터 처리 볼륨(126)으로 유동될 수 있다. 탄화수소 함유 가스 혼합물은 적어도 하나의 탄화수소 화합물을 포함할 수 있다. 탄화수소 함유 가스 혼합물은 불활성 가스, 희석 가스 또는 이들의 임의의 조합들을 더 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서는, 동작(320) 중에 공급된 척킹 전압이 동작(330) 동안 유지된다. 일부 실시예들에서, 동작(320) 동안 설정된 프로세스 조건들은 동작(330) 동안 유지된다.

[0037] [0042] 일 실시예에서, 탄화수소 화합물은 가스 탄화수소이다. 일 실시예에서, 탄화수소 화합물은 일반식 C_xH_y 를 가지며, 여기서 x는 1 내지 20의 범위를 갖고 y는 1 내지 20의 범위를 갖는다. 적절한 탄화수소 화합물들은 예를 들어, C_2H_2 , C_3H_6 , CH_4 , C_4H_8 , 1,3-디메틸아다만탄, 바이시클로[2.2.1]헵타-2,5-디엔(2,5-노르보르나딘), 아다만탄($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$), 노보넨(C_7H_{10}), 또는 이들의 조합들을 포함한다.

[0038] [0043] 일부 실시예들에서, 탄화수소 함유 가스 혼합물은 하나 이상의 희석 가스들을 더 포함한다. 적절한 희석 가스들은 헬륨(He), 아르곤(Ar), 크세논(Xe), 수소(H_2), 질소(N_2), 암모니아(NH_3), 또는 이들의 임의의 조합들을 포함할 수 있지만, 이에 제한되는 것은 아니다. 일 실시예에서, 희석 가스는 Ar, He 및 N_2 의 조합을 포함한다. 일 실시예에서, 희석 가스는 Ar, He 및 H_2 의 조합을 포함한다.

[0039] [0044] 일부 실시예들에서, 탄화수소 함유 가스 혼합물은 불활성 가스를 더 포함한다. 일부 실시예들에서, 아르곤(Ar) 및/또는 헬륨(He)과 같은 불활성 가스가 탄화수소 함유 가스 혼합물과 함께 처리 볼륨(126) 내에 공급될 수 있다. 질소(N_2) 및 산화질소(NO)와 같은 다른 불활성 가스들이 다이아몬드형 탄소 층의 밀도와 증착률을 제어하는 데 또한 사용될 수 있다.

[0040] [0045] 동작(340)에서, 도 4b에 도시된 바와 같이, 막 스택 상에 다이아몬드형 탄소 막을 형성하기 위해 기판 레벨에서 플라즈마가 생성된다. 플라즈마는 정전 척에 제1 RF 바이어스를 인가함으로써 생성될 수 있다. 제1 RF 바이어스는 약 350kHz 내지 약 162MHz(예컨대, 350kHz, 2MHz, 13.56MHz, 27MHz, 40MHz, 60MHz, 100MHz 또는 162MHz)의 주파수에서 약 10와트 내지 약 3000와트일 수 있다. 일 실시예에서, 제1 RF 바이어스는 약 1500와트 내지 약 2500와트(예컨대, 1800-2200와트)의 전력에서 그리고 약 40MHz 이상의 주파수에서 제공된다. 일 실시예에서, 제1 RF 바이어스는 제2 RF 전극(260)을 통해 정전 척(150)에 제공된다. 제2 RF 전극(260)은 제2 RF 전극(260)에 바이어싱 전압을 공급하는 제1 RF 전원(230)과 전자 통신할 수 있다. 제1 RF 전원(230)은 약 350kHz 내지 약

100MHz(예컨대, 350kHz, 2MHz, 13.56MHz, 27MHz, 40MHz, 60MHz 또는 100MHz)의 주파수에서 전력을 생성할 수 있다.

- [0041] [0046] 일부 실시예들에서, 동작(340)은 막 응력을 변조하도록 이온 밀도 및 이온 에너지를 독립적으로 제어하기 위해 정전 척에 제2 RF 바이어스를 인가하는 것을 더 포함한다. 제2 RF 바이어스는 약 350kHz 내지 약 100MHz(예컨대, 350kHz, 2MHz, 13.56MHz, 27MHz, 40MHz, 60MHz 또는 100MHz)의 주파수에서 약 10와트 내지 약 3000와트일 수 있다. 일 실시예에서, 제2 RF 바이어스는 약 800와트 내지 약 1200와트의 전력에서 그리고 약 13.56MHz 이하, 예를 들어 약 2MHz의 주파수에서 제공된다. 일 실시예에서, 제2 RF 바이어스는 척킹 전극(210)을 통해 기관(400)에 제공된다. 척킹 전극(210)은 척킹 전극(210)에 바이어싱 전압을 공급하는 제2 RF 전원(240)과 전자 통신할 수 있다. 일 실시예에서, 제2 RF 바이어스는 약 10와트 내지 약 3000와트의 전력으로 제공된다. 일 실시예에서, 제2 RF 바이어스는 약 800와트 내지 약 1200와트의 전력으로 제공된다. 일 실시예에서는, 동작(320)에서 공급된 척킹 전압이 동작(340) 중에 유지된다.
- [0042] [0047] 본 개시내용의 임의의 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에서, 동작(340) 동안, 제1 RF 바이어스는 척킹 전극(210)을 통해 기관(400)에 제공되고, 제2 RF 바이어스는 제2 RF 전극(260)을 통해 기관(400)에 제공될 수 있다.
- [0043] [0048] 본 개시내용의 임의의 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에서, 동작(340) 동안, 제1 RF 바이어스는 가스 분배 어셈블리(120) 또는 전극(182)에 제공되고, 제2 RF 바이어스는 제2 RF 전극(260) 또는 척킹 전극(210)을 통해 기관(400)에 제공될 수 있다. 이러한 경우, 가스 분배 어셈블리(120) 또는 전극(182)에 인가되는 제1 RF 바이어스는 고주파를 가질 수 있고, 제2 RF 전극(260) 또는 척킹 전극(210)에 인가되는 제2 RF 바이어스는 저주파를 가질 수 있다.
- [0044] [0049] 전력 레벨과 주파수의 다양한 조합들이 제1 RF 바이어스 및 제2 RF 바이어스에 의해 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 RF 바이어스는 약 40MHz, 60MHz 또는 162MHz에서 약 2000와트일 수 있고, 제2 RF 바이어스는 350kHz에서 약 1000와트일 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 RF 바이어스는 40MHz, 60MHz 또는 162MHz에서 약 2000와트일 수 있고, 제2 RF 바이어스는 2MHz에서 약 1000와트일 수 있다. 일부 실시예들에서, 제1 RF 바이어스는 약 40MHz, 60MHz 또는 162MHz에서 약 2000와트일 수 있고, 제2 RF 바이어스는 13.56MHz에서 약 1000와트일 수 있다.
- [0045] [0050] 본 개시내용의 임의의 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 추가 실시예들에서, 동작(340) 동안, 제1 RF 바이어스는 척킹 전극(210)을 통해 기관(400)에 제공되고, 제2 RF 바이어스는 제2 RF 전극(260)을 통해 기관(400)에 제공될 수 있으며, 제3 RF 바이어스가 가스 분배 어셈블리(120) 또는 전극(182)에 제공될 수 있다. 이러한 경우, 제1 RF 바이어스와 제2 RF 바이어스는 본 개시내용에서 논의되는 주파수들과 전력의 임의의 조합들일 수 있으며, 제3 RF 바이어스는 본 명세서에서 논의되는 제1 또는 제2 RF 바이어스의 전력 및 주파수와 동일한 전력 및 주파수를 갖도록 구성될 수 있다.
- [0046] [0051] 일부 실시예들에서, 동작(340) 동안 기관 상에 다이아몬드형 탄소 층(412)이 형성된 후, 다이아몬드형 탄소 층(412)은 수소 라디칼들에 노출된다. 일부 실시예들에서, 다이아몬드형 탄소 층은 동작(340)의 증착 프로세스 동안 수소 라디칼들에 노출된다. 일부 실시예들에서, 수소 라디칼들은 RPS에서 형성되고 처리 영역으로 전달된다. 이론에 얽매이지 않지만, 다이아몬드형 탄소 층을 수소 라디칼들에 노출시키는 것은 sp^2 혼성 탄소 원자들의 선택적 에칭으로 이어져, 막의 sp^3 혼성 탄소 원자 분율을 증가시키며, 이에 따라 에칭 선택성을 증가시키는 것으로 여겨진다.
- [0047] [0052] 동작(350)에서는, 다이아몬드형 탄소 층(412)이 기관 상에 형성된 후, 기관이 디척킹(de-chuck)된다. 동작(350) 중에, 척킹 전압은 차단된다. 반응성 가스들은 차단되고 선택적으로 처리 챔버로부터 퍼지된다. 일 실시예에서는, 동작(350) 중에 RF 전력이 감소된다(예컨대, ~200W). 정전 척으로부터 기관이 디척킹되면, 나머지 가스들은 처리 챔버로부터 퍼지된다. 처리 챔버는 펌핑(pump down)되고 기관은 리프트 핀들 위로 이동되어 프로세스 챔버 밖으로 이송된다.
- [0048] [0053] 다이아몬드형 탄소 층(412)이 기관 상에 형성된 후, 다이아몬드형 탄소 층(412)이 에칭 프로세스에서 패터닝 마스크로서 이용되어 계단형 구조와 같은 3차원 구조를 형성할 수 있다. 다이아몬드형 탄소 층(412)은 표준 포토레지스트 패터닝 기술들을 사용하여 패터닝될 수 있다.
- [0049] [0054] 아래의 비제한적인 예들은 본 명세서에서 설명되는 실시예들을 추가로 예시하기 위해 제공된다. 그러나 예들은 모든 것을 포함하는 것으로 의도된 것이 아니며, 본 명세서에서 설명되는 실시예들의 범위를 제한하

는 것으로 의도되는 것이 아니다. 일 실시예에서, 희석 가스로서 Ar 및/또는 He를 사용하는 CVD 반응기에서 기판 페디스틸(정전 척)에 걸쳐 2000와트 RF(60MHz) 전력을 인가하면서, 10℃의 온도에서 프로세스 가스들로서 150sccm C₂H₂ 및 100sccm He를 유동시킴으로써, 본 개시내용의 낮은 응력의 고밀도 다이아몬드형 탄소 막이 제작되었다. 결과적인 다이아몬드형 탄소 막과 비정질 탄소 기준 막들 그리고 PVD에 의해 형성된 다이아몬드형 탄소 막들 간의 비교가 아래 표 2에 예시된다.

표 2

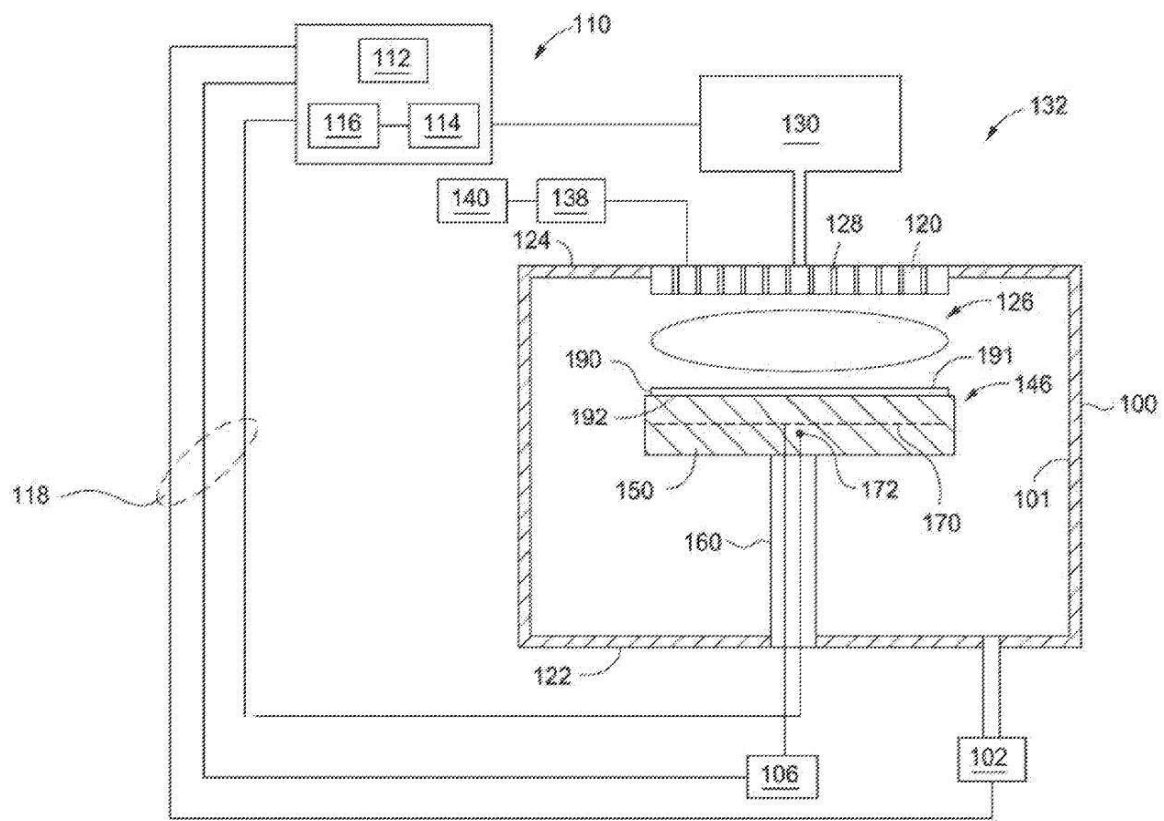
막 타입	비정질 탄소 막 기준	PVD 다이아몬드형 탄소 막 기준	PECVD 다이아몬드형 탄소 막
밀도(g/cc)	1.75	2.52	1.83
응력(MPa)	-50	-350	-600
n @ 633nm	2.07	>2.3	2.37
k @ 633nm	0.63	>0.5	0.09
sp ³ %	<10%	~50%	~60%
탄성 계수/경도 (GPa)	53/5.8	231/19	180/20

[0055] 따라서 반도체 디바이스들의 3차원 적층을 제조하기 위한 계단형 구조들을 형성하는 데 이용될 수 있는 높은 투명도의 다이아몬드형 탄소 하드마스크 층을 형성하기 위한 방법들 및 장치가 제공된다. 원하는 견고한 막 특성들 및 에칭 선택도를 갖는 다이아몬드형 하드마스크 층의 이용에 의해, 막 스택에 형성된 결과적인 구조들의 개선된 치수 및 프로파일 제어가 얻어질 수 있고, 반도체 디바이스들의 3차원 적층을 위한 애플리케이션들에서 칩 디바이스들의 전기적 성능이 향상될 수 있다.

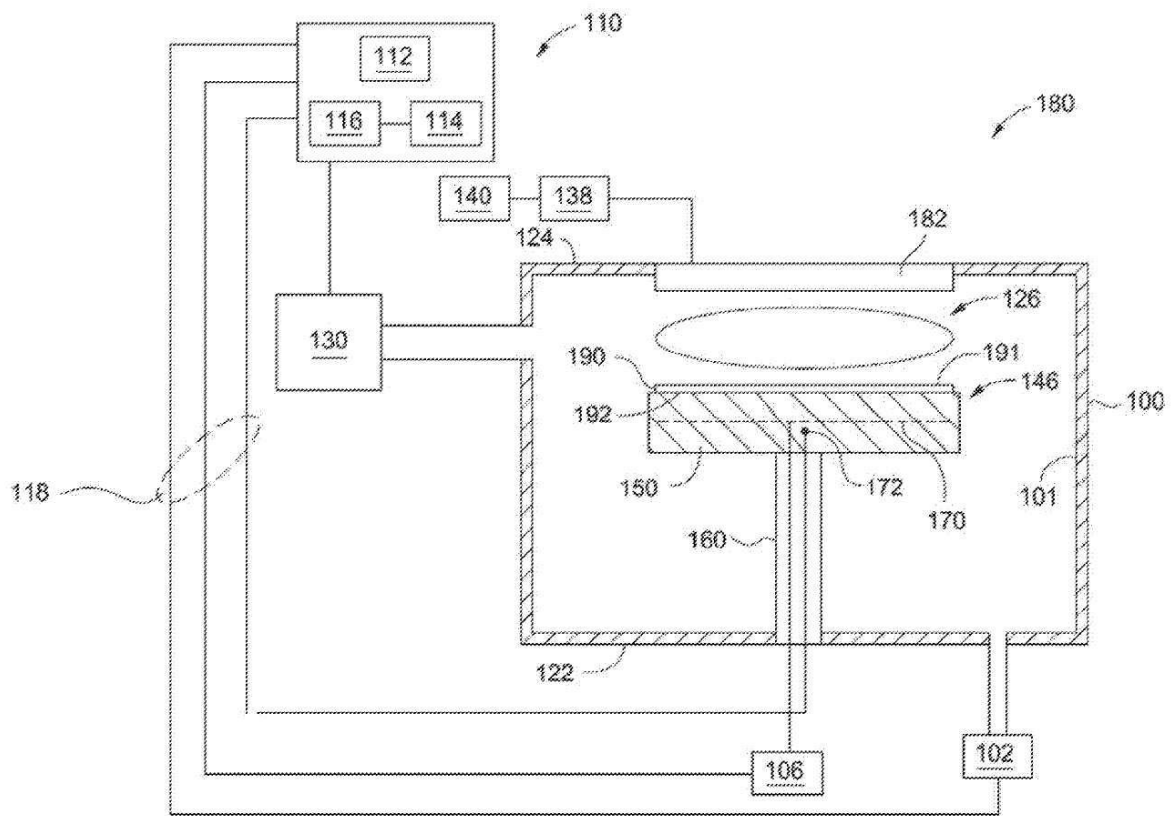
[0056] 전술한 내용은 본 개시내용의 실시예들에 관한 것이지만, 본 개시내용의 기본 범위를 벗어나지 않으면서 본 개시내용의 다른 실시예들 및 추가 실시예들이 안출될 수 있으며, 본 개시내용의 범위는 하기의 청구항들에 의해 결정된다.

도면

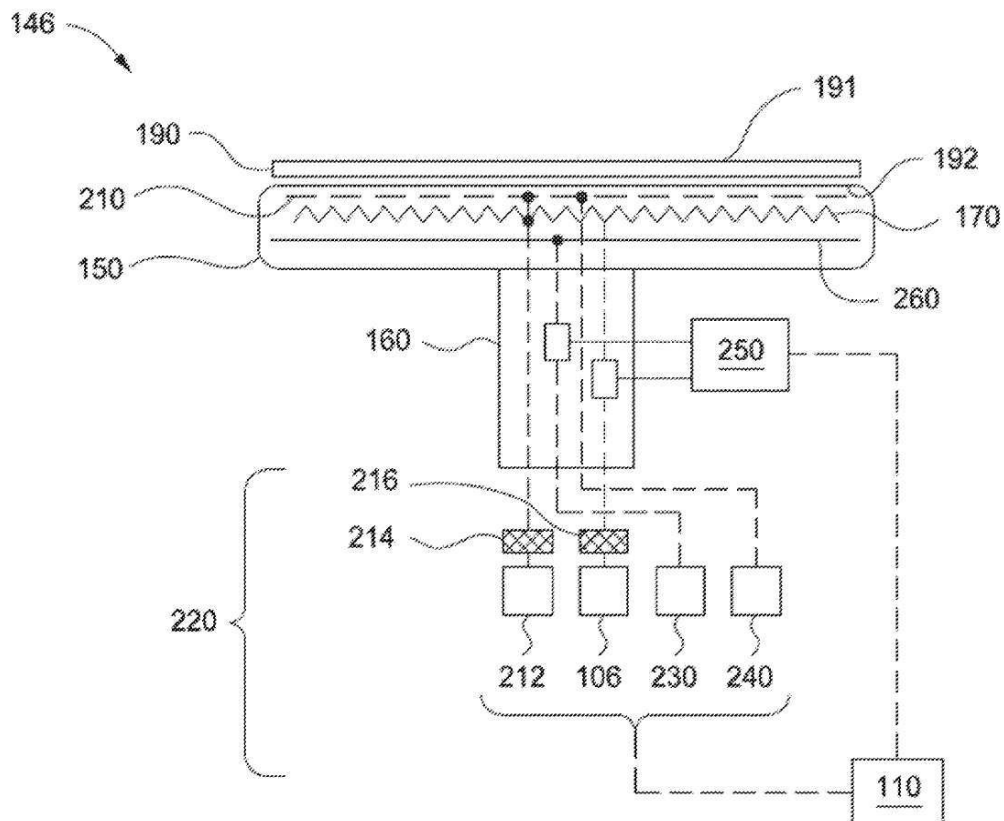
도면1a



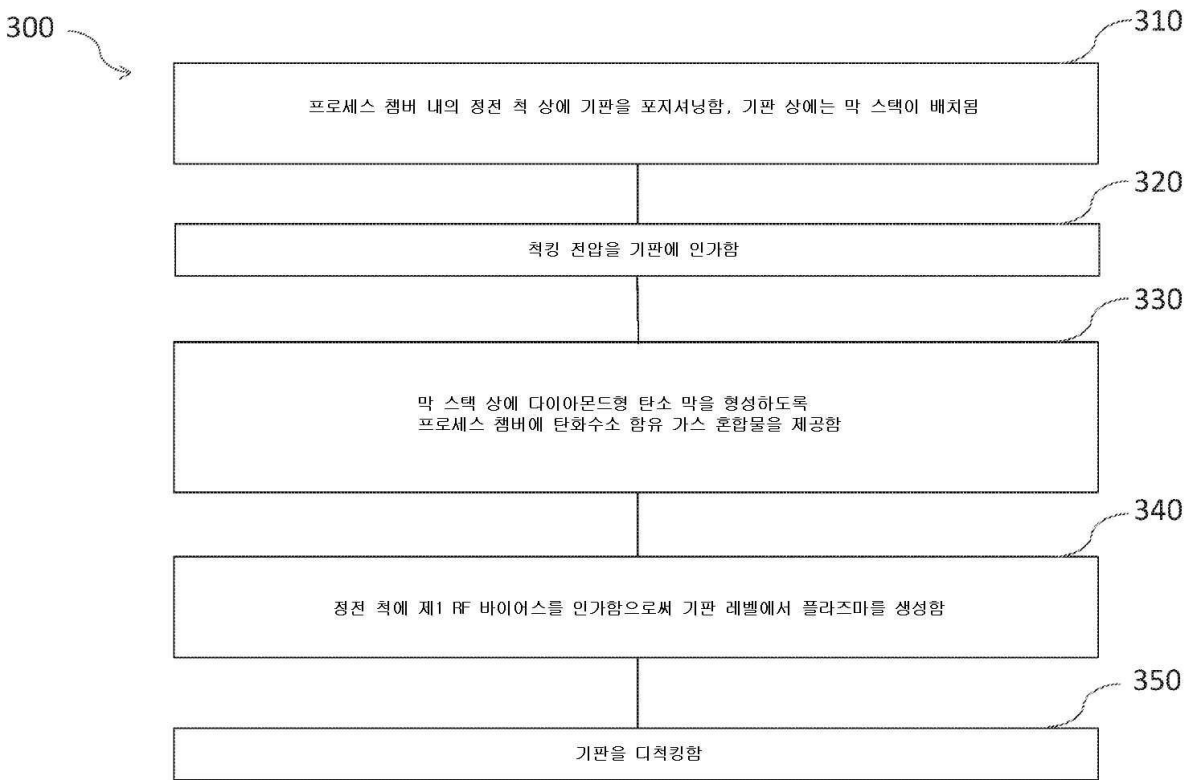
도면 1b



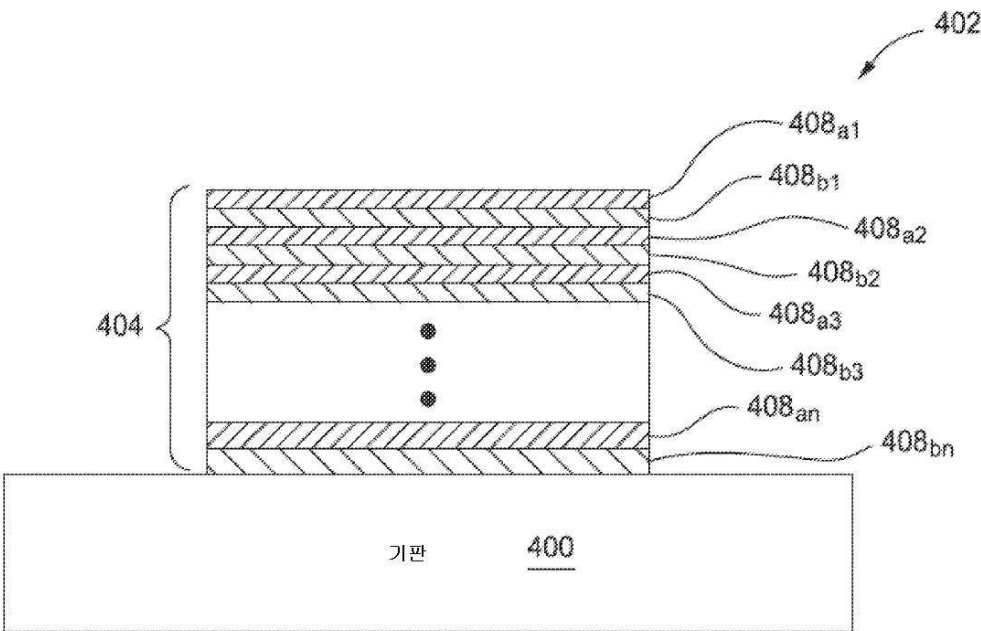
도면2



도면3



도면4a



도면4b

