



등록특허 10-2397797



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년05월12일
(11) 등록번호 10-2397797
(24) 등록일자 2022년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/285 (2006.01) C23C 16/14 (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/28556 (2013.01)
C23C 16/14 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0064157
(22) 출원일자 2016년05월25일
심사청구일자 2019년06월18일
(65) 공개번호 10-2016-0140448
(43) 공개일자 2016년12월07일
(30) 우선권주장
14/723,270 2015년05월27일 미국(US)
62/328,759 2016년04월28일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1020110105645 A*
KR1020130119519 A*
JP2008303466 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
(72) 발명자
잔들 아담
미국, 캘리포니아 94588, 플레즌튼, 던스뮤어 서클 3606
고피나스 산제이
미국, 캘리포니아 94555, 프리몬트, 살리마 서클 5095
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
특허법인인벤싱크

전체 청구항 수 : 총 23 항

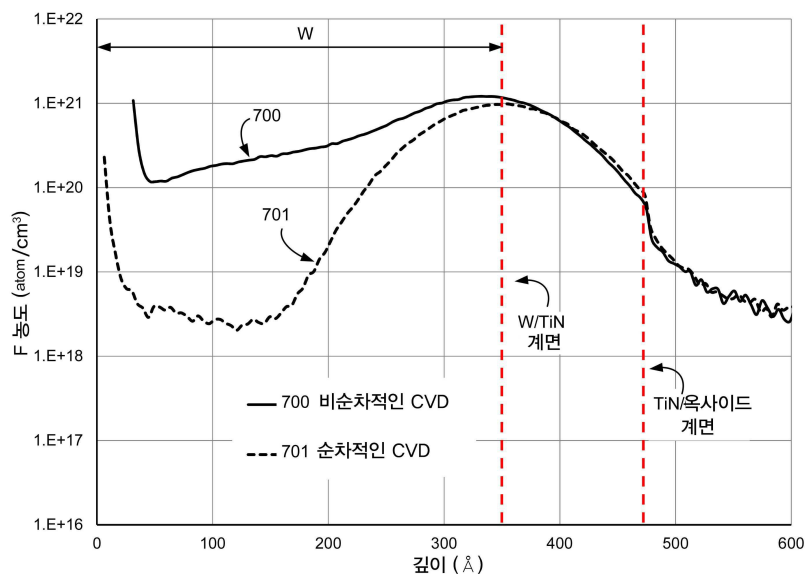
심사관 : 정구원

(54) 발명의 명칭 순차적인 CVD 프로세스에 의한 저 불소 텅스텐의 증착

(57) 요약

순차적인 CVD 펄스들에 의해, 예를 들어, 시간적으로 분리된 펄스들의 사이클들로 텅스텐 헥사플루오라이드 및 수소 가스를 교대로 펄스함으로써, 벌크 텅스텐을 증착하는 방법들이 본 명세서에 제공된다. 일부 방법들은 저 압에서 텅스텐 핵생성 층을 증착하는 단계 뒤이어 저 불소 함량을 가진 저 응력 텅스텐 막들을 형성하도록 순차적인 CVD에 의한 벌크 텅스텐의 증착을 포함한다. 본 명세서에 기술된 방법들은 또한 비순차적인 CVD 증착 기법 및 불소-프리 텅스텐 증착 기법과 조합하여 수행될 수도 있다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류

H01L 21/0228 (2013.01)

H01L 21/0262 (2013.01)

H01L 21/205 (2013.01)

H01L 2924/01074 (2013.01)

(72) 발명자

마 샤오란

미국, 캘리포니아 95132, 산 호세, 카마고 드라이브 1855

후마윤 라아시나

미국, 캘리포니아 94022, 로스 알토스, 로렐레스 드라이브 1060

다넉 미첼

미국, 캘리포니아 95014, 쿠퍼티노, 아멜리아 코트 10201

숄로스 로렌스

미국, 캘리포니아 94303, 팔로 알토, 엘브리지 웨이 860

유 덴화

미국, 캘리포니아 95131, 산 호세, 팀버 크릭 드라이브 1583

툼바레 슈르티 비벅

미국, 캘리포니아 94086, 서니베일, 비센티 드라이브 1275, #196

아쉬티아니 카이한 아비디

미국, 캘리포니아 95014, 쿠퍼티노, 코르테 마데라레인 21835

명세서

청구범위

청구항 1

피처를 증진하는 방법에 있어서,

(a) 기판 상에 텅스텐 핵생성 층을 증착하도록 환원제와 제 1 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 챔버 내의 상기 기판을 노출시키는 단계; 및

(b) 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 상기 텅스텐 핵생성 층 위에 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 수소와 제 2 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계를 포함하고,

상기 단계 (a) 동안 챔버 압력은 10 Torr 이하인, 피처를 증진하는 방법.

청구항 2

피처를 증진하는 방법에 있어서,

(a) 기판 상에 텅스텐 핵생성 층을 증착하도록 제 1 환원제와 제 1 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 챔버 내의 상기 기판을 노출시키는 단계;

(b) 순차적인 CVD에 의해 상기 텅스텐 핵생성 층 위에 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 수소와 제 2 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계; 및

(c) 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 동시에 제 2 환원제와 제 3 텅스텐-함유 전구체에 상기 기판을 노출시키는 단계를 포함하고,

상기 단계 (a) 동안 챔버 압력은 10 Torr 이하인, 피처를 증진하는 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

(d) 상기 단계 (b) 의 2 이상의 사이클들마다 상기 단계 (c) 를 수행하는 단계를 더 포함하고, 상기 단계 (b) 의 사이클은 수소의 펄스와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체의 펄스를 포함하는, 피처를 증진하는 방법.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 단계 (b) 는 수소의 펄스와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체의 펄스를 포함한 사이클들로 수행되고, 그리고 상기 사이클 각각은 적어도 0.3 Å의 두께를 갖는 서브모노레이어 (submonolayer) 를 형성하는, 피처를 증진하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 텅스텐-함유 전구체는 불소 프리인, 피처를 증진하는 방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 증착된 텅스텐 핵생성 층 및 상기 증착된 제 1 벌크 텅스텐 층은 증착된 500 Å 당 1 GPa 미만의 인장 응력

을 갖는, 피처를 충전하는 방법.

청구항 7

기관 상에 텅스텐을 증착하는 방법에 있어서,

상기 방법은,

(a) 텅스텐 층을 기관 상에 증착하는 단계; 및

(b) 제 1 벌크 텅스텐 층을 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 사이클들로 증착하는 단계를 포함하고,

상기 텅스텐 층을 상기 기관 상에 증착하는 단계는,

(i) 상기 기관을 제 1 환원제에 노출시키고, 그리고

(ii) 상기 기관을 제 1 불소 프리 텅스텐-함유 전구체에 노출시킴으로써 수행되고,

상기 사이클은,

(i) 상기 기관을 수소 (H_2) 에 노출시키는 단계,

(ii) 상기 기관을 제 2 텅스텐-함유 전구체에 노출시키는 단계, 및

(iii) 상기 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 하나 이상의 사이클들로 상기 단계 (i) 및 상기 단계 (ii) 를 반복하는 단계를 포함하고,

상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 기관 상에 텅스텐을 증착하는 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제 1 불소 프리 텅스텐-함유 전구체는 금속-유기 텅스텐-함유 전구체들 및 텅스텐 헥사카보닐로 구성된 그룹으로부터 선택되는, 기관 상에 텅스텐을 증착하는 방법.

청구항 9

제 7 항 또는 제 8 항에 있어서,

상기 단계 (b) 의 상기 사이클 각각은 적어도 0.3 Å의 두께를 갖는 서브모노레이어를 형성하는, 기관 상에 텅스텐을 증착하는 방법.

청구항 10

피처를 충전하는 방법에 있어서,

(a) 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 기관 위에 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 수소와 제 1 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 상기 기관을 노출시키는 단계로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 1 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 교번하는 펄스들에 상기 기관을 노출시키는 단계; 및

(b) 상기 기관 위에 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 동시에 제 2 텅스텐-함유 전구체와 환원제에 상기 기관을 노출시키는 단계를 포함하는, 피처를 충전하는 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 단계 (b) 의 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체는 금속-유기 텅스텐-함유 전구체들, 텅스텐 클로라이드들, 및 텅스텐 헥사카보닐로 구성된 그룹으로부터 선택된 불소 프리 텅스텐-함유 전구체인, 피처를 충전하는 방법.

청구항 12

제 1 항 내지 제 3 항 또는 제 10 항 또는 제 11 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 1 텅스텐-함유 전구체는 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체와 상이한, 피처를 증진하는 방법.

청구항 13

피처를 증진하는 방법에 있어서,

(a) 기판 상에 텅스텐 핵생성 층을 증착하도록 제 1 환원제와 제 1 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 챔버 내의 상기 기판을 노출시키는 단계;

(b) 상기 텅스텐 핵생성 층 위에 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 수소와 제 2 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계; 및

(c) 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 제 2 환원제와 제 3 텅스텐-함유 전구체에 상기 기판을 동시에 노출하는 단계를 포함하는, 피처를 증진하는 방법.

청구항 14

제 1 항 내지 제 3 항 또는 제 7 항 또는 제 8 항 또는 제 10 항 또는 제 11 항 또는 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 단계 (a) 및 상기 단계 (b) 는 반도체 프로세싱 툴 내에서 수행되는, 피처를 증진하는 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 반도체 프로세싱 툴은 단일-챔버 반도체 프로세싱 툴인, 피처를 증진하는 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 반도체 프로세싱 툴은 멀티-챔버 반도체 프로세싱 툴인, 피처를 증진하는 방법.

청구항 17

기판들을 프로세싱하기 위한 장치에 있어서,

상기 장치는,

(a) 기판을 홀딩하도록 구성된 페데스탈을 포함한 프로세스 챔버;

(b) 진공과 커플링하기 위한 적어도 하나의 유출부;

(c) 하나 이상의 프로세스 가스 소스들에 커플링된 하나 이상의 프로세스 가스 유입부들; 및

(d) 상기 장치 내의 동작들을 제어하기 위한 제어기를 포함하고,

상기 제어기는,

(i) 상기 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 제 1 환원제 및 제 1 텅스텐-함유 전구체의 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션; 및

(ii) 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 수소 및 제 2 텅스텐-함유 전구체의 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션으로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 인스트럭션을 포함하고,

상기 머신-판독가능 인스트럭션 (i) 동안 챔버 압력은 10 Torr 이하인, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 18

기관들을 프로세싱하기 위한 장치에 있어서,

상기 장치는,

- (a) 기관을 홀딩하도록 구성된 페데스탈을 포함한 프로세스 챔버;
 - (b) 진공과 커플링하기 위한 적어도 하나의 유출부;
 - (c) 하나 이상의 프로세스 가스 소스들에 커플링된 하나 이상의 프로세스 가스 유입부들; 및
 - (d) 상기 장치 내의 동작들을 제어하기 위한 제어기를 포함하고,
- 상기 제어기는,

(i) 상기 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 제 1 환원제 및 제 1 텅스텐-함유 전구체의 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션;

(ii) 순차적인 CVD에 의해 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 수소 및 제 2 텅스텐-함유 전구체의 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션으로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 인스트럭션; 및

(iii) 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 제 2 환원제와 제 3 텅스텐-함유 전구체의 동시 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션을 포함하고,

상기 머신-판독가능 인스트럭션 (i) 동안 챔버 압력은 10 Torr 이하인, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 제어기는 (iv) 상기 머신-판독가능 인스트럭션 (ii) 의 2 이상의 사이클들마다 상기 머신-판독가능 인스트럭션 (iii) 을 수행하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션을 더 포함하고, 상기 머신-판독가능 인스트럭션 (ii) 의 상기 사이클은 수소의 펄스 및 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체의 펄스를 포함하는, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 20

제 17 항 내지 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 1 텅스텐-함유 전구체는 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체와 상이한, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 21

제 17 항 내지 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제 1 텅스텐-함유 전구체는 불소 프리인, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 22

기관들을 프로세싱하기 위한 장치에 있어서,

상기 장치는,

- (a) 기관을 홀딩하도록 구성된 페데스탈을 포함한 프로세스 챔버;
 - (b) 진공과 커플링하기 위한 적어도 하나의 유출부;
 - (c) 하나 이상의 프로세스 가스 소스들에 커플링된 하나 이상의 프로세스 가스 유입부들; 및
 - (d) 상기 장치 내의 동작들을 제어하기 위한 제어기를 포함하고,
- 상기 제어기는,

(i) 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 수소 및 제 1 텅스텐-함유 전구체의 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션으로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 1 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 인스트럭션; 및

(ii) 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 제 2 텅스텐-함유 전구체 및 환원제의 동시 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션을 포함하는, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 머신-판독가능 인스트럭션 (i) 및 상기 머신-판독가능 인스트럭션 (ii) 를 순차적으로 반복하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션들을 더 포함하는, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치.

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

발명의 설명

배경 기술

[0001] 텅스텐-함유 재료들의 증착은 많은 반도체 제조 프로세스들의 중요한 일부이다. 이러한 재료들은 수평적 상호 접속부들, 인접하는 금속 층들 간의 비아들, 금속 층들과 실리콘 기관 상의 디바이스들 간의 콘택트들, 및 고 종횡비 피쳐들을 위해서 사용될 수도 있다. 반도체 기관에 대한 통상적인 텅스텐 증착 프로세스에서, 기관은 진공 챔버 내에서 프로세스 온도로 가열되고, 그리고 씨드 또는 핵생성 층 역할을 하는 텅스텐 막의 매우 얇은 부분이 증착된다. 이후에, 나머지 텅스텐 막 (벌크 층) 이 동시에 2개의 반응물질들에 기관을 노출시킴으로써 핵생성 층 상에 증착된다. 벌크 층은 일반적으로 핵생성 층보다 신속하게 증착된다. 그러나, 디바이스들이 축소되고 보다 복잡한 패터닝 스킴들 (schemes) 이 산업에서 활용됨에 따라, 얇은 텅스텐 막들의 증착은 문제가 생기게 된다.

발명의 내용

[0002] 텅스텐을 증착하기 위한 방법들 및 장치들이 본 명세서에 제공된다. 일 양태는: (a) 기관 상에 텅스텐 핵생성 층을 증착하도록 환원제와 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 챔버 내의 기관을 노출시키는 단계; 및 (b) 텅스텐 핵생성 층 위에 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 수소와 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시키는 단계를 포함하는 피쳐를 충전하는 방법을 수반하고, 여기서 단계 (a) 동안 챔버 압력은 10 Torr 이하이다.

[0003] 방법은: (c) 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 동시에 환원제와 텅스텐-함유 전구체에 기관을 노출시키는 단계를 더 포함할 수도 있다. 방법은 또한 (d) 단계 (b) 의 2 이상의 사이클들마다 단계 (c) 를 수행하는 단계를 더 포함할 수도 있고, 단계 (b) 의 사이클은 수소의 펄스와 텅스텐-함유 전구체의 펄스를 포함한다.

[0004] 다양한 실시예들에서, 단계 (b) 는 수소의 펄스와 텅스텐-함유 전구체의 펄스를 포함한 사이클들로 수행되고, 그리고 사이클 각각은 적어도 약 0.3 Å의 두께를 갖는 서브모노레이어 (submonolayer) 를 형성한다.

[0005] 단계 (a) 의 텅스텐-함유 전구체는 단계 (b) 의 텅스텐-함유 전구체와 상이할 수도 있다. 일부 실시예들에서, 단계 (a) 의 텅스텐-함유 전구체는 불소 프리이다.

[0006] 증착된 텅스텐은, 증착된 500 Å 당 약 1 GPa 미만의 인장 응력을 가질 수도 있다.

[0007] 또 다른 양태는 (i) 기관을 환원제에 노출시키고, 그리고 (ii) 기관을 불소 프리 텅스텐-함유 전구체에 노출시킴으로써 (a) 텅스텐 층을 기관 상에 증착하는 단계; 및 (i) 기관을 수소 (H₂) 에 노출시키는 단계, (ii) 기관을 제 2 텅스텐-함유 전구체에 노출시키는 단계, 및 (iii) 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 하나 이상의 사이클들

로 단계 (i) 및 (ii) 를 반복하는 단계를 포함하는, 벌크 텅스텐 층을 사이클들로 증착하는 단계를 포함한, 기관 상에 텅스텐을 증착하는 방법을 수반한다.

- [0008] 일부 실시예들에서, 불소 프리 텅스텐-함유 전구체는 금속-유기 텅스텐-함유 전구체들, 텅스텐 클로라이드들, 및 텅스텐 헥사카보닐로 구성된 그룹으로부터 선택된다.
- [0009] 다양한 실시예들에서, 불소 프리 텅스텐-함유 전구체는 텅스텐 헥사클로라이드이다. 다양한 실시예들에서, 불소 프리 텅스텐-함유 전구체는 텅스텐 펜타클로라이드이다.
- [0010] 단계 (a) 의 텅스텐 층은 약 2 Å 내지 약 100 Å의 두께로 증착될 수도 있다. 단계 (b) 의 사이클 각각은 적어도 약 0.3 Å의 두께를 갖는 서브모노레이어를 형성할 수도 있다.
- [0011] 또 다른 양태는 (a) 기관 위에 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 수소와 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시키는 단계; 및 (b) 기관 위에 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 동시에 텅스텐-함유 전구체와 환원제에 기관을 노출시키는 단계를 포함하는, 피처를 충전하는 방법을 수반한다.
- [0012] 다양한 실시예들에서, 단계 (a) 및 단계 (b) 는 순차적으로 반복된다.
- [0013] 단계 (b) 의 텅스텐-함유 전구체는 금속-유기 텅스텐-함유 전구체들, 텅스텐 클로라이드들, 및 텅스텐 헥사카보닐로 구성된 그룹으로부터 선택된 불소 프리 텅스텐-함유 전구체일 수도 있다.
- [0014] 일부 실시예들에서, 단계 (a) 의 텅스텐-함유 전구체는 단계 (b) 의 텅스텐-함유 전구체와 상이하다.
- [0015] 또 다른 양태는 (a) 기관을 홀딩하도록 구성된 페데스탈을 포함한 적어도 하나의 프로세스 챔버; (b) 진공과 커플링하기 위한 적어도 하나의 유출부; (c) 하나 이상의 프로세스 가스 소스들에 커플링된 하나 이상의 프로세스 가스 유입부들; 및 (d) 장치 내의 동작들을 제어하기 위한 제어기를 포함하는, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치를 수반하고, 제어기는, (i) 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 환원제 및 텅스텐-함유 전구체를 도입하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션; 및 (ii) 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 수소 및 텅스텐-함유 전구체를 도입하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션을 포함하고, 머신-판독가능 인스트럭션 (i) 동안 챔버 압력은 10 Torr 이하이다.
- [0016] 또 다른 양태는 (a) 기관을 홀딩하도록 구성된 페데스탈을 포함한 적어도 하나의 프로세스 챔버; (b) 진공과 커플링하기 위한 적어도 하나의 유출부; (c) 하나 이상의 프로세스 가스 소스들에 커플링된 하나 이상의 프로세스 가스 유입부들; 및 (d) 장치 내의 동작들을 제어하기 위한 제어기를 포함하는, 기관들을 프로세싱하기 위한 장치를 수반하고, 제어기는, (i) 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 수소 및 텅스텐-함유 전구체를 도입하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션; 및 (ii) 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 프로세스 챔버에 텅스텐-함유 전구체 및 환원제를 동시에 도입하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션을 포함한다. 제어기는 머신-판독가능 인스트럭션들 (i) 및 (ii) 를 순차적으로 반복하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션들을 더 포함할 수도 있다.
- [0017] 이들 및 다른 양태들은 도면들을 참조하여 이하에 더 기술된다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1a는 기관 상의 예시적인 막들의 개략적인 예시이다.
- 도 1b 내지 도 1h는 개시된 실시예들에 따른, 내부에 텅스텐이 증착될 수도 있는 다양한 구조체들의 개략적인 예들이다.
- 도 2a 및 도 2b는 개시된 실시예들에 따른, 방법들에 대한 동작들을 도시하는 프로세스 흐름도들이다.
- 도 2c는 개시된 실시예들에 따른, 방법의 예시적인 사이클들을 도시하는 타이밍 시퀀스도이다.
- 도 3a 내지 도 3j는 개시된 실시예들에 따른, 막들을 증착하기 위한 메커니즘의 예의 개략도들이다.
- 도 3k는 개시된 실시예들에 따른, 방법에 대한 동작들을 도시하는 프로세스 흐름도이다.
- 도 4는 개시된 실시예들을 수행하기 위한 예시적인 프로세스 툴의 개략도이다.
- 도 5는 개시된 실시예들을 수행하기 위한 예시적인 스테이션의 개략도이다.
- 도 6은 다양한 타이밍 시퀀스도들을 도시한다.

도 7 내지 도 11b는 실험 결과들의 플롯들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 다음의 기술에서, 수많은 구체적인 상세들이 제공된 실시예들의 완전한 이해를 제공하도록 제시된다. 개시된 실시예들은 이들 구체적인 상세들의 일부 또는 전부 없이 실시될 수도 있다. 다른 예들에서, 잘 알려진 프로세스 동작들은 개시된 실시예들을 불필요하게 모호하게 하지 않도록 상세히 기술되지 않았다. 개시된 실시예들은 구체적인 실시예들과 함께 기술될 것이지만, 개시된 실시예들을 제한하도록 의도되지 않음이 이해될 것이다.
- [0020] 피처들의 텅스텐 (W) 충전은 전기적 콘택트들을 형성하도록 반도체 디바이스 제조에서 종종 사용된다. 디바이스들이 보다 작은 기술 노드들로 스케일되고 (scale) 보다 복잡한 패터닝 구조체들이 사용되기 때문에 텅스텐 충전의 다양한 과제들이 있게 된다. 일 과제는 증착된 텅스텐 막 내의 불소 농도 또는 함량을 감소시키는 것이다. 보다 큰 피처들과 비교할 때, 보다 큰 피처와 텅스텐 막 내의 불소 농도가 동일한 보다 작은 피처는, 디바이스의 성능에 더 상당히 영향을 준다. 예를 들어, 피처가 더 작아질수록, 더 얇은 막들이 증착된다. 그 결과, 증착된 텅스텐 막 내의 불소가 보다 얇은 막들을 통해 확산을 더 해서, 잠재적으로 디바이스 고장을 유발한다.
- [0021] 불소 확산을 방지하는 일 방법은, 텅스텐으로부터 옥사이드 층과 같은 기관의 다른 층들로 불소가 확산하는 것을 방지하도록 텅스텐을 증착하기 전에 하나 이상의 배리어 층들을 증착하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 도 1a는 기관 상에 증착된 층들의 예시적인 스택을 도시한다. 기관 (190)은 실리콘 층 (192), 옥사이드 층 (194) (예를 들어, 티타늄 옥사이드 (TiOx), TEOS (tetraethyl orthosilicate) 옥사이드, 등), 배리어 층 (196) (예를 들어, 티타늄 나이트라이드 (TiN)), 텅스텐 핵생성 층 (198), 및 벌크 텅스텐 층 (199)을 포함한다. 배리어 층 (196)은 벌크 텅스텐 층 (199) 및 텅스텐 핵생성 층 (198)으로부터 옥사이드 층으로의 불소 확산을 방지하도록 증착된다. 그러나, 디바이스들이 축소됨에 따라, 배리어 층들이 보다 얇아지게 되고, 불소는 여전히 증착된 텅스텐 층들로부터 확산할 수도 있다. 보다 고온에서 수행된 벌크 텅스텐의 CVD (chemical vapor deposition)가 보다 저 불소 함량을 발생시키지만, 이러한 막들은 불량한 단차 커버리지를 갖는다.
- [0022] 또 다른 과제는 증착된 텅스텐 막들 내의 저항을 감소시키는 것이다. 보다 얇은 막들은 보다 두꺼운 막들보다 보다 고 저항을 갖는 경향이 있다. 피처들이 보다 작아짐에 따라, 텅스텐 콘택트 또는 선 저항이 보다 얇은 텅스텐 막들의 스캐터링 효과들에 기인하여 증가한다. 저 저항률 텅스텐 막들은 집적 회로 설계들의 전력 손실들 및 과열을 최소화시킨다. 텅스텐 핵생성 층들은 통상적으로 상부 벌크 층들보다 보다 고 전기 저항률들을 갖는다. 콘택트들,비아들, 및 다른 피처들 내에 증착된 배리어 층들은 또한 고 저항률들을 가질 수도 있다. 또한, 얇은 배리어 및 텅스텐 핵생성 막들은 보다 작은 피처들의 보다 큰 퍼센티지를 차지하고, 피처 내의 전체 저항을 증가시킨다. 텅스텐 막의 저항률은 증착된 막의 두께에 의존하며, 이러한 저항률은 경계 효과들로 인해 서 두께가 감소함에 따라 증가한다.
- [0023] 또 다른 과제는 증착된 막들 상의 응력을 감소시키는 것이다. 보다 얇은 텅스텐 막들은 증가된 인장 응력을 갖는 경향이 있다. CVD에 의해 벌크 텅스텐 막들을 증착하기 위한 종래의 기법들은 200 Å 막에 대해 2.5 GPa 초과인 인장 응력을 갖는다. 고 열 인장 응력은 기관이 컬링되게 (curl) 하고, 이는 차후의 프로세싱을 어렵게 만든다. 예를 들어, 차후의 프로세스들은 CMP (chemical mechanical planarization), 재료들의 증착, 및/또는 챔버 내에서 프로세스들을 수행하도록 기관 홀더에 기관을 클램핑하는 것을 포함할 수도 있다. 그러나, 이들 프로세스들은 종종 평평한 기관을 필요로 하고, 컬링된 기관은 불균일한 프로세싱 또는 기관 프로세싱의 불능을 발생시킨다. 어닐링과 같은, 다른 재료들의 막들 내의 응력을 감소시키기 위한 기존의 방법들이 있지만, 텅스텐은 텅스텐의 고 용해점에 기인하여 일단 증착된다면 입자들이 이동되거나 변경되게 하는 표면 이동도를 갖지 않는다.
- [0024] 순차적인 CVD 프로세스를 사용하여 저 불소 농도를 가진 텅스텐 막들을 증착하는 방법들이 본 명세서에 제공된다. 증착된 막들은 또한 저 응력을 가질 수도 있다. 방법들은 수소 및 텅스텐 핵사플루오라이드와 같은 텅스텐-함유 전구체를 사이클들로 도입하는 단계를 수반한다. 개시된 실시예들은 종래의 CVD에 의해 증착된 막들보다 실질적으로 보다 저 불소 함량을 가진 저 응력 텅스텐 막을 증착하도록 다른 텅스텐 증착 프로세스들과 통합될 수도 있다. 예를 들어, 순차적인 CVD 프로세스들은 저압의 핵생성 층 증착 프로세스, 불소 프리 텅스텐 층 증착 프로세스, 및/또는 비순차적인 CVD 프로세스와 통합될 수도 있다. 개시된 실시예들은 폭 넓은 다양한 애플리케이션들을 갖는다. 방법들은 고 단차 커버리지를 가진 피처들 내로 텅스텐을 증착하도록 사용될 수도 있고, 그리고 또한 깊은 트렌치들을 가진 구조체들을 포함한, 3D NAND 및 수직 NAND 구조체들 내로 텅스텐을 증착

하도록 사용될 수도 있다.

[0025] 순차적인 CVD 프로세스들은 비순차적인 CVD, 펄싱된 CVD, ALD (atomic layer deposition), 및 핵생성 층 증착과 구별된다. 비순차적인 CVD 프로세스들은 2개의 반응물질들 양자가 증착 동안 동시에 흐르도록 2개의 반응물질들의 동시의 노출을 수반한다. 예를 들어, 벌크 텅스텐은 피쳐들을 충전하기에 충분한 지속기간 동안 동시에 수소 (H_2) 및 텅스텐 헥사플루오라이드 (WF_6) 에 기판을 노출시킴으로써 증착될 수도 있다. 수소 및 WF_6 은 피쳐들 내로 텅스텐을 증착하도록 노출 동안 반응한다. 펄싱된 CVD 프로세스들에서, 일 반응물질이 연속적으로 흐르는 동안 다른 반응물질이 펄싱되지만, 기판은 펄스 각각 동안 재료를 증착하도록 증착 동안 반응물질들 양자에 노출된다. 예를 들어, 기판은 WF_6 이 펄싱되는 동안 H_2 의 연속적인 플로우에 노출될 수도 있고, 그리고 WF_6 및 H_2 는 텅스텐을 증착하도록 펄스 동안 반응한다.

[0026] 대조적으로, 순차적인 CVD 프로세스들은 반응물질들이 동시에 증착 동안 챔버 내로 흐르지 않도록 반응물질 각각에 대한 개별적인 노출들을 구현한다. 오히려, 반응물질 플로우 각각은 시퀀스로 시간적으로 분리된 펄스들로 기판을 하우징하는 챔버에 도입되고, 사이클들로 1회 이상 반복된다. 일반적으로 사이클은 표면 증착 반응을 1회 수행하도록 사용된 동작들의 최소 세트이다. 일 사이클의 결과는 기판 표면 상의 적어도 하나의 부분적인 막 층의 생성이다. 순차적인 CVD의 사이클들은 이하에 더 상세히 기술된다.

[0027] ALD 및 핵생성 층 증착은 또한 사이클들로 시간적으로 분리된 펄스들로 2개의 반응물질들에 기판을 노출시키는 것을 수반한다. 예를 들어, ALD 사이클에서, 제 1 반응물질은 챔버 내로 흐르고, 챔버는 퍼지되고, 제 2 반응물질은 챔버 내로 흐르고, 그리고 챔버는 다시 퍼지된다. 이러한 사이클들은 통상적으로 막 두께를 구축하도록 반복된다. 종래의 ALD 및 핵생성 층 증착 사이클들에서, 제 1 반응물질 플로우는 자기-제한 반응의 제 1 "도즈"를 이룬다. 예를 들어, 기판은 제한된 수의 활성 사이트들을 포함하고, 제 1 반응물질이 기판 상의 활성 사이트들 상에 흡착되고 그리고 표면을 포화시키고, 그리고 제 2 반응물질은 사이클들에서 층 단위로 (layer by layer) 재료를 증착하도록 흡착된 층과 반응한다.

[0028] 그러나, 순차적인 CVD에서, 반응물질들은 반드시 기판 상의 활성 사이트들 상에 흡착될 필요가 없고 그리고 일부 실시예들에서, 반응은 자기-제한적이지 않을 수도 있다. 예를 들어, 순차적인 CVD에서 사용된 반응물질들은 저 흡착 레이트를 가질 수도 있다. 게다가, 기판의 표면 상의 반응물질들은, 제 2 반응물질이 도입될 때 제 2 반응물질과 반드시 반응할 필요가 없을 수도 있다. 오히려, 순차적인 CVD의 일부 실시예들에서, 기판 상의 일부 반응물질들은 사이클 동안 반응되지 않고, 그리고 차후의 사이클까지 반응되지 않는다. 일부 반응물질들은 화학량론적 특성들, 입체 장애 (steric hindrance), 또는 다른 효과들에 기인하여 반응하지 않을 수도 있다.

[0029] 본 명세서에 기술된 방법들이 챔버 내에 하우징될 수도 있는 기판 상에서 수행된다. 기판은 실리콘 웨이퍼일 수도 있으며, 예를 들어, 200- mm 웨이퍼, 300- mm 웨이퍼, 또는 450- mm 웨이퍼일 수도 있으며, 이들은 그 상에 증착된 재료, 예를 들어 유전체, 도전성 또는 반도체성 재료의 하나 이상의 층들을 갖는 웨이퍼들을 포함한다. 기판들은 좁은 개구 및/또는 재차 들어간 (re-entrant) 개구, 피쳐 내의 협착부들 (constriction), 및 고종횡비들 중 하나 이상을 특징으로 할 수도 있는, 비아 또는 콘택트 홀들과 같은 피쳐들을 포함할 수도 있다. 피쳐는 하나 이상의 상기에 기술된 층들 내에 형성될 수도 있다. 예를 들어, 피쳐는 적어도 부분적으로 유전체 층 내에 형성될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 피쳐는 적어도 약 2:1, 적어도 약 4:1, 적어도 약 6:1, 적어도 약 10:1, 또는 그보다 높은 종횡비를 가질 수도 있다. 피쳐의 일 예는 반도체 기판 또는 기판 상의 층 내의 홀 또는 비아이다.

[0030] 도 1b 내지 도 1h는 개시된 실시예들에 따른, 내부에 텅스텐이 증착될 수도 있는 다양한 구조체들의 개략적인 예들이다. 도 1b는 텅스텐으로 충전될 수직 피쳐 (101)의 단면도의 예를 도시한다. 피쳐는 기판 (103) 내에 피쳐 홀 (105)을 포함할 수 있다. 홀 (105)은 또한 개구와 근사한 치수, 예를 들어, 약 10 nm 내지 500 nm , 예를 들어, 약 25 nm 내지 300 nm 의 개구 직경 또는 라인 폭을 가질 수도 있다. 피쳐 홀 (105)은 충전되지 않은 피쳐 또는 단순히 피쳐로서 지칭될 수 있다. 피쳐 (101), 및 임의의 피쳐는 수직 측들을 가진 수직으로-배향된 피쳐들 및 수평 측들을 가진 수평으로-배향된 피쳐들과 함께, 피쳐의 길이를 통해 연장하는 측 (118)을 부분적으로 특징으로 할 수도 있다.

[0031] 일부 실시예들에서, 피쳐들은 3D NAND 구조체 내의 트렌치들이다. 예를 들어, 기판은 적어도 60개의 라인들을 가진 워드선 구조체, 18 내지 48개의 층들, 적어도 200 $\text{\AA}$ 깊이의 트렌치들을 포함할 수도 있다. 또 다른 예는 기판 또는 층 내의 트렌치이다. 피쳐들은 임의의 깊이의 피쳐들일 수도 있다. 다양한 실시예들에서, 피쳐는 배리어 층 또는 부착 층과 같은 하층 (under-layer)을 가질 수도 있다. 하층들의 비제한적인 예들은 유전체

층들 및 도전성 층들, 예를 들어, 실리콘 옥사이드들, 실리콘 나이트라이드들, 실리콘 카바이드들, 금속 옥사이드들, 금속 나이트라이드들, 금속 카바이드들, 및 금속 층들을 포함한다.

[0032] 도 1c는 재차 들어간 프로파일을 가진 피처 (101) 의 예를 도시한다. 재차 들어간 프로파일은 폐쇄된 하단 단부로부터 피처 개구로 또는 피처의 내부로부터 피처 개구로 좁아지는 프로파일이다. 다양한 구현예들에 따르면, 프로파일은 점점 좁아질 수도 있고 그리고/또는 피처 개구에서 오버행 (overhang) 을 포함할 수도 있다. 도 1c는 피처 홀 (105) 의 내부 표면들 또는 측벽을 라이닝하는 (line) 하층 (113) 을 가진 후자의 예를 도시한다. 하층 (113) 은 예를 들어, 확산 배리어 층, 접착 층, 핵생성 층, 이들의 조합, 또는 임의의 다른 적절한 재료일 수 있다. 하층들의 비제한적인 예들은 유전체 층들 및 도전성 층들, 예를 들어, 실리콘 옥사이드들, 실리콘 나이트라이드들, 실리콘 카바이드들, 금속 옥사이드들, 금속 나이트라이드들, 금속 카바이드들, 및 금속 층들을 포함할 수 있다. 특정한 구현예들에서, 하층은 하나 이상의 Ti, TiN, WN, TiAl, 및 W일 수 있다. 하층 (113) 은 하층 (113) 이 피처 (101) 의 내부보다 피처 (101) 의 개구 근방에서 보다 두껍도록 오버행 (115) 을 형성한다.

[0033] 일부 구현예들에서, 피처 내에 하나 이상의 협착부들을 가진 피처들이 충전될 수도 있다. 도 1d는 협착부들을 가진 다양한 충전된 피처들의 도면들의 예들을 도시한다. 도 1d에서 예들 (a), (b) 및 (c) 각각은, 피처 내의 중간지점에 협착부 (109) 를 포함한다. 협착부 (109) 는 예를 들어, 약 15 nm 내지 20 nm 너비일 수 있다. 협착부들은 피처의 부분이 충전되기 전에 협착부를 지나서 추가의 증착을 차단하는 증착된 텅스텐과 함께, 종래의 기법들을 사용하여 피처 내에 텅스텐을 증착하는 동안 핀치 오프 (pinch off) 를 유발할 수 있고, 피처 내에 보이드들을 발생시킨다. 예 (b) 는 피처 개구에 라이너/배리어 오버행 (115) 을 더 포함한다. 이러한 오버행은 또한 잠재적인 핀치-오프 지점일 수 있다. 예 (c) 는 예 (b) 의 오버행 (115) 보다 필드 구역으로부터 더 떨어져서 협착부 (112) 를 포함한다.

[0034] 3-D 메모리 구조체들과 같은, 수평 피처들이 또한 충전될 수 있다. 도 1e는 협착부 (151) 를 포함하는 수평 피처 (150) 의 예를 도시한다. 예를 들어, 수평 피처 (150) 는 VNAND 구조체 내의 워드선일 수도 있다.

[0035] 일부 구현예들에서, 협착부들은 VNAND 구조체 또는 다른 구조체 내의 필라들 (pillar) 의 존재 때문에 있을 수 있다. 도 1f는 예를 들어, VNAND 또는 VIM (vertically integrated memory) 구조체 (148) 내의 필라들 (125) 의 평면도를 도시하고, 도 1g는 필라들 (125) 의 단면도의 간략한 개략도를 도시한다. 도 1f에서 화살표들은 증착 재료를 나타내고; 필라들 (125) 이 영역 (127) 과 가스 유입부 또는 다른 증착 소스 사이에 배치되기 때문에, 인접한 필라들은 영역 (127) 의 보이드 프리 충전에서 과제들을 나타내는 협착부들 (151) 을 발생시킬 수 있다.

[0036] 구조체 (148) 는 예를 들어, 기판 (100) 상에 교번하는 층간 유전체 층들 (129) 과 희생적인 층들 (미도시) 의 스택을 증착함으로써 그리고 희생적인 층들을 선택적으로 에칭함으로써 형성될 수 있다. 층간 유전체 층들은 예를 들어, 에천트를 사용하여 선택적으로 에칭 가능한 재료로 이루어진 희생적인 층들을 가진, 실리콘 옥사이드 및/또는 실리콘 나이트라이드 층들일 수도 있다. 완성된 메모리 디바이스의 채널 구역들을 포함할 수 있는, 필라들 (125) 을 형성하도록 에칭 프로세스 및 증착 프로세스가 이어질 수도 있다.

[0037] 기판 (100) 의 주 표면은 x 방향 및 y 방향으로 연장될 수 있고, 필라들 (125) 은 z 방향으로 배향된다. 도 1f 및 도 1g의 예에서, x-방향에서 바로 인접한 필라들 (125) 이 y-방향에서 서로 오프셋되도록 (그 역도 가능) 필라들 (125) 은 오프셋 방식으로 배치된다. 다양한 구현예들에 따르면, 필라들 (그리고 인접한 필라들에 의해 형성된 대응하는 협착부들) 은 임의의 수의 방식으로 배치될 수도 있다. 게다가, 필라들 (125) 은 원형, 정사각형, 등을 포함한 임의의 형상일 수도 있다. 필라들 (125) 은 환형 반도체성 재료, 또는 원형 (또는 정사각형) 반도체성 재료를 포함할 수 있다. 게이트 유전체는 반도체성 재료를 둘러쌀 수도 있다. 층간 유전체 층 (129) 각각 사이의 영역은 텅스텐으로 충전될 수 있고; 구조체 (148) 는 x 방향 및/또는 y 방향으로 충전되도록 연장하는 복수의 스택된 수평으로-배향된 피처들을 갖는다.

[0038] 도 1h는 수평 피처, 예를 들어, 필라 협착부들 (151) 을 포함하는 VNAND 또는 다른 구조체의 도면의 또 다른 예를 제공한다. 도 1h의 예는 개방-단부를 갖고 (open-ended), 증착될 재료는 화살표들로 나타낸 바와 같이 2개의 측면들로부터 수평으로 진입할 수 있다. (도 1h의 예가 구조체의 3-D 피처들을 제공하는 2-D 피처들로서 보일 수 있고, 도 1h가 충전될 영역의 단면도이고 필라 협착부들이 단면도보다는 평면으로 보일 협착부들을 나타낸 도면으로 도시된다는 것을 주의해야 한다.) 일부 구현예들에서, 3-D 구조체들은 2차원 또는 3차원을 따라 (예를 들어, 도 1g의 예에서 x 방향과 y 방향으로 또는 x 방향, y 방향 및 z 방향으로) 확장하여 충전될 영역을 특징으로 할 수 있고, 1차원 또는 2차원을 따라 확장하는 홀들 또는 트렌치들을 충전하는 것보다 충진을 위한

보다 많은 과제들을 제공할 수 있다. 예를 들어, 3-D 구조체의 충진을 제어하는 것은, 증착 가스들이 다중 차원으로부터 피처에 진입할 수도 있기 때문에 어려울 수 있다.

[0039] 수평으로-배향된 피처와 수직으로-배향된 피처에 대한 피처 충진의 예들은 이하에 기술된다. 대부분의 경우들에서, 이러한 예들이 수평으로-배향된 피처와 수직으로-배향된 피처 양자에 적용 가능하다는 것을 주의해야 한다. 게다가, 이하의 기술에서, 용어 "측면"은 피처 측에 대체로 직각인 방향을 지칭하도록 사용될 수도 있고 용어 "수직"은 대체로 피처 축을 따르는 방향을 지칭하도록 사용될 수도 있다.

[0040] 이하의 기술이 텅스텐 피처 충진에 초점을 맞추지만, 본 개시의 양태들은 또한 다른 재료들로 피처들을 충진하는데 있어서 구현될 수도 있다. 예를 들어, 본 명세서에 기술된 하나 이상의 기법들을 사용하는 피처 충진은, 다른 텅스텐-함유 재료들 (예를 들어, 텅스텐 나이트라이드 (WN) 및 텅스텐 카바이드 (WC)), 티타늄-함유 재료들 (예를 들어, 티타늄 (Ti), 티타늄 나이트라이드 (TiN), 티타늄 실리사이드 (TiSi), 티타늄 카바이드 (TiC) 및 티타늄 알루미늄사이드 (TiAl)), 탄탈륨-함유 재료들 (예를 들어, 탄탈륨 (Ta), 및 탄탈륨 나이트라이드 (TaN)), 및 니켈-함유 재료들 (예를 들어, 니켈 (Ni) 및 니켈 실리사이드 (NiSi)) 을 포함한 다른 재료들로 피처들을 충진하도록 사용될 수도 있다. 또한, 본 명세서에 개시된 방법들 및 장치는 피처 충진으로 제한되지 않지만, 평평한 표면들 상에 블랭킷 막들을 형성하는 것을 포함하여, 임의의 적절한 표면 상에 텅스텐을 증착하도록 사용될 수 있다.

[0041] 도 2a는 개시된 실시예들에 따라 수행된 방법에 대한 프로세스 흐름도를 제공한다. 도 2a의 동작들 202 내지 210은 ALD에 의해 텅스텐 핵생성 층을 증착하도록 수행된다. 본 명세서에 기술된 다양한 실시예들에서, 동작들 202 내지 210은 동작 280보다 보다 저압에서 수행된다. 예를 들어, 동작들 202 내지 210은 약 10 Torr 미만인 저압에서 수행될 수도 있다. 일부 예들에서, 동작들 202 내지 210은 약 10 Torr의 압력, 또는 약 3 Torr의 압력에서 수행된다. 특정한 이론에 매이지 않고, 저압에서 동작들 202 내지 210을 수행하는 것이, 보다 적은 불소가 막 내로 포함되도록 막이 증착될 때 챔버 내의 불소-함유 전구체의 보다 저 분압에 기인하여 증착된 텅스텐 막 내의 불소 농도를 감소시킨다고 여겨진다. 증착된 텅스텐 내의 저 불소 농도를 달성하도록 저압에서 텅스텐 핵생성 층을 증착하기 위한 프로세스들의 예들은, 2015년 5월 27일 출원된 미국 특허 출원 일련번호 제 14/723,275 호 (대리인 문서 제 LAMRP183/3623-1US 호) 에 더 기술된다.

[0042] 동작 202에서, 기판은 WF_6 과 같은 텅스텐-함유 전구체에 노출된다. 본 명세서의 기술의 목적들을 위해, WF_6 이 텅스텐-함유 전구체의 예로서 사용되지만, 다른 텅스텐-함유 전구체들이 개시된 실시예들을 수행하기에 적합할 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 금속-유기 텅스텐-함유 전구체가 사용될 수도 있다. 유기-금속 전구체들 및 불소 프리인 전구체들, 예를 들어, MDNOW (methylcyclopentadienyl-dicarbonylnitrosyltungsten) 및 EDNOW (ethylcyclopentadienyl-dicarbonylnitrosyltungsten) 가 또한 사용될 수도 있다. 텅스텐-함유 전구체는 이들 화합물들의 조합을 포함할 수도 있다. 일부 실시예들에서, 캐리어 가스, 예를 들어, 질소 (N_2), 아르곤 (Ar), 헬륨 (He), 또는 다른 불활성 가스들이 동작 202 동안 흐를 수도 있다.

[0043] 동작 202는 임의의 적합한 지속기간 동안 그리고 임의의 적합한 온도에서 수행될 수도 있다. 일부 예들에서, 동작 202는 약 0.25 초 내지 약 30 초, 약 0.25 초 내지 약 5 초, 또는 약 0.5 초 내지 약 3 초의 지속기간 동안 수행될 수도 있다. 일부 실시예들에서 이 동작은 기판의 표면 상의 활성 사이트들을 포화시키기에 충분한 지속기간 동안 수행될 수도 있다.

[0044] 동작 204에서, 챔버는 기판의 표면에 흡착되지 않은 과잉의 WF_6 을 제거하도록 선택 가능하게 퍼지된다. 퍼지는 고정압에서 불활성 가스를 흘림으로써 챔버의 압력을 감소시키고 그리고 또 다른 가스 노출을 개시하기 전에 챔버를 재가압함으로써 실시될 수도 있다.

[0045] 동작 206에서, 기판은 텅스텐 핵생성 층을 증착하도록 환원제에 노출된다. 환원제는 보란, 실란, 또는 게르만일 수도 있다. 예시적인 보란들은 보란 (BH_3), 디보란 (B_2H_6), 트리보란, 알킬 보란들, 아미노보란들, 카르보란들, 및 할로보란을 포함한다. 예시적인 실란들은 실란 (SiH_4), 디실란 (Si_2H_6), 트리실란 (Si_3H_8), 알킬 실란들, 아미노실란들, 카르보실란들, 및 할로실란을 포함한다. 게르만들은 Ge_nH_{n+4} , Ge_nH_{n+6} , Ge_nH_{n+8} , 및 Ge_nH_m 을 포함하고, 여기서 n은 1 내지 10의 정수이고, 그리고 n은 m과 상이한 정수이다. 다른 게르만들, 예를 들어, 알킬 게르만들, 아미노게르만들, 카르보게르만들, 및 할로게르만들이 또한 사용될 수도 있다. 일반적으로, 할로게르만들은 상당한 환원성 (reducing potential) 을 갖고 있지 않을 수도 있지만, 할로게르만들을 사용하여 막 형성에 적합한 텅스텐-함유 전구체들 및 프로세스 조건들이 있을 수도 있다.

- [0046] 동작 206은 임의의 적합한 지속기간 동안 수행될 수도 있다. 일부 예들에서, 예시적인 지속기간들은 약 0.25 초 내지 약 30 초, 약 0.25 초 내지 약 5 초, 또는 약 0.5 초 내지 약 3 초를 포함한다. 일부 실시예들에서, 이 동작은 기판의 표면 상에서 WF_6 의 흡착된 층과 반응하기에 충분할 수도 있다. 동작 206은 이러한 예시적인 범위들 외의 지속기간 동안 수행될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 예를 들어, 아르곤 (Ar), 헬륨 (He), 또는 질소 (N_2) 와 같은 캐리어 가스가 사용될 수도 있다.
- [0047] 동작 206 후에, 피처의 표면 상에서 WF_6 과 반응하지 않은 과잉의 환원제를 여전히 가스 상으로 퍼지하기 위한 선택 가능한 퍼지 단계가 있을 수도 있다. 퍼지는 고정압으로 불활성 가스를 흘림으로써 실시될 수도 있고 그렇게 함으로써 챔버의 압력을 감소시키고 그리고 또 다른 가스 노출을 개시하기 전에 챔버를 재가압한다.
- [0048] 동작 210에서, 텅스텐 핵생성 층이 충분한 두께로 증착되었는지가 결정된다. 만약 그렇지 않다면, 동작들 202 내지 208은, 목표된 두께의 텅스텐 핵생성 층이 피처의 표면 상에 증착될 때까지 반복된다. 동작들 202 내지 208의 반복 각각은 ALD "사이클"로서 지칭될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 동작 202와 동작 206의 순서는 환원제가 먼저 도입된다면 반전될 수도 있다.
- [0049] 텅스텐 핵생성 층이 충분한 두께로 증착된 후에, 동작 280에서, 벌크 텅스텐이 순차적인 CVD에 의해 증착된다. 다양한 실시예들에서, 동작 280은 동작들 202 내지 210 동안의 압력보다 보다 높은 압력에서 수행될 수도 있다. 예를 들어, 동작 280은 약 10 Torr 이상의 압력, 예를 들어 약 10 Torr, 또는 약 40 Torr에서 수행될 수도 있다.
- [0050] 도 2b는 동작 280 동안 수행될 수도 있는 동작들에 대한 프로세스 흐름도를 제공한다. 도 2b의 동작들은 도 2a의 동작들을 수행하지 않고 수행될 수도 있다. 도 2c는 프로세스 (200)의 순차적인 CVD의 예시적인 사이클들을 도시한 타이밍 시퀀스도를 제공한다. 도 3a 내지 도 3j는 순차적인 CVD의 사이클들에 대한 예시적인 메커니즘의 개략적인 예시들이다.
- [0051] 도 2b에서, 동작 282에서, 기판은 H_2 와 같은 환원제에 노출된다. 이 동작은 본 명세서에서 교체 가능하게 사용될 수도 있는, "펄스" 또는 "도즈"로서 지칭될 수도 있다. 본 명세서에 기술된 실시예들에서, H_2 가 예시적인 환원제로서 제공되지만, 실란들, 보란들, 게르만들, 포스핀들, 수소-함유 가스들, 및 이들의 조합들을 포함한 다른 환원제들이 사용될 수도 있음이 이해될 것이다. 비순차적인 CVD와 달리, H_2 는 또 다른 반응물질을 흘리지 않고 펄싱된다. 일부 실시예들에서, 캐리어 가스가 흐를 수도 있다. 캐리어 가스는 도 2a의 동작 206에 대해 상기에 기술된 것들 중 임의의 것일 수도 있다. 동작 282가 임의의 적합한 지속기간 동안 수행될 수도 있다. 일부 예들에서, 예시적인 지속기간들은 약 0.25 초 내지 약 30 초, 약 0.25 초 내지 약 5 초, 또는 약 0.5 초 내지 약 3 초를 포함한다.
- [0052] 도 2c는 도 2b의 동작 282에 대응할 수도 있는 증착 사이클 211A의 H_2 도즈 220A를 도시한다. H_2 도즈 220A 동안, 캐리어 가스가 흐르고, 환원제가 펄싱되고, 그리고 WF_6 플로우가 턴 오프된다 (turned off).
- [0053] 도 3a는 상부에 증착된 텅스텐 핵생성 층 (301) 을 가진 기판 (300) 에 H_2 가 도입되는, 예시적인 메커니즘을 도시한다. 수소는 가스 상 (311a 및 311b) 으로 도입되고 그리고 일부 H_2 (313a 및 313b) 는 텅스텐 핵생성 층 (301) 의 표면 상에 있지만, 표면 상에 흡착할 필요는 없을 수도 있다. 예를 들어, H_2 는 핵생성 층 (301) 상에 화학흡착할 필요는 없을 수도 있지만, 일부 실시예들에서, 핵생성 층 (301) 의 표면 상에 물리흡착할 수도 있다.
- [0054] 도 2b를 다시 참조하면, 동작 284에서, 챔버는 퍼지된다. 이 퍼지 동작은 가스 상으로 남아 있는 과잉의 H_2 를 제거할 수도 있다. 퍼지는 고정압에서 불활성 가스를 흘림으로써 챔버의 압력을 감소시키고 그리고 또 다른 가스 노출을 개시하기 전에 챔버를 재가압함으로써 실시된다. 챔버는 임의의 적합한 지속기간 동안, 예를 들어, 약 0.1 초 내지 약 3 초의 지속기간 동안 퍼지될 수도 있다. 도 2b의 동작 284는 도 2c의 퍼지 페이지 240A에 대응할 수도 있다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 퍼지 페이지 240A 동안, 캐리어 가스는 흐르지만, H_2 플로우 및 WF_6 플로우는 턴 오프된다. 도 3b는 이전에 가스 상인 H_2 (도 3a에서 311a 및 311b) 가 챔버로부터 퍼지되고, 그리고 이전에 표면 상의 H_2 (313a 및 313b) 가 텅스텐 핵생성 층 (301) 의 표면 상에 남아 있는 예시적인 예를 도시한다.

- [0055] 도 2b를 다시 참조하면, 동작 286에서, 기판은 기판 상에 막의 서브-모노레이어(sub-monolayer)를 형성하도록 텅스텐-함유 전구체(예를 들어, WF_6)에 노출된다. 다양한 실시예들에서, WF_6 은 이 동작 동안 약 0.1 초 내지 약 3 초, 또는 약 0.5 초의 지속기간 동안 챔버로 흐른다. 일부 실시예들에서, WF_6 은 가스 라인을 충전하고 도징 전에 라인을 변경하도록 방향 전환될 수도 있다. 일부 실시예들에서, WF_6 은 챔버로 흐르지만 기판의 표면 상에서 모든 H_2 분자들과 완전히 반응하지 않는다. 동작 286은 도 2c의 WF_6 도즈 260A에 대응할 수도 있다. 도 2c에 도시된 바와 같이, WF_6 도즈 260A 동안, 캐리어 가스는 흐르고, H_2 플로우는 턴 오프되고, 그리고 WF_6 플로우는 턴 온된다(turned on).
- [0056] 도 3c는 도 2b의 동작 286에 대한 예시적인 개략도를 도시한다. 도 3c에서, 기판은 WF_6 에 노출되고, WF_6 의 일부는 가스 상으로 있고(331a 및 331b), WF_6 의 일부는 기판의 표면에 있거나 표면 근방에 있다(323a 및 323b).
- [0057] 도 2b의 동작 286 동안, 일부 WF_6 은 이전 도즈로부터 표면 상에 남아 있는 H_2 와 반응할 수도 있다. 도 3d에 도시된 바와 같이, WF_6 은 일시적으로 중간 생성물(343b)을 형성하도록 H_2 와 반응할 수도 있고, 도 3e에서, 중간 생성물(343b)은 핵생성 층(301) 상에서 기판(300)의 표면 상에 텅스텐(390) 및 가스 상인 HF (예를 들어, 351a 및 351b)를 남기도록 완전히 반응한다.
- [0058] 도 2b의 동작 286 동안, 일부 WF_6 은 이전의 도즈로부터 표면 상에 남아 있는 H_2 와 완전히 반응하지 않을 수도 있다. 도 3d에 도시된 바와 같이, WF_6 은 중간 생성물(343a)을 형성하도록 H_2 와 부분적으로 반응할 수도 있고, 도 3e에서, 중간 생성물(343a)은 핵생성 층(301) 상의 기판(300)의 표면 상에서 부분적으로 반응된다. WF_6 및 H_2 를 수반한 반응 메커니즘은, 활성화 에너지 배리어들 및 입체 효과들(steric effects)에 기인하여 텅스텐 핵생성 층의 증착을 위한, 보란 또는 실란 또는 게르만과 WF_6 간의 반응보다 보다 느릴 수도 있다. 예를 들어, 특정한 이론에 매이지 않고, WF_6 의 화학량론은 WF_6 의 일 분자와 반응하도록 적어도 3개의 H_2 분자들을 사용할 수도 있다. WF_6 은 H_2 의 분자들과 부분적으로 반응하고 텅스텐을 형성하기보다는, 중간 생성물이 형성되는 것이 가능하다. 예를 들어, 이것은 화학량론적 원리들(예를 들어, 3개의 H_2 분자들이 WF_6 의 일 분자와 반응하도록 사용됨)에 기초하여 WF_6 과 반응하기에 그 근방에 H_2 가 충분하지 않다면 발생할 수도 있고, 이에 따라 기판의 표면 상에 중간 생성물(343a)을 남긴다.
- [0059] 도 2b의 동작 286 동안, 기판 표면 상에 물리흡착되거나 남아 있는 H_2 가 없는 경우에, 일부 WF_6 은 H_2 와 전혀 반응하지 않을 수도 있고 대신에 기판의 표면 상에 물리흡착될 수도 있다. 일부 실시예들에서, WF_6 은 기판 표면 상에 남아 있을 수도 있지만 표면에 물리흡착되거나 화학흡착되지 않을 수도 있다.
- [0060] 많은 실시예들에서 도 2b의 동작 286은 텅스텐의 서브-모노레이어를 형성할 수도 있다. 예를 들어, 약 0.3 Å의 두께를 가진 서브-모노레이어는 동작들 282 내지 286을 수행한 후에 증착될 수도 있다.
- [0061] 도 2b의 동작 288에서, 챔버는 챔버로부터 반응된 부산물들 및 가스 상인 WF_6 을 제거하도록 퍼지된다. 일부 실시예들에서, 동작 288의 매우 짧은 퍼지 지속기간은, 보다 고 응력 막이 증착되도록 비순차적인 CVD 반응 특성들을 증가시킬 수도 있다. 일부 실시예들에서, 퍼지 지속기간은 약 0.1 초 내지 약 2 초이고 그리고 텅스텐의 표면에 대한 WF_6 의 저 흡착 레이트에 기인하여 기판 표면으로부터 모든 WF_6 을 제거하는 것을 방지할 수도 있다. 일부 실시예들에서, 퍼지 지속기간은 약 0.1 초 내지 약 15 초, 예를 들어, 약 7 초이다. 예를 들어, 3D NAND 구조체의 제조를 위해, 챔버는 동작 288 동안 약 7 초 동안 퍼지될 수도 있다. 퍼지 지속기간은 기판 및 응력에 따라 결정된다.
- [0062] 도 2b의 동작 288은 도 2c의 퍼지 페이즈 270A에 대응할 수도 있다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 퍼지 페이즈 270A는 증착 사이클 211A를 종결한다. 도 3f는 챔버가 퍼지될 때 기판의 예시적인 개략도를 제공한다. 화합물(343c)은 형성되지만 완전히 반응되지 않은 중간 생성물일 수도 있고, 반면에 일부 텅스텐(390)은 기판 상에 형성될 수도 있다는 것을 주의하라. 이에 따라 사이클 각각은 기판 상에 텅스텐의 서브-모노레이어를 형성한다.
- [0063] 일부 실시예들에서, 동작 286 및 동작 282는 동작 286이 동작 282 전에 수행된다면 반전될 수도 있다. 일부 실

시예들에서, 동작 282는 동작 286 전에 수행될 수도 있다.

[0064] 도 2b의 동작 290에서, 벌크 텅스텐이 충분한 두께로 증착되었는지가 결정된다. 만약 그렇지 않다면, 동작들 282 내지 288은 목표된 두께가 증착될 때까지 반복된다. 일부 실시예들에서, 동작들 282 내지 288은 피처가 충전될 때까지 반복된다. 도 2c에서, 벌크 텅스텐이 충분한 두께로 증착되지 않았다고 결정되고, 그렇다면 도 2b의 동작들 282 내지 288은, H₂ 도즈 220B가 수행되고, 퍼지 페이지 240B가 이어지도록 증착 사이클 211B로 반복된다. WF₆ 도즈 260B가 수행되고, 또 다른 퍼지 페이지 270B가 이어진다.

[0065] 예로서, 도 3g는 반복된 사이클의 동작 282를 도시하고, 여기서 가스 상인 H₂ (311c)는 상부에 증착된 텅스텐 (390) 및 부분적으로 반응된 중간 생성물 (343d)을 가진 기관에 도입된다. 도입된 H₂는 이제, 도 3h에 도시된 바와 같이, 반응된 화합물 (343d)이 증착된 텅스텐 (390b 및 390c)을 남기고, 부산물들 HF (351c 및 351d)가 가스 상으로 형성되도록, 기관 상에서 중간 생성물 (343d)과 완전히 반응할 수도 있다는 것을 주의하라. 일부 H₂ (311c)는 가스 상으로 남아 있을 수도 있고, 반면에 일부 H₂ (313c)는 텅스텐 층 (390a) 상에 남아 있을 수도 있다. 도 3i에서, 챔버는 퍼지되고 (도 2b의 동작 284, 또는 도 2c의 동작 240B에 대응함), 증착된 텅스텐 (390a, 390b, 및 390c), 및 일부 H₂ (313c)를 남긴다. 도 3j에서, WF₆은 분자들 (331c 및 323c)이 H₂ 및 기관과 흡착되고 그리고/또는 H₂ 및 기관과 반응할 수도 있도록 도즈로 다시 도입된다. 도 3j는 도 2b의 동작 286 또는 도 2c의 260B에 대응할 수도 있다. WF₆ 도즈 후에, 챔버는 다시 퍼지될 수도 있고 그리고 사이클들은 목표된 두께의 텅스텐이 증착될 때까지 다시 반복될 수도 있다.

[0066] 개시된 실시예들을 사용하여 증착된 텅스텐 막들은, 비순차적인 CVD에 의해 증착된 텅스텐보다 약 두 자릿수가 더 작은 불소 농도와 같은, 저 불소 농도들을 갖는다. 온도, 펄스 시간들, 및 다른 파라미터들과 같은 증착 조건들은 하드웨어 또는 프로세스 수정들에 따라 가변할 수도 있다. 막들의 전체 인장 능력은 약 1 GPa 미만일 수도 있다.

[0067] 도 3k는 개시된 실시예들에 따라 수행된 방법에 대한 프로세스 흐름도를 제공한다. 동작 280에서, 벌크 텅스텐이 순차적인 CVD에 의해 증착된다. 프로세스 조건들 및 화학 반응들은 도 2b 및 도 3a 내지 도 3j에 대해 상기에 기술된 것들 중 임의의 것들일 수도 있다. 동작 299에서, 벌크 텅스텐은 비순차적인 CVD에 의해 증착된다. 비순차적인 CVD 동안, 기관은 동시에 벌크 텅스텐을 증착하도록 텅스텐-함유 전구체와 환원제에 노출된다. 예시적인 텅스텐-함유 전구체들은 불소-함유 전구체들 (예를 들어, WF₆), 염소-함유 전구체들 (예를 들어, WCl_x), 및 텅스텐 헥사카보닐 (W(CO)₆)을 포함한다. 예시적인 환원제들은 수소를 포함한다. 일부 실시예들에서, 비순차적인 CVD는 기관을 WF₆ 및 H₂에 노출시킴으로써 증착된다. 동작 280 및 동작 299는 순차적으로 수행될 수도 있거나, 임의의 동작 280은 동작 299를 수행하기 전 또는 후에 1회 이상 수행될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 동작들 280 및 299는, 동작 299가 동작 280을 수행하는 2 이상의 사이클들마다 수행되도록 펄스들로 수행된다. 따라서 벌크 텅스텐은 순차적인 CVD와 비순차적인 CVD의 조합을 사용하여 증착될 수도 있다.

[0068] 개시된 실시예들은 텅스텐 증착 프로세스들에서 다양한 애플리케이션들을 가질 수도 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 피처는 환원제 (예를 들어, 보란, 실란, 또는 게르만)와 WF₆의 교번하는 펄스들의 ALD 사이클들에 의해 텅스텐 핵생성 층을 증착함으로써 충전될 수도 있고, 도 2b에 대해 상기에 기술된 바와 같이 순차적인 CVD에 의한 벌크 텅스텐 증착이 이어진다.

[0069] 또 다른 예에서, 일부 실시예들에서, 텅스텐 핵생성 층은 환원제와 WF₆의 ALD 사이클들을 사용하여 증착될 수도 있고, 도 2b에 대해 상기에 기술된 바와 같이 환원제와 불소 프리 텅스텐-함유 전구체 (예를 들어, 금속-유기 텅스텐 전구체)를 사용한 불소 프리 텅스텐의 CVD와 순차적인 CVD의 조합을 사용한 벌크 텅스텐 증착이 이어진다. 불소-프리 텅스텐 전구체들은 또한 텅스텐 카르보닐 (W(CO)₆), 및 텅스텐 펜타클로라이드 (WCl₅)와 텅스텐 헥사클로라이드 (WCl₆)와 같은 텅스텐 클로라이드들 (WCl_x)을 포함할 수도 있다.

[0070] 또 다른 예에서, 텅스텐 핵생성 층은 환원제와 WF₆의 교번하는 펄스들의 ALD 사이클들에 의해 피처 상에 증착될 수도 있고, 그리고 벌크 텅스텐은 도 2b에 대해 상기에 기술된 바와 같이 순차적인 CVD와 비순차적인 CVD 사이를 교번함으로써 증착될 수도 있다. 예를 들어, 벌크 텅스텐은 비순차적인 CVD의 미리 결정된 지속기간들 사이에 순차적인 CVD의 복수의 사이클들을 사용하여 증착될 수도 있다. 특정한 예에서, 벌크 텅스텐은 약 5 사이클들의 순차적인 CVD, 이어서 5 초의 비순차적인 CVD, 이어서 5 사이클들의 순차적인 CVD, 그리고 또 다른 5 초의

비순차적인 CVD를 사용하여 증착될 수도 있다.

[0071] 또 다른 예에서, 피처는 먼저 환원제와 WF_6 의 교번하는 펄스들의 ALD 사이클들에 의해 텅스텐 핵생성 층을 증착함으로써 충전될 수도 있고, 이어서 순차적인 CVD를 사용하여 피처를 부분적으로 충전하고, 그리고 비순차적인 CVD에 의해 피처의 나머지를 충전한다.

[0072] 또 다른 예에서, 피처는 환원제와 WF_6 의 교번하는 펄스들의 ALD 사이클들에 의해 텅스텐 핵생성 층을 증착함으로써 충전될 수도 있고, 순차적인 CVD에 의한 벌크 텅스텐의 부분적인 증착이 이어지고, 그리고 불소 프리 텅스텐 (금속-유기 텅스텐 전구체를 사용하는 것과 같음)의 CVD에 의한 완전한 벌크 충전이 이어진다. 예를 들어, 순차적인 CVD의 복수의 사이클들이 벌크 텅스텐으로 피처를 부분적으로 충전하도록 수행될 수도 있고, 피처의 나머지를 충전하도록 MDNOW 및 H_2 에 대한 동시의 노출을 사용한 CVD가 이어진다. 일부 실시예들에서, 피처는 핵생성 층을 증착하지 않고 충전될 수도 있지만, 핵생성 층은 벌크 텅스텐의 성장 지연을 감소시키는 것을 도울 수도 있다는 것을 주의하라.

[0073] 본 명세서에 기술된 애플리케이션들의 다양한 조합들이 텅스텐을 증착하도록 사용될 수도 있고 그리고 방법들이 본 명세서에 제공된 예들에 제한되지 않는다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 텅스텐 펜타클로라이드 (WCl_5)와 텅스텐 헥사클로라이드 (WCl_6)와 같은 염소-함유 텅스텐 전구체들 (WCl_x)이 본 명세서에 기술된 실시예들에서 WF_6 대신에 또는 WF_6 와 조합하여 사용될 수도 있다.

[0074] 다양한 실시예들에서, 소크 또는 표면 처리 동작은 핵생성 층을 증착하기 전에 수행될 수도 있다. 예시적인 소크 또는 표면 처리들은 기관을 실란 (SiH_4), 디실란 (Si_2H_6), 트리실란 (Si_3H_8), 게르만 (GeH_4), 아르곤 (Ar), 텅스텐 헥사플루오라이드 (WF_6), 디보란 (B_2H_6), 수소 (H_2), 질소 (N_2) 가스, 또는 이들의 조합들에 노출시키는 것을 포함한다. 일부 실시예들에서, 기관은 하나 이상의 가스들을 사용하여 소킹될 수도 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 기관은 제 1 지속기간 동안 실란에 노출될 수도 있고, 이어서 제 2 지속기간 동안 디보란에 노출될 수도 있다. 이러한 동작들은 또한 사이클들로 반복될 수도 있다. 또 다른 예에서, 기관은 제 1 지속기간 동안 디보란에 노출될 수도 있고, 이어서 제 2 지속기간 동안 실란에 노출될 수도 있다. 또 다른 예에서, 기관은 제 1 지속기간 동안 디보란에 노출될 수도 있고, 이어서 제 2 지속기간 동안 수소에 노출될 수도 있다. 또 다른 예에서, 기관은 제 1 지속기간 동안 실란에 노출될 수도 있고, 이어서 제 2 지속기간 동안 수소에 노출될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 기관은 임의의 상술된 소킹 프로세스들과 조합하여 질소 가스에 노출될 수도 있다. 임의의 개시된 실시예들에서, 기관을 하우징하는 챔버는 하나 이상의 소크 동작들 사이에서 퍼지될 수도 있다. 퍼지는 아르곤과 같은 불활성 가스를 챔버 내로 흘림으로써 수행될 수도 있다. 예를 들어, 일 예에서, 기관은 제 1 지속기간 동안 디보란에 노출될 수도 있고, 이어서 챔버는 퍼지될 수도 있고, 그리고 이어서 기관은 제 2 지속기간 동안 실란에 노출될 수도 있다.

[0075] 벌크 텅스텐 층의 증착 전에 특정한 개시된 실시예들에 따라 증착된 핵생성 층들은, 텅스텐-함유 전구체와 환원제, 예를 들어, 실란 (SiH_4), 디실란 (Si_2H_6), 트리실란 (Si_3H_8), 게르만 (GeH_4), 또는 디보란 (B_2H_6) 사이클 교번함으로써 증착될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 텅스텐-함유 전구체와 실란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써 증착된다. 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 텅스텐-함유 전구체와 디보란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써 증착된다. 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 텅스텐-함유 전구체와 실란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써, 이어서 텅스텐-함유 전구체와 디보란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써 증착된다. 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 텅스텐-함유 전구체와 디보란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써, 이어서 텅스텐-함유 전구체와 실란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써 증착된다. 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 텅스텐-함유 전구체와 실란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써, 이어서 텅스텐-함유 전구체와 디보란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써, 이어서 텅스텐-함유 전구체와 실란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써 증착된다. 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 텅스텐-함유 전구체와 디보란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써, 이어서 텅스텐-함유 전구체와 실란의 교번하는 펄스들에 기관을 노출시킴으로써 증착된다. 임의의 개시된 실시예들에서, 기관을 하우징하는 챔버는 핵생성 층을 증착하기 위해 하나 이상의 도즈 동작들 사이에서 퍼지될 수도 있다. 퍼지는 챔버 내로 아르곤과 같은 불활성 가스를 흘림으로써 수행될 수도 있다. 임의의 적합한 불활성 가스는 퍼지를 위해 사용될 수도 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 기관은 텅스텐-함유 전구체의 펄스에 노출될 수도 있고, 이어서 챔버는 퍼지될 수도 있고, 이어서 기관은 실란

의 펄스에 노출될 수도 있고, 그리고 챔버는 다시 퍼지될 수도 있고, 그리고 이러한 동작들은 사이클들로 반복될 수도 있다.

[0076] 임의의 상술된 구현예들에서 사용될 수도 있는 핵생성 층 증착은, 전체 핵생성 증착 프로세스 동안, 또는 실란 도즈 동안, 또는 디보란 도즈 동안, 또는 WF_6 도즈와 같은 텅스텐-함유 전구체 도즈 동안, 또는 임의의 퍼지 시간들 동안, 수소 (H_2), 아르곤 (Ar), 질소 (N_2) 중 임의의 하나, 또는 이들의 조합들을 함께 흘리는 것 (co-flowing) 을 포함할 수도 있다. 일부 실시예들에서, 표면 처리 동작은 실란, 디실란, 트리실란, 게르만, 디보란, 수소, 텅스텐 헥사플루오라이드, 질소, 아르곤, 및 이들의 조합들 중 임의의 것에 기판을 노출시킴으로써 핵생성 성장 동안 또는 핵생성 성장 후에 수행될 수도 있다. 예를 들어, 핵생성 층의 증착 동안, 기판은 실란과 WF_6 의 교번하는 펄스들에 노출될 수도 있고, 이어서 기판은 실란 소크에 노출될 수도 있고, 이어서 기판은 실란과 WF_6 의 교번하는 펄스들에 노출되는 것을 재개할 수도 있다. 이러한 동작들은 사이클들로 수행될 수도 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 다음의 사이클이 핵생성 층을 증착하도록 1회 이상 반복될 수도 있다: SiH_4 와 WF_6 의 교번하는 펄스들 및 표면에 대한 노출 처리.

[0077] 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 임의의 시퀀스 및 순서로 텅스텐-함유 전구체와 다음의 가스들 중 임의의 하나 이상의 임의의 조합에 기판을 노출시킴으로써 증착될 수도 있다: 디보란, 실란, 디실란, 트리실란, 수소, 질소, 및 게르만 (GeH_4). 예를 들어, 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 디보란에 기판을 노출시킴으로써, 텅스텐 헥사플루오라이드에 기판을 노출시킴으로써, 실란에 기판을 노출시킴으로써, 그리고 수소에 기판을 노출시킴으로써 증착될 수도 있다. 이러한 동작들은 하나 이상의 사이클들로 반복될 수도 있다. 또 다른 예에서, 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 실란에 기판을 노출시킴으로써, 텅스텐 헥사플루오라이드에 기판을 노출시킴으로써, 그리고 수소에 기판을 노출시킴으로써 증착될 수도 있다. 이러한 동작들은 하나 이상의 사이클들로 반복될 수도 있다. 또 다른 예에서, 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 디보란에 기판을 노출시킴으로써, 수소에 기판을 노출시킴으로써, 그리고 텅스텐 헥사플루오라이드에 기판을 노출시킴으로써 증착될 수도 있다. 이러한 동작들은 하나 이상의 사이클들로 반복될 수도 있다. 또 다른 예에서, 일부 실시예들에서, 핵생성 층은 질소에 기판을 노출시킴으로써, 디보란에 기판을 노출시킴으로써, 그리고 텅스텐 헥사플루오라이드에 기판을 노출시킴으로써 증착될 수도 있다. 이러한 동작들은 하나 이상의 사이클들로 반복될 수도 있다. 임의의 기술된 실시예들에서, 기판은 임의의 사용가능한 가스를 사용하여 핵생성 사이클의 증착 전, 동안, 또는 후에 표면 처리 동작 및/또는 소킹 동작에 노출될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 부가적인 가스들은 핵생성 증착 프로세스의 하나 이상의 노출들 동안 임의의 상술된 가스들과 함께 흐를 수도 있다. 임의의 개시된 실시예들에서, 기판을 하우징하는 챔버는 핵생성 층을 증착하기 위해 하나 이상의 도즈 동작들 사이에서 퍼지될 수도 있다. 퍼지는 챔버 내로 아르곤과 같은 불활성 가스를 흘림으로써 수행될 수도 있다. 임의의 적합한 불활성 가스가 퍼지를 위해 사용될 수도 있다.

[0078] 벌크 텅스텐은 본 명세서에 기술된 모든 개시된 실시예들 및 전체가 참조로서 본 명세서에 인용되는, 2015년 5월 27에 출원된 미국 특허 출원 일련번호 제 14/723,275 호 (대리인 문서 제 LAMRP183/3623-IUS 호) 를 사용하여 증착될 수도 있다. 모든 상술된 구현예들에서, 벌크 텅스텐은 또한 재핵생성 및/또는 소크 및/또는 표면 처리 및/또는 벌크 증착들 사이에 수행되는 종래의 CVD 증착 동작들로 주기적으로 증착될 수도 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 벌크 텅스텐은 도 2b에 대해 상술된 바와 같이 개시된 실시예들을 사용하여 증착될 수도 있고, 이어서 벌크 텅스텐 증착이 중지될 수도 있고, 이어서 기판은 기판의 표면을 재핵생성하도록 실란과 WF_6 , 또는 디보란과 WF_6 의 교번하는 펄스들에 노출될 수도 있고, 이어서 벌크 텅스텐 증착은 도 2b에 대해 상술된 바와 같이 개시된 실시예들을 사용하여 재개될 수도 있다. 이러한 동작들은 임의의 수의 사이클들로 반복될 수도 있다. 또 다른 예에서, 일부 실시예들에서, 벌크 텅스텐은 도 2b에 대해 상술된 바와 같이 개시된 실시예들을 사용하여 증착될 수도 있고, 이어서 벌크 텅스텐 증착이 중지될 수도 있고, 이어서 기판은 기판의 표면을 처리하도록, 실란, 디실란, 트리실란, 게르만, 디보란, 수소, 텅스텐 헥사플루오라이드, 질소, 아르곤, 및 이들의 조합들 중 임의의 것을 흘림으로써 소크 또는 표면 처리에 노출될 수도 있고, 이어서 벌크 텅스텐 증착은 도 2b에 대해 상술된 바와 같이 개시된 실시예들을 사용하여 재개될 수도 있다. 벌크 텅스텐 증착은 WF_6 과 같은 텅스텐-함유 전구체와 다음의 가스들 중 임의의 하나 이상에 기판을 노출시킴으로써 수행될 수도 있다: 수소, 실란, 디실란, 트리실란, 디보란, 질소, 아르곤, 및 게르만. 벌크 텅스텐은 또한 도 3k에 대해 상술된 바와 같이 종래

의 CVD와 순차적인 CVD의 조합을 사용하여 증착될 수도 있다. 종래의 CVD는 순차적인 CVD를 사용하여 벌크 텅스텐을 증착하기 전, 동안(순차적인 CVD와 종래의 CVD 사이를 순환함으로써와 같이), 또는 후에 수행될 수도 있다.

[0079] 일부 실시예들에서, 기판은 벌크 텅스텐을 증착하기 전 및 핵생성 층을 증착한 후에 임의의 적합한 온도에서 어닐링될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 기판은 벌크 텅스텐 층을 증착한 후에 임의의 적합한 온도에서 어닐링될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 기판은 벌크 텅스텐의 증착 동안 중간 시간들 동안 임의의 적합한 온도에서 어닐링될 수도 있다. 어닐링은 다음의 가스들: WF_6 과 같은 텅스텐-함유 가스, 수소, 실란, 디실란, 트리실란, 디보란, 질소, 아르곤, 및 게르만 중 하나 이상을 포함한 환경과 같은 임의의 적합한 가스 환경에서 수행될 수도 있다.

[0080] 다양한 실시예들에서, 기판을 하우징하는 챔버는 도 2b에 대해 상술된 바와 같이, 개시된 실시예들에 따라 벌크 텅스텐을 증착하기 위해 텅스텐-함유 전구체와 환원제의 도즈들 전 또는 후에 펌핑 또는 퍼지될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 지연 시간은 본 명세서에 기술된 바와 같이 순차적인 CVD 증착의 도즈 또는 퍼지 단계에 포함될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 하나 이상의 가스들은 임의의 다음의 가스들: WF_6 , 수소, 실란, 디실란, 트리실란, 디보란, 질소, 아르곤, 및 게르만 중 하나 이상을 사용하여 도즈 또는 퍼지 동작 동안 함께 흐를 수도 있다.

[0081] 핵생성 증착 동안 기판의 온도는 도 2b에 대해 상술된 바와 같은 순차적인 CVD 동안의 기판의 온도와 동일하지 않을 수도 있다. 기판의 온도는 기판을 홀딩하는 페데스탈이 설정되는 온도를 의미하는 것으로 이해될 것이다. 개시된 실시예들은 임의의 적합한 압력, 예를 들어, 약 10 Torr 초과와 압력들, 또는 약 10 Torr 미만의 압력들에서 수행될 수도 있다. 멀티-스테이션 챔버에 대해, 페데스탈 각각은 상이한 온도들로 설정될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 페데스탈 각각은 동일한 온도로 설정된다. 기판들은 개시된 실시예들에 따른 임의의 상술된 동작들 중 몇몇 또는 전부 동안 스테이션으로부터 스테이션으로 순환될 수도 있다. 챔버 압력은 또한 특정한 개시된 실시예들의 하나 이상의 동작들에서 조절될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 핵생성 증착 동안의 챔버 압력은 벌크 증착 동안의 챔버 압력과 상이하다. 일부 실시예들에서, 핵생성 증착 동안의 챔버 압력은 벌크 증착 동안의 챔버 압력과 동일하다.

[0082] 임의의 상술된 노출들 동안, 가스들은 연속적으로 펄싱되거나 흐를 수도 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 순차적인 CVD 동작의 WF_6 도즈 동안, WF_6 은 단일의 도즈 동안 1회 이상 펄싱될 수도 있다. 마찬가지로, 일부 실시예들에서, 퍼지 동안, 불활성 가스는 1회 이상 동안 단일의 퍼지 동작 동안 펄싱될 수도 있다. 이러한 펄싱 동작들은 핵생성 증착의 임의의 동작 또는 벌크 증착의 임의의 동작 또는 이들의 임의의 조합 동안 수행될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 압력, 플로우 레이트, 및 온도와 같은 하나 이상의 파라미터들에 대한 하나 이상의 변화들이 사용될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 기판과 페데스탈 위의 샤워헤드 사이의 갭이 조절될 수도 있도록 페데스탈은 핵생성 증착 또는 벌크 증착 또는 양자의 임의의 동작 동안 이동될 수도 있다. 페데스탈을 이동시키는 것은, 압력, 온도, 또는 플로우 레이트와 같은 하나 이상의 파라미터들을 변경함으로써 조합하여 사용될 수도 있다. 기판과 샤워헤드 사이의 갭을 조절하는 것은, 특정한 개시된 실시예들에 따라 사용될 수도 있는, 압력, 온도, 또는 플로우 레이트에 영향을 줄 수 있다. 본 명세서에 기술된 임의의 프로세스들이 ALD를 수반한 기법들에 적용 가능할 수도 있다는 것이 이해될 것이다.

[0084] 장치

[0085] 임의의 적합한 챔버가 개시된 실시예들을 구현하도록 사용될 수도 있다. 예시적인 증착 장치들은 다양한 시스템들, 예를 들어, 캘리포니아 프리몬트 소재의 Lam Research Corp.으로부터 입수 가능한 ALTUS[®] 및 ALTUS[®] Max, 또는 임의의 다양한 다른 상업적으로 입수 가능한 프로세싱 시스템들을 포함한다. 일부 실시예들에서, 순차적인 CVD는 단일의 증착 챔버 내에 위치한 2개, 5개, 또는 심지어 더 많은 증착 스테이션들 중 하나의 스테이션인 제 1 스테이션에서 수행될 수도 있다. 따라서, 예를 들어, 수소 (H_2) 및 텅스텐 헥사플루오라이드는 기판 표면에 국부화된 분위기를 생성하는 개별 가스 공급 시스템을 사용하여, 제 1 스테이션에서 반도체 기판의 표면으로 교번하여 도입될 수도 있다. 또 다른 스테이션이 불소-프리 텅스텐 증착, 또는 비순차적인 CVD를 위해 사용될 수도 있다. 또 다른 스테이션이 저압에서 텅스텐 핵생성 층을 증착하도록 사용될 수도 있다. 2개 이상의 스테이션들이 병렬 프로세싱에서 텅스텐을 증착하도록 사용될 수도 있다. 대안적으로, 웨이퍼는 순차적으로 2개 이상의 스테이션들 위에서 순차적인 CVD 동작들을 수행하도록 인덱싱될 수도 있다.

- [0086] 도 4는 실시예들에 따른, 도전성 텅스텐 박막 증착 프로세스들에 적합한 프로세싱 시스템의 블록도이다. 시스템 (400)은 이송 모듈 (403)을 포함한다. 이송 모듈 (403)은 다양한 반응기 모듈들 사이에서 프로세싱될 기판들이 이동될 때 프로세싱될 기판들의 오염 위험을 최소화하기 위해 클린 (clean), 가압된 환경을 제공한다. 실시예들에 따라 ALD 및 순차적인 CVD를 수행할 수 있는 멀티-스테이션 반응기 (409)가 이송 모듈 (403)상에 장착된다. 멀티-스테이션 반응기 (409)는 일부 실시예들에서 불소-프리 텅스텐 증착 및/또는 비순차적인 CVD를 수행하도록 사용될 수도 있다. 멀티-스테이션 반응기 (409)는, 개시된 실시예들에 따라 동작들을 순차적으로 수행할 수도 있는 복수의 스테이션들 (411, 413, 415, 및 417)을 포함할 수도 있다. 예를 들어, 멀티-스테이션 반응기 (409)는 스테이션 (411)이 ALD에 의한 핵생성 층 증착을 수행하고, 스테이션 (413)이 순차적인 ALD를 수행하고, 스테이션 (415)이 불소-프리 텅스텐 증착을 수행하고, 그리고 스테이션 (417)이 비순차적인 CVD를 수행하도록 구성될 수 있다. 스테이션들은 가열된 페데스탈 또는 기판 지지부, 하나 이상의 가스 유입부들 또는 샤워헤드 또는 확산 플레이트를 포함할 수도 있다. 웨이퍼 지지부 (502) 및 샤워헤드 (503)를 포함하는 증착 스테이션 (500)의 예는 도 5에 도시된다. 가열기는 페데스탈 부분 (501)에 제공될 수도 있다.
- [0087] 또한 플라즈마 또는 화학적 (비플라즈마) 선-세정을 수행할 수 있는 하나 이상의 단일 또는 멀티-스테이션 모듈들 (407)이 이송 모듈 (403)상에 장착될 수도 있다. 모듈들은 또한 다양한 처리들, 예를 들어, 증착 프로세스를 위해 기판을 준비하도록 사용될 수도 있다. 시스템 (400)은 프로세싱 전후에 웨이퍼들이 저장되는 하나 이상의 웨이퍼 소스 모듈들 (401)을 또한 포함한다. 대기 이송 챔버 (419)내의 대기 로봇 (atmospheric robot) (미도시)은 먼저 소스 모듈들 (401)로부터 로드록들 (421)로 웨이퍼들을 제거할 수도 있다. 이송 모듈 (403)내의 웨이퍼 이송 디바이스 (일반적으로 로봇 암 유닛)은 로드록들 (421)로부터 이송 모듈 (403)상에 장착된 모듈들로 그리고 모듈들 사이에서 웨이퍼들을 이동시킨다.
- [0088] 다양한 실시예들에서, 시스템 제어기 (429)는 증착 동안 프로세스 조건들을 제어하도록 채용된다. 시스템 제어기 (429)는 통상적으로 하나 이상의 메모리 디바이스들 및 하나 이상의 프로세서들을 포함할 것이다. 프로세서는 CPU 또는 컴퓨터, 아날로그 및/또는 디지털 입력/출력 접속부들, 스텝퍼 모터 제어기 보드들, 등을 포함할 수도 있다.
- [0089] 시스템 제어기 (429)는 증착 장치의 모든 액티비티들을 제어할 수도 있다. 시스템 제어기 (429)는 타이밍, 가스들의 혼합, 챔버 압력, 챔버 온도, 웨이퍼 온도, 무선 주파수 (RF) 전력 레벨들, 웨이퍼 척 또는 페데스탈 위치, 및 특정한 프로세스의 다른 파라미터들을 제어하기 위한 인스트럭션들의 세트들을 포함하는 시스템 제어 소프트웨어를 실행한다. 일부 실시예들에서 제어기 (429)와 연관된 메모리 디바이스들 상에 저장된 다른 컴퓨터 프로그램들이 채용될 수도 있다.
- [0090] 통상적으로 제어기 (429)와 연관된 사용자 인터페이스가 있을 것이다. 사용자 인터페이스는 디스플레이 스크린, 장치의 그래픽적인 소프트웨어 디스플레이 및/또는 프로세스 조건들의 그래픽적인 소프트웨어 디스플레이, 및 포인팅 디바이스들, 키보드들, 터치 스크린들, 마이크로폰들 등과 같은 사용자 입력 디바이스들을 포함할 수도 있다.
- [0091] 시스템 제어 로직이 임의의 적합한 방식으로 구성될 수도 있다. 일반적으로, 로직은 하드웨어 및/또는 소프트웨어로 설계되거나 구성될 수 있다. 구동 회로를 제어하기 위한 인스트럭션들은 하드 코딩되거나 소프트웨어로서 제공될 수도 있다. 인스트럭션들은 "프로그래밍"에 의해 제공될 수도 있다. 이러한 프로그래밍은 디지털 신호 프로세서들 내에 하드 코딩된 로직, ASIC들 (application-specific integrated circuits), 및 하드웨어로서 구현된 특정한 알고리즘들을 갖는 다른 디바이스들을 포함하는, 임의의 형태의 로직을 포함하는 것으로 이해된다. 프로그래밍은 또한 범용 프로세서 상에서 실행될 수도 있는 소프트웨어 또는 펌웨어 인스트럭션들을 포함하는 것으로 이해된다. 시스템 제어 소프트웨어는 임의의 적합한 컴퓨터 판독가능 프로그래밍 언어로 코딩될 수도 있다.
- [0092] 프로세스 시퀀스에서 게르마늄-함유 환원제 펄스들, 수소 플로우, 및 텅스텐-함유 전구체 펄스들, 및 다른 프로세스들을 제어하기 위한 컴퓨터 프로그램 코드는 임의의 종래의 컴퓨터 판독가능 프로그래밍 언어: 예를 들어, 어셈블리어, C, C++, Pascal, Fortran 등으로 작성될 수 있다. 컴파일링된 객체 코드 또는 스크립트는 프로그램에서 식별된 태스크들을 수행하도록 프로세서에 의해 실행된다. 또한 나타낸 바와 같이, 프로그램 코드는 하드 코딩될 수도 있다.
- [0093] 제어기 파라미터들은 예를 들어, 프로세스 가스 조성 및 플로우 레이트들, 온도, 압력, 냉각 가스 압력, 기판 온도, 및 챔버 벽 온도와 같은 프로세스 조건들과 관련된다. 이들 파라미터들은 레시피의 형태로 사용자에게

제공되고, 사용자 인터페이스를 활용하여 입력될 수도 있다.

- [0094] 프로세스를 모니터링하기 위한 신호들이 시스템 제어기 (429) 의 아날로그 입력 접속부 및/또는 디지털 입력 접속부에 의해서 제공될 수도 있다. 프로세스를 제어하기 위한 신호들은 증착 장치 (400) 의 아날로그 출력 접속부 및 디지털 출력 접속부 상에 출력된다.
- [0095] 시스템 소프트웨어는 많은 상이한 방식으로 설계되거나 구성될 수도 있다. 예를 들어, 다양한 챔버 컴포넌트 서브루틴들 또는 제어 객체들이 개시된 실시예들에 따라 증착 프로세스들을 수행하는데 필요한 챔버 컴포넌트들의 동작을 제어하기 위해 작성될 수도 있다. 이 목적을 위한 프로그램들 또는 프로그램 섹션들의 예들은 기관 포지셔닝 코드, 프로세스 가스 제어 코드, 압력 제어 코드, 가열기 제어 코드를 포함한다.
- [0096] 일부 구현예들에서, 제어기 (429) 는 상술된 예들의 일부일 수도 있는 시스템의 일부이다. 이러한 시스템들은, 프로세싱 툴 또는 툴들, 챔버 또는 챔버들, 프로세싱용 플랫폼 또는 플랫폼들, 및/또는 특정 프로세싱 컴포넌트들 (웨이퍼 페데스탈, 가스 플로우 시스템, 등) 을 포함하는, 반도체 프로세싱 장비를 포함할 수 있다. 이러한 시스템들은 반도체 웨이퍼 또는 기관의 프로세싱 이전에, 프로세싱 동안에 그리고 프로세싱 이후에 그들의 동작을 제어하기 위한 전자장치에 통합될 수도 있다. 전자장치는 시스템 또는 시스템들의 다양한 컴포넌트들 또는 하위부품들을 제어할 수도 있는 "제어기"로서 지칭될 수도 있다. 제어기 (429) 는, 시스템의 프로세싱 요건들 및/또는 타입에 따라서, 예를 들어 프로세싱 가스들의 전달, 온도 설정사항들 (예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정사항들, 진공 설정사항들, 전력 설정사항들, 일부 시스템들에서 무선 주파수 (RF) 생성기 설정사항들, RF 매칭 회로 설정사항들, 주파수 설정사항들, 플로우 레이트 설정사항들, 유체 전달 설정사항들, 위치 및 동작 설정사항들, 툴들 및 다른 전달 툴들 및/또는 특정 시스템과 연결되거나 인터페이스된 로드록들 내외로의 웨이퍼 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 프로세스들 중 임의의 프로세스를 제어하도록 프로그램될 수도 있다.
- [0097] 일반적으로 말하면, 제어기는 인스트럭션들을 수신하고 인스트럭션들을 발행하고 동작을 제어하고 세정 동작들을 인에이블하고, 엔드포인트 측정들을 인에이블하는 등을 하는 다양한 집적 회로들, 로직, 메모리, 및/또는 소프트웨어를 갖는 전자장치로서 규정될 수도 있다. 집적 회로들은 프로그램 인스트럭션들을 저장하는 펌웨어의 형태의 칩들, 디지털 신호 프로세서들 (DSP), ASIC (application specific integrated circuit) 으로서 규정되는 칩들 및/또는 프로그램 인스트럭션들 (예를 들어, 소프트웨어) 을 실행하는 하나 이상의 마이크로프로세서들, 또는 마이크로제어기들을 포함할 수도 있다. 프로그램 인스트럭션들은 반도체 웨이퍼 상에서 또는 반도체 웨이퍼에 대한 특정 프로세스를 실행하기 위한 동작 파라미터들을 규정하는, 다양한 개별 설정사항들 (또는 프로그램 파일들) 의 형태로 제어기로 또는 시스템으로 전달되는 인스트럭션들일 수도 있다. 일부 실시예들에서, 동작 파라미터들은 하나 이상의 층들, 재료들, 금속들, 산화물들, 실리콘, 이산화 실리콘, 표면들, 회로들, 및/또는 웨이퍼의 다이들의 제조 동안에 하나 이상의 프로세싱 단계들을 달성하도록 프로세스 엔지니어에 의해서 규정된 레시피의 일부일 수도 있다.
- [0098] 제어기 (429) 는, 일부 구현예들에서, 시스템에 통합되거나, 시스템에 커플링되거나, 이와 달리 시스템에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합으로 되는 컴퓨터에 커플링되거나 이의 일부일 수도 있다. 예를 들어, 제어기 (429) 는 웨이퍼 프로세싱의 원격 액세스를 가능하게 할 수 있는 공장 (fab) 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부이거나 "클라우드" 내에 있을 수도 있다. 컴퓨터는 제조 동작들의 현 진행을 모니터링하고, 과거 제조 동작들의 이력을 조사하고, 복수의 제조 동작들로부터 경향들 또는 성능 예측치들을 조사하고, 현 프로세싱의 파라미터들을 변경하고, 현 프로세싱을 따르는 프로세싱 단계들을 설정하고, 또는 새로운 프로세스를 시작하기 위해서 시스템으로의 원격 액세스를 인에이블할 수도 있다. 일부 예들에서, 원격 컴퓨터 (예를 들어, 서버) 는 로컬 네트워크 또는 인터넷을 포함할 수도 있는 네트워크를 통해서 프로세스 레시피들을 시스템에 제공할 수 있다. 원격 컴퓨터는 차후에 원격 컴퓨터로부터 시스템으로 전달될 파라미터들 및/또는 설정사항들의 입력 또는 프로그래밍을 가능하게 하는 사용자 인터페이스를 포함할 수도 있다. 일부 예들에서, 제어기는 하나 이상의 동작들 동안에 수행될 프로세스 단계들 각각에 대한 파라미터들을 특정한, 데이터의 형태의 인스트럭션들을 수신한다. 이 파라미터들은 제어기가 제어하거나 인터페이스하도록 구성된 툴의 타입 및 수행될 프로세스의 타입에 특정적일 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 따라서, 상술한 바와 같이, 제어기는 예를 들어 서로 네트워킹되어서 함께 공통 목적을 위해서, 예를 들어 본 명세서에 기술된 프로세스들 및 제어들을 위해서 협력하는 하나 이상의 개별 제어기들을 포함함으로써 분산될 수도 있다. 이러한 목적을 위한 분산형 제어기의 예는 챔버 상의 프로세스를 제어하도록 조합되는, (예를 들어, 플랫폼 레벨에서 또는 원격 컴퓨터의 일부로서) 원격으로 위치한 하나 이상의 집적 회로들과 통신하는 챔버 상의 하나 이상의 집적 회로들일 수 있다.

- [0099] 비한정적으로, 예시적인 시스템들은 플라즈마 에칭 챔버 또는 모듈, 증착 챔버 또는 모듈, 스핀-린스 챔버 또는 모듈, 금속 도금 챔버 또는 모듈, 세정 챔버 또는 모듈, 베벨 에지 에칭 챔버 또는 모듈, PVD 챔버 또는 모듈, CVD 챔버 또는 모듈, ALD 챔버 또는 모듈, ALE (atomic layer etch) 챔버 또는 모듈, 이온 주입 챔버 또는 모듈, 트랙 (track) 챔버 또는 모듈, 및 반도체 웨이퍼들의 제조 및/또는 제작 시에 사용되거나 연관될 수도 있는 임의의 다른 반도체 프로세싱 시스템들을 포함할 수도 있다.
- [0100] 상술한 바와 같이, 툴에 의해서 수행될 프로세스 단계 또는 단계들에 따라서, 제어기는, 반도체 제조 공장 내의 툴 위치들 및/또는 로드 포트들로부터/로 웨이퍼들의 컨테이너들을 이동시키는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 툴 회로들 또는 모듈들, 다른 툴 컴포넌트들, 클러스터 툴들, 다른 툴 인터페이스들, 인접 툴들, 이웃하는 툴들, 공장 도처에 위치한 툴들, 메인 컴퓨터, 다른 제어기 또는 툴들 중 하나 이상과 통신할 수도 있다.
- [0101] 제어기 (429) 는 다양한 프로그램들을 포함할 수도 있다. 기관 포지셔닝 프로그램은 페데스탈 또는 척 상으로 기관을 로딩하고 가스 유입부 및/또는 타겟과 같은 챔버의 다른 부분들과 기관 사이의 공간을 제어하도록 사용되는 챔버 컴포넌트들을 제어하기 위한 프로그램 코드를 포함할 수도 있다. 프로세스 가스 제어 프로그램은 가스 조성 및 플로우 레이트들, 펄스 시간들을 제어하기 위한 코드 그리고 선택 가능하게 챔버 내의 압력을 안정화시키기 위해 증착 전에 챔버 내로 가스를 흘리기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 압력 제어 프로그램은 예를 들어, 챔버의 배기 시스템의 쓰로틀 밸브를 조절함으로써 챔버 내의 압력을 제어하기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 가열기 제어 프로그램은 기관을 가열하기 위해 사용된 가열 유닛으로의 전류를 제어하기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 대안적으로, 히터 제어 프로그램은 헬륨과 같은 열 전달 가스의 웨이퍼 척으로의 전달을 제어할 수도 있다.
- [0102] 증착 동안 모니터링될 수도 있는 챔버 센서들의 예들은 질량 유량 제어기들, 마노미터들과 같은 압력 센서들, 및 페데스탈 또는 척 내에 위치한 써모커플들을 포함한다. 적절하게 프로그램된 피드백 및 제어 알고리즘들이 목표된 프로세스 조건들을 유지하기 위해 이들 센서들로부터의 데이터로 사용될 수도 있다.
- [0103] 전술한 것은 단일 또는 멀티-챔버 반도체 프로세싱 툴에서 개시된 실시예들의 구현예를 기술한다. 본 명세서에서 기술된 장치 및 프로세스는 예를 들어, 반도체 디바이스들, 디스플레이들, LED들, 광전 패널들 등의 제조 또는 제작 동안, 리소그래피 패터닝 툴들 또는 프로세스들과 함께 사용될 수도 있다. 통상적으로, 반드시 그러한 것은 아니지만, 이러한 툴들/프로세스들은 공통 제조 설비 내에서 함께 사용 또는 실시될 것이다. 막의 리소그래픽 패터닝은 일반적으로 단계들 각각이 복수의 가능한 툴들을 사용하여 제공되는, 이하의 단계들: (1) 스핀-온 (spin-on) 툴 또는 스프레이-온 (spray-on) 툴을 사용하여 워크피스, 즉 기관 상에 포토레지스트를 도포하는 단계; (2) 고온 플레이트 또는 노 또는 UV 경화 툴을 사용하여 포토레지스트를 경화하는 단계; (3) 웨이퍼 스텝퍼와 같은 툴을 사용하여 가시광선 또는 UV 또는 x-선 광에 포토레지스트를 노출시키는 단계; (4) 습식 벤치와 같은 툴을 사용하여 레지스트를 선택적으로 제거하여 레지스트를 패터닝하도록 레지스트를 현상하는 단계; (5) 건식 또는 플라즈마 보조 에칭 툴을 사용함으로써 하부 막 또는 워크피스 내로 레지스트 패턴을 전사하는 단계; 및 (6) RF 또는 마이크로파 플라즈마 레지스트 스트립퍼와 같은 툴을 사용하여 레지스트를 제거하는 단계의 일부 또는 전부를 포함한다.
- [0105] 실험
- [0106] 실험 1
- [0107] 실험은 395 °C, 40 Torr의 압력에서 벌크 텅스텐을 증착하기 위한 4개의 프로세스들에 대해 실시되었다. 프로세스 각각에서, 벌크 텅스텐은 디보란 (B₂H₆) 과 텅스텐 헥사플루오라이드 (WF₆) 의 사이클들을 교번하는 ALD를 사용하여 증착된 텅스텐 핵생성 층 상에 증착되었다. 도 6은 이들 4개의 프로세스들 각각에 대한 예시적인 펄싱 스킴들을 제공한다. 프로세스 1에서, H₂ 및 WF₆은 종래의 CVD 동안에서와 같이, 챔버 내로 동시에 그리고 연속적으로 흐른다. 프로세스 2에서, H₂는 연속적으로 흐르는 반면에, WF₆은 펄싱된다 (예를 들어, 펄싱된 CVD). 프로세스 3에서, WF₆은 연속적으로 흐르는 반면에, H₂는 펄싱된다 (예를 들어, 펄싱된 CVD). 프로세스 4에서, H₂ 및 WF₆은 도 2b에 대해 상술된 방법 (예를 들어, 순차적인 CVD) 과 같은 방법을 사용하여 교번하여 펄싱된다. 이들 4개의 프로세스들 각각을 사용하여 증착된 막들의 텅스텐 핵생성 층의 두께, 응력, 불균일성, 및 저항률이 측정되고 이하의 표 1에 컴파일링된다.

표 1

[0108]

저항률 및 응력

프로세스	핵생성 층 두께 (Å)	응력 (MPa)	불균일성 (%)	저항률 ($\mu\text{ohm-cm}$)
1	507	2251	10.89	13.32
2	533	2207	4.31	12.79
3	517	2275	41.56	13.20
4	673	1634	21.77	10.81

[0109]

표 1에 나타난 바와 같이, 프로세스 4를 사용하여 증착된 텅스텐 막의 응력 및 저항률 양자는, 프로세스들 1 내지 3 중 임의의 프로세스를 사용하여 증착된 막들보다 상당히 보다 낮다.

[0111]

실험 2

[0112]

실험은 2개의 기판들 상에 벌크 텅스텐을 증착하기 위한 프로세스들에 대해 실시되었고, 기판들 양자는 티타늄 나이트라이드 (TiN) 배리어 층 및 B_2H_6 과 WF_6 의 사이클들을 교번하는 ALD에 의해 증착된 텅스텐 핵생성 층을 포함한다. 일 기판은 동시에 300 °C에서 WF_6 및 H_2 에 기판을 노출시키는 것을 수반하는, 비순차적인 CVD를 사용한, 벌크 텅스텐의 증착을 수반했다. 또 다른 기판은 10 Torr의 챔버 압력에서 WF_6 및 H_2 의 교번하는 펄스들을 수반하는, 도 2b에 대해 상술된 바와 같은 순차적인 CVD를 사용한, 벌크 텅스텐의 증착을 수반했다. 불소 농도는 기판들 양자에 대해 측정되었다. 이 실험에 대한 조건들은 표 2에 나타나 있다. 결과들은 도 7에 플롯팅된다.

표 2

[0113]

실험 2 조건들

	700 비순차적인 CVD	701 순차적인 CVD
배리어 층	TiN	TiN
핵생성 층	ALD $\text{B}_2\text{H}_6/\text{WF}_6$	ALD $\text{B}_2\text{H}_6/\text{WF}_6$ 10 Torr
벌크 텅스텐 층	CVD WF_6 및 H_2 300 °C	순차적인 CVD WF_6/H_2 10 Torr

[0114]

선 700은 비순차적인 CVD에 의해 증착된 텅스텐을 가진 기판에 대한 불소 농도를 나타낸다. 선 701은 순차적인 CVD에 의해 증착된 텅스텐을 가진 기판에 대한 불소 농도를 나타낸다. 약 350 Å에서의 W/TiN 계면 라인은 텅스텐 핵생성 층과 TiN 배리어 층 사이의 계면을 나타낸다. 약 475 Å에서 점선으로 나타난 TiN/옥사이드 계면은 TiN 배리어 층과 옥사이드 사이의 계면을 나타낸다. 플롯의 y-축에 대한 불소 농도는 자릿수로 나타내며, 순차적인 CVD 불소 농도 701은 비순차적인 CVD 불소 농도 700보다 실질적으로 보다 낮고 - 일부 기판 깊이들에서 불소 농도에 있어서 최대 두 자릿수 적다.

[0116]

실험 3

[0117]

실험은 상이한 압력들에서 기판들 상에 벌크 텅스텐을 증착하기 위한 프로세스들에 대해 실시되었다. 3개의 기판들 각각은 TiN 배리어 층을 포함했다. 일 기판은 10 Torr에서 B_2H_6 및 WF_6 의 사이클들을 교번하는 ALD에 의해 증착된 텅스텐 핵생성 층의 증착을 수반했고, 300 °C에서 WF_6 및 H_2 에 기판을 노출시킴으로써 벌크 텅스텐의 CVD가 이어진다. 또 다른 기판은 10 Torr에서 B_2H_6 및 WF_6 의 사이클들을 교번하는 ALD에 의해 증착된 텅스텐 핵생성 층의 증착을 수반했고, 10 Torr에서 WF_6 및 H_2 의 교번하는 펄스들에 의한 벌크 텅스텐의 순차적인 CVD가 이어진다. 제 3 기판은 3 Torr에서 B_2H_6 및 WF_6 의 사이클들을 교번함으로써 증착된 텅스텐 핵생성 층의 ALD를 수반했고, 10 Torr에서 WF_6 및 H_2 의 교번하는 펄스들을 사용하는, 벌크 텅스텐의 순차적인 CVD가 이어진다. 불소 농

도는 모든 3개의 기관들에 대해 측정되었다. 이 실험에 대한 조건들은 표 3에 나타나 있다. 결과들은 도 8에 플롯팅된다.

표 3

실험 3 조건들

	800 비순차적인 CVD	801 고압에서의 순차적인 CVD	803 저압에서의 순차적인 CVD
배리어 층	TiN	TiN	TiN
핵생성 층	ALD B ₂ H ₆ /WF ₆	ALD B ₂ H ₆ /WF ₆ 10 Torr	ALD B ₂ H ₆ /WF ₆ 3 Torr
벌크 텅스텐 층	CVD WF ₆ 및 H ₂ 300 °C	순차적인 CVD WF ₆ /H ₂ 10 Torr	순차적인 CVD WF ₆ /H ₂ 10 Torr

선 800은 벌크 텅스텐이 비순차적인 CVD에 의해 증착되는, 제 1 기관에 대한 불소 농도를 나타낸다. 파선 801은 핵생성 층이 10 Torr에서 증착되고, 이어서 순차적인 CVD에 의해 벌크 텅스텐이 증착되는, 제 2 기관에 대한 불소 농도를 나타낸다. 점선 803은 핵생성 층이 3 Torr에서 증착되고, 이어서 순차적인 CVD에 의해 벌크 텅스텐이 증착되는, 제 3 기관에 대한 불소 농도를 나타낸다. 결과들은, 순차적인 CVD를 따른 저압 핵생성 층 (803) 이 심지어 W/TiN 계면에서 그리고 심지어 TiN 층에서도 (350 Å 내지 475 Å), 제 2 기관 (801) 보다 보다 저 불소 농도를 나타낸다는 것을 보여준다. 이것은 텅스텐 막 내의 불소 농도의 감소된 양에 기인하여 TiN 층과 옥사이드 내로의 불소 확산이 감소될 수도 있다는 것을 암시한다.

실험 4

실험은 텅스텐 증착의 상이한 조합들을 사용하여 기관들 상에 벌크 텅스텐을 증착하기 위한 프로세스들에 대해 실시되었다. 3개의 기관들이 비교되었다. 일 기관은 1 kÅ의 열 옥사이드, 30 Å TiN, WF₆ 및 B₂H₆의 펄스들을 교번하여 ALD를 사용하여 3 Torr에서 증착된 18 Å 텅스텐 핵생성 층, 및 WF₆ 및 H₂의 순차적인 CVD 펄스들을 사용하여 10 Torr에서 증착된 벌크 텅스텐을 포함했다. 이 기관의 불소 농도는 도 9에 파선 912로 도시된다. 또 다른 기관은 1 kÅ의 열 옥사이드, 30 Å TiN, 10 Å의 불소 프리 텅스텐, WF₆ 및 B₂H₆의 펄스들을 교번하여 ALD를 사용하여 3 Torr에서 증착된 12 Å 텅스텐 핵생성 층, 및 WF₆ 및 H₂의 펄스들을 사용하여 10 Torr에서 순차적인 CVD에 의해 증착된 벌크 텅스텐을 포함했다. 이 제 2 기관의 불소 농도는 도 9에 선 911로 도시된다. 제 3 기관은 5 kÅ의 TEOS-증착된 옥사이드, 30 Å의 불소 프리 텅스텐, WF₆ 및 B₂H₆의 펄스들을 교번하여 ALD를 사용하여 3 Torr에서 증착된 12 Å 텅스텐 핵생성 층, 및 WF₆ 및 H₂를 사용하여 10 Torr에서 순차적인 CVD에 의해 증착된 벌크 텅스텐을 포함했다. 이 기관의 불소 농도는 도 9에 점선 913으로 도시된다. 이 실험에 대해 기관 각각 상에 증착된 바와 같은 층들은 표 4에 요약되어 있다.

표 4

실험 4 조건들

	911	912	913
제 1 층	1 kÅ 열 옥사이드	1 kÅ 열 옥사이드	5 kÅ TEOS-증착된 옥사이드
제 2 층	30 Å TiN	30 Å TiN	30 Å 불소-프리 텅스텐
제 3 층	10Å 불소-프리 텅스텐	18 Å ALD 핵생성 층 B ₂ H ₆ /WF ₆ 3 Torr	12 Å ALD 핵생성 층 B ₂ H ₆ /WF ₆ 3 Torr

제 4 층	12 Å ALD 핵생성 층 B ₂ H ₆ /WF ₆ 3 Torr	순차적인 CVD에 의한 벌크 W WF ₆ /H ₂ 10 Torr	순차적인 CVD에 의한 벌크 W WF ₆ /H ₂ 10 Torr
제 5 층	순차적인 CVD에 의한 벌크 W WF ₆ /H ₂ 10 Torr		

[0124] 도 9에 도시된 바와 같이, 불소 프리 텅스텐, 저압 핵생성 층, 및 순차적인 CVD의 조합을 사용하여 증착된 막들에 대한 불소 농도는 보다 낮은 불소 확산을 갖는다 (깊이들이 425 Å 초과인 경우에 W/TiN 계면을 넘어 선들 911 및 선들 913 참조). 핵생성 층 근방의 불소 농도는 기판 상에 증착된 보다 많은 불소 프리 텅스텐을 가진 막에 대해 300 Å 내지 425 Å에서 가장 낮지만, 불소 프리 텅스텐 층 없이 순차적인 CVD 및 저압 핵생성을 사용하여 증착된 막에 대해 벌크 텅스텐은 약 50 Å 내지 300 Å에서 보다 저 불소 농도를 가진다 (선 912 참조). 이들 결과들은 불소 프리 텅스텐을 증착하는 것과 텅스텐의 순차적인 CVD의 조합이, 매우 낮은 불소 농도들 및 감소된 불소 확산을 달성하는 텅스텐 막들을 발생시킬 수도 있다는 것을 암시한다.

[0126] 실험 5

[0127] 실험은 저압 핵생성 층 증착 대 고압 핵생성 층 증착을 조합하여 순차적인 CVD에 의해 증착된 프로세스 막들에 대해 실시되었다. 일 기판은 10 Torr에서 WF₆ 및 B₂H₆의 사이클들을 교번하는 ALD를 사용하여 증착된 텅스텐 핵생성 층을 포함했고, 10 Torr에서 WF₆ 및 H₂의 교번하는 펄스들을 사용하여 상술되 바와 같이 도 2b에 따른 순차적인 CVD에 의한 벌크 텅스텐 증착을 포함했다. 막의 응력 및 저항률은 다양한 두께들에서 측정되었고 그리고 도 10a 및 도 10b에서 선 1001 "저압 핵생성"으로서 도시된다. 또 다른 기판은 40 Torr에서 WF₆ 및 B₂H₆의 사이클들을 교번하는 ALD를 사용하여 증착된 텅스텐 핵생성 층을 포함했고, 10 Torr에서 WF₆ 및 H₂의 교번하는 펄스들을 사용하여 상술된 바와 같이 도 2b에 따른 순차적인 CVD에 의한 벌크 텅스텐 증착을 포함했다. 막의 응력 및 저항률은 다양한 두께들에서 측정되었고 그리고 도 10a 및 도 10b에서 선 1002 "고압 핵생성"으로서 도시된다. 핵생성 층 증착 및 벌크 층 증착에 대한 조건들은 표 5에 나타나 있다.

표 5

실험 5 조건들

[0128]

	1001 저압 핵생성	1002 고압 핵생성
핵생성 층	ALD B ₂ H ₆ /WF ₆ 10 Torr	ALD B ₂ H ₆ /WF ₆ 40 Torr
벌크 텅스텐 층	순차적인 CVD WF ₆ /H ₂ 10 Torr	순차적인 CVD WF ₆ /H ₂ 10 Torr
온도	300 °C	

[0129] 결과들에 나타난 바와 같이, 저압에서 증착된 핵생성 층을 가진 기판은 고압에서 증착된 핵생성 층을 가진 기판 보다 상당히 보다 낮은 응력을 가졌지만, 저항률은 거의 동일했다.

[0131] 실험 6

[0132] 실험은 저온 핵생성 층 증착 대 고온 핵생성 층 증착을 조합하여 순차적인 CVD에 의해 증착된 프로세스 막들에 대해 실시되었다. 일 기판은 10 Torr 및 250 °C에서 WF₆ 및 B₂H₆의 사이클들을 교번하는 ALD를 사용하여 증착된 텅스텐 핵생성 층을 포함했고, 10 Torr에서 WF₆ 및 H₂의 교번하는 펄스들을 사용하여 상술되 바와 같이 도 2b에 따른 순차적인 CVD에 의한 벌크 텅스텐 증착을 포함했다. 막의 응력 및 저항률은 다양한 두께들에서 측정되었고 그리고 도 11a 및 도 11b에서 선 1102 "저 T 핵생성"으로서 도시된다. 또 다른 기판은 10 Torr 및 300 °C에서 WF₆ 및 B₂H₆의 사이클들을 교번하는 ALD를 사용하여 증착된 텅스텐 핵생성 층을 포함했고, 10 Torr에서 WF₆

및 H₂의 교번하는 펄스들을 사용하여 상술된 바와 같이 도 2b에 따른 순차적인 CVD에 의한 벌크 텅스텐 증착을 포함했다. 막의 응력 및 저항률은 다양한 두께들에서 측정되었고 그리고 도 11a 및 도 11b에서 선 1104 "고 T 핵생성"으로서 도시된다. 핵생성 층 증착 및 벌크 층 증착에 대한 조건들은 표 6에 나타나 있다.

표 6

실험 6 조건들

	1102 저온 핵생성	1104 고온 핵생성
핵생성 층	ALD B ₂ H ₆ /WF ₆ 10 Torr 250 °C	ALD B ₂ H ₆ /WF ₆ 10 Torr 300 °C
벌크 텅스텐 층	순차적인 CVD WF ₆ /H ₂ 10 Torr	순차적인 CVD WF ₆ /H ₂ 10 Torr

결과들에 나타난 바와 같이, 저온에서 증착된 핵생성 층을 가진 기판은 고온에서 증착된 핵생성 층을 가진 기판보다 상당히 보다 낮은 응력을 가졌지만, 보다 고온에서 증착된 막의 저항률은 보다 저온에서 증착된 막의 저항률보다 약간 더 낮았다. 이러한 결과들은 순차적인 CVD 벌크 증착과 조합하여 핵생성 층의 보다 저온 증착이 막의 응력을 상당히 감소시킬 수 있다는 것을 암시한다.

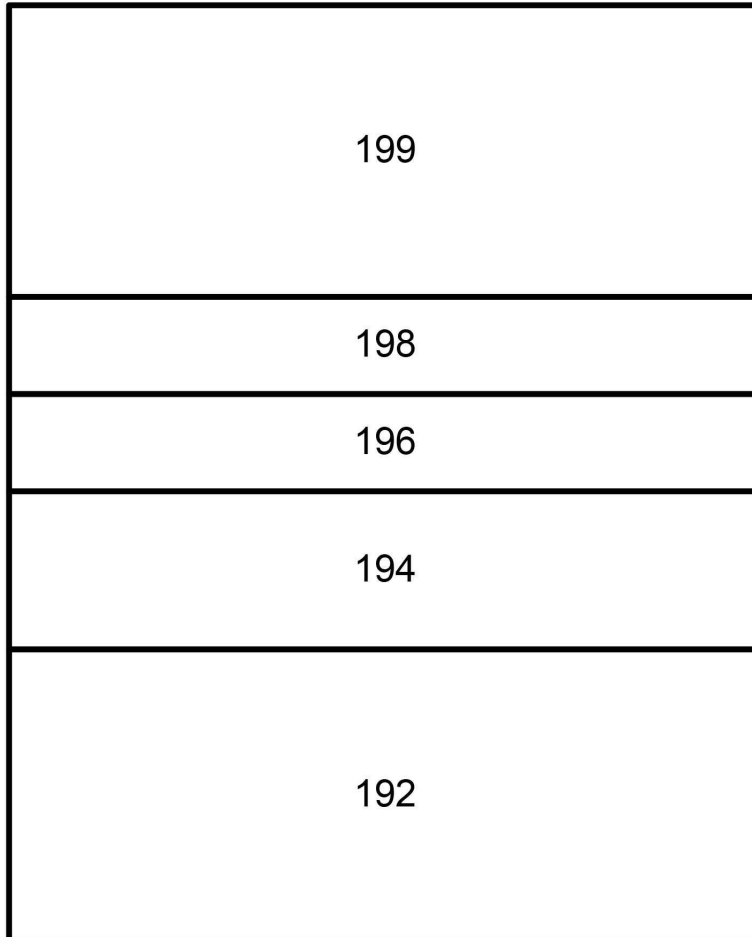
결론

전술한 실시예들이 이해의 명료성을 위해 일부 상세히 기술되었지만, 특정한 변화들 및 수정들이 첨부된 청구항들의 범위 내에서 실시될 수도 있다는 것이 자명할 것이다. 본 실시예들의 프로세스들, 시스템들, 및 장치를 구현하는 많은 대안적인 방식들이 있다는 것을 주의해야 한다. 따라서, 본 실시예들은 제한적이기보다는 예시적인 것으로 고려되어야 하고, 본 실시예들은 본 명세서에 주어진 상세들에 제한되지 않는다.

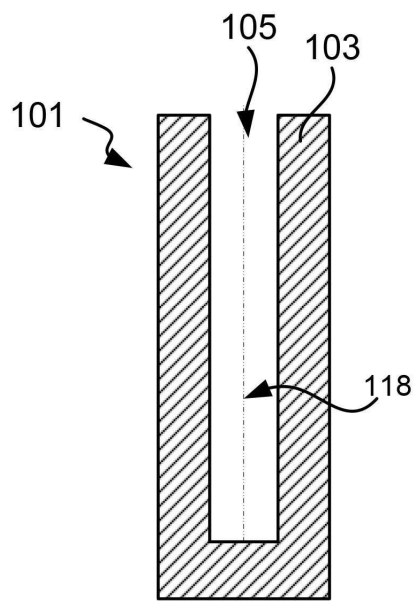
도면

도면1a

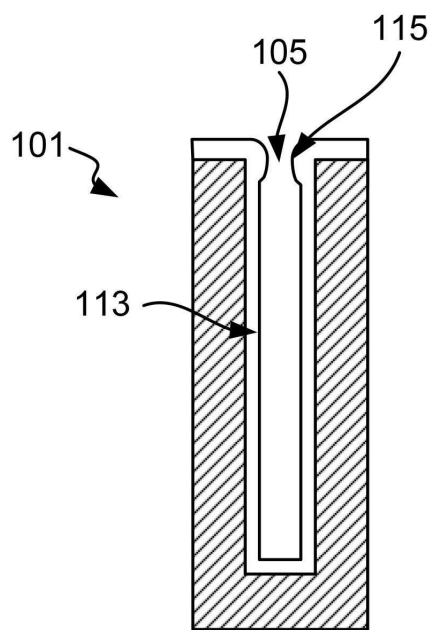
190



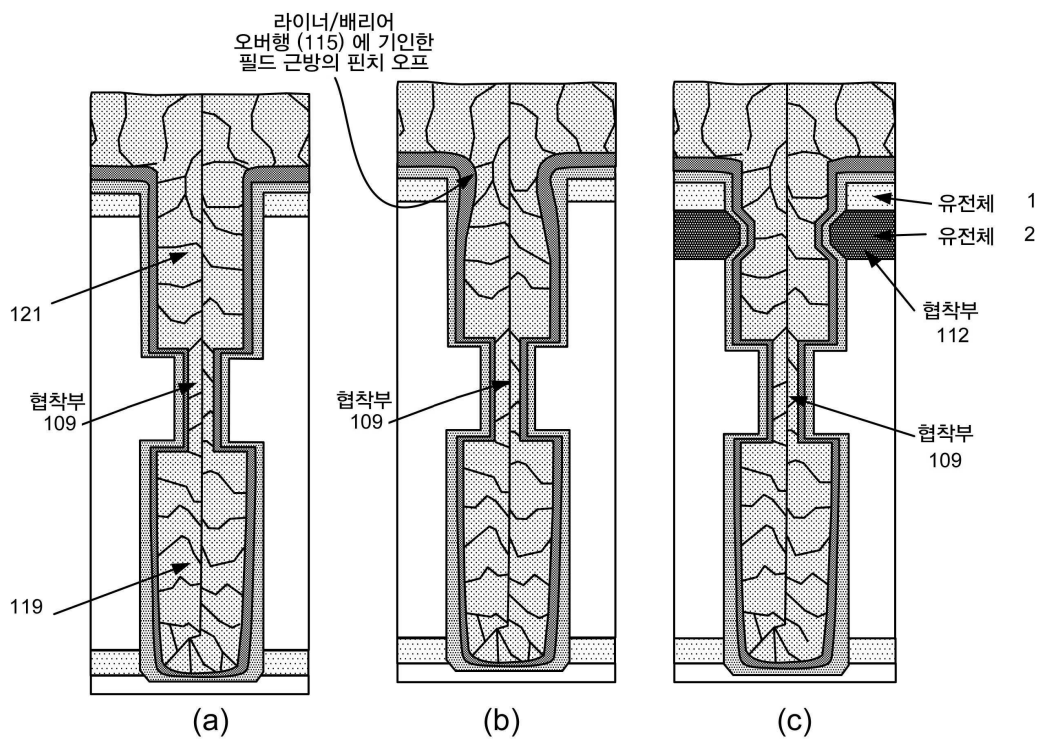
도면1b



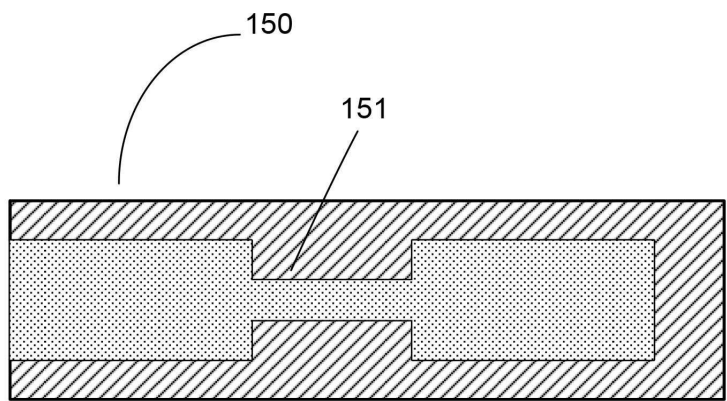
도면1c



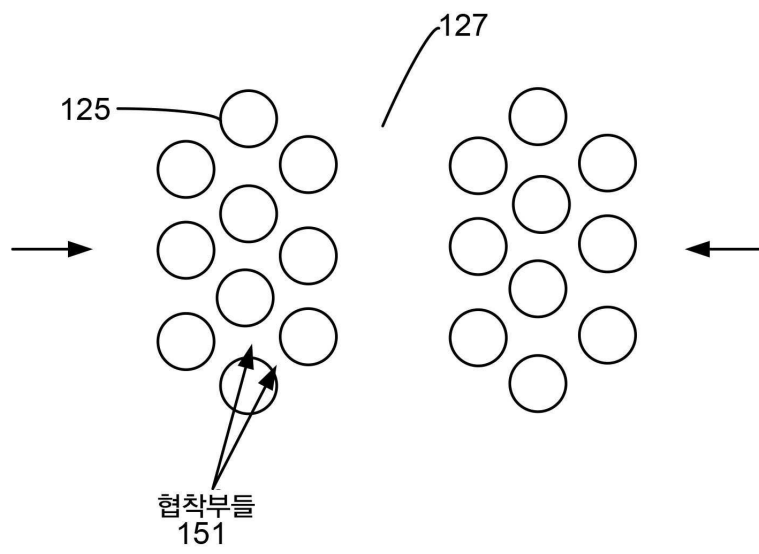
도면1d



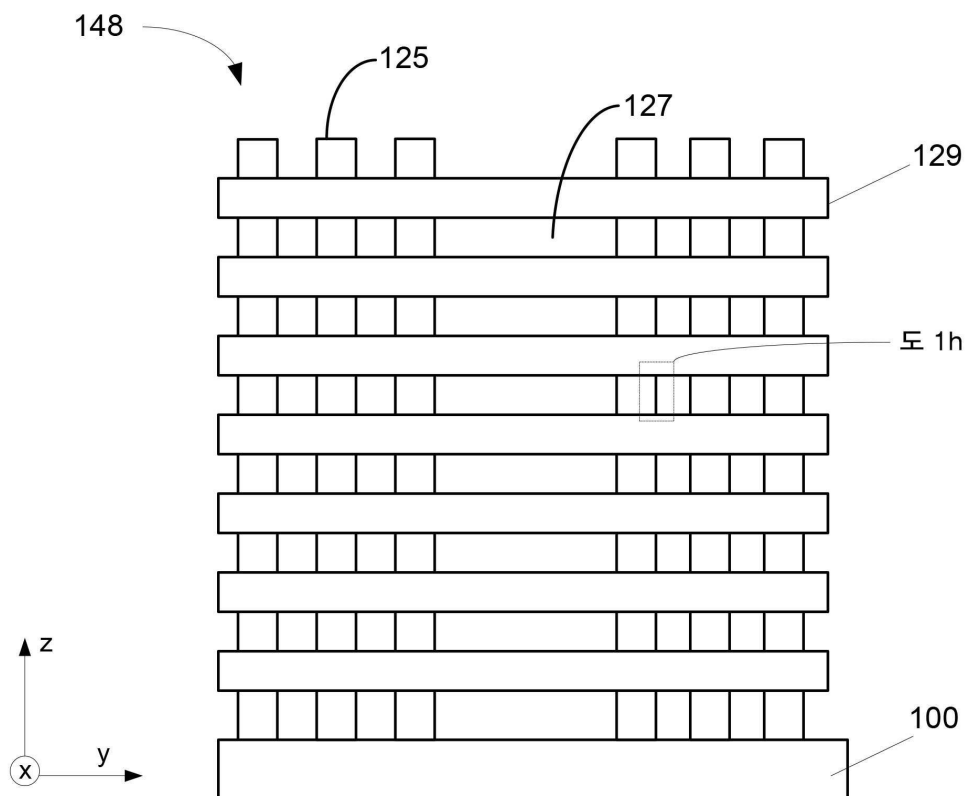
도면1e



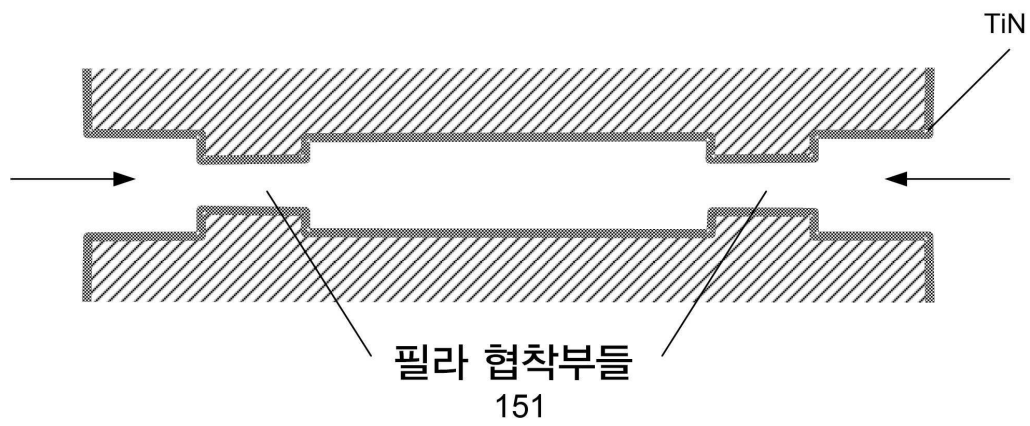
도면1f



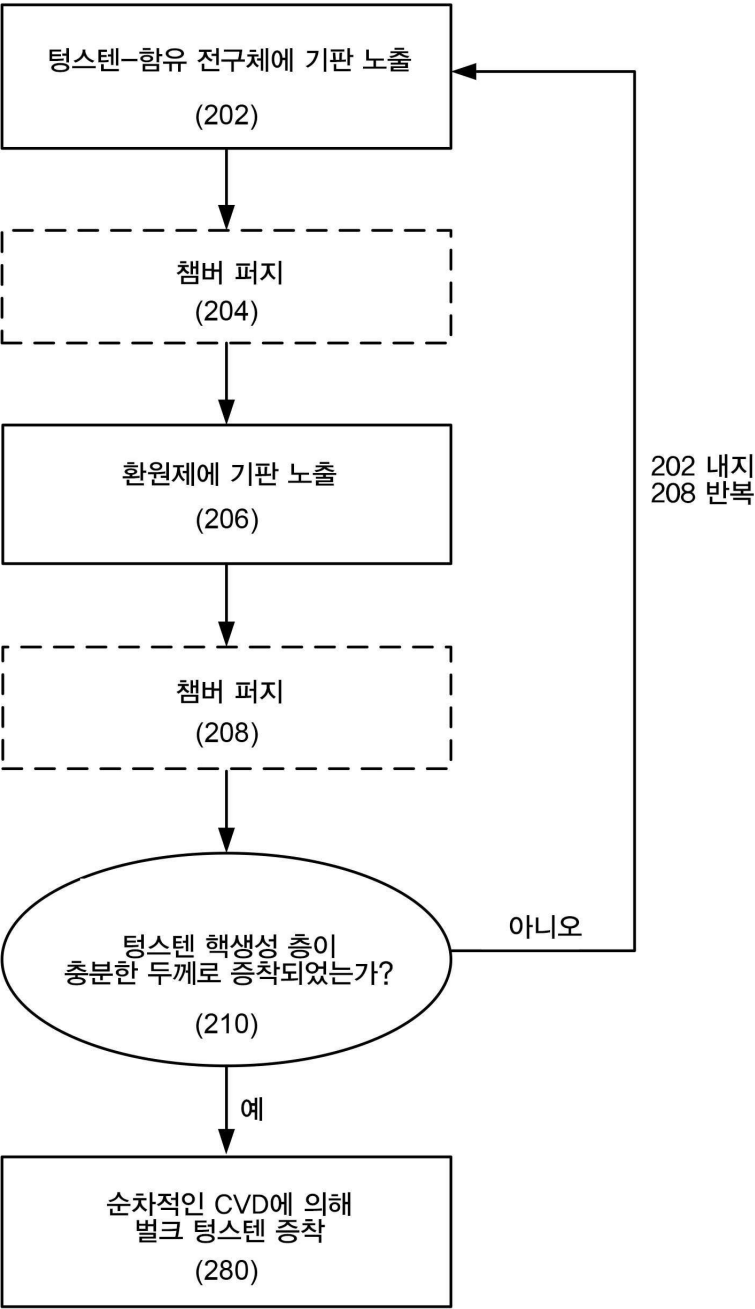
도면1g



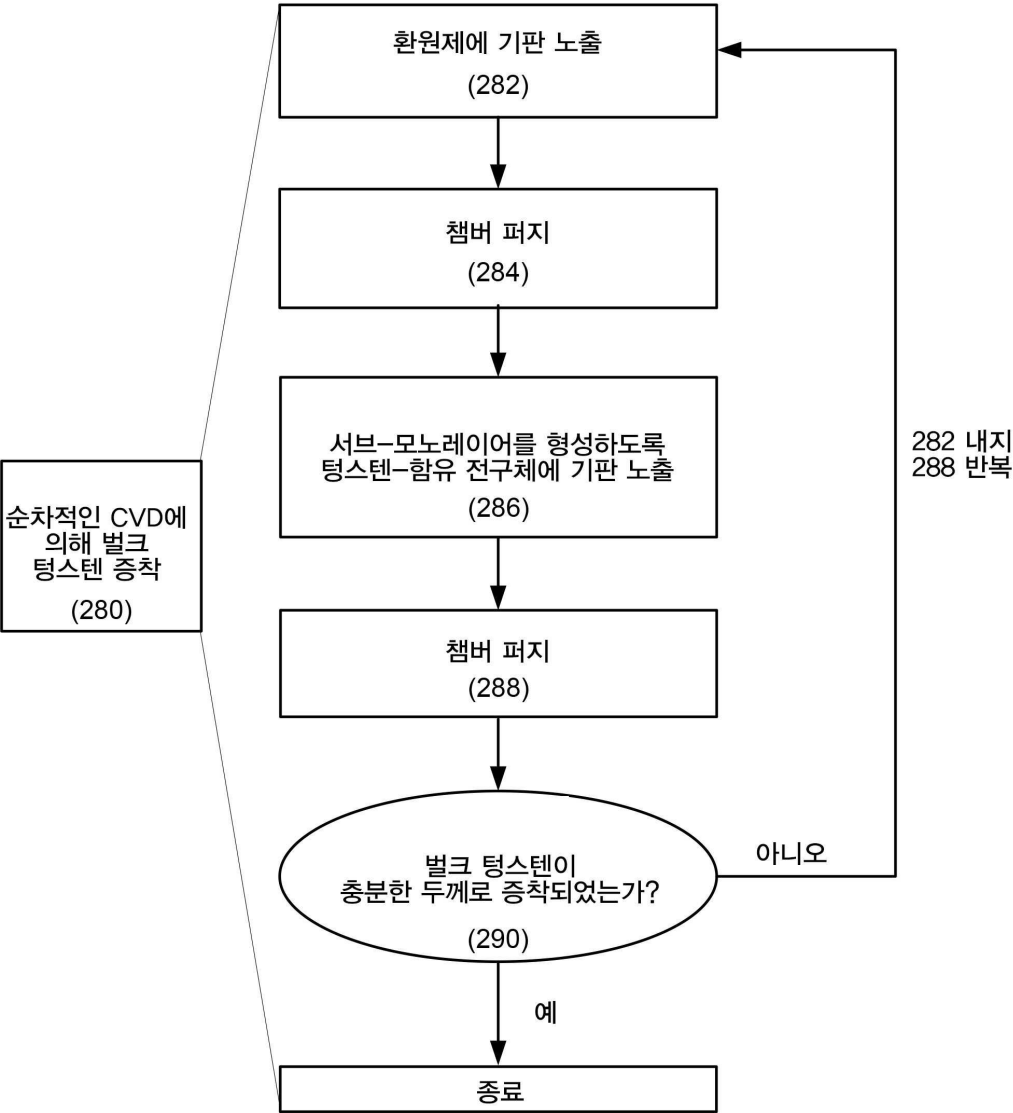
도면 1h



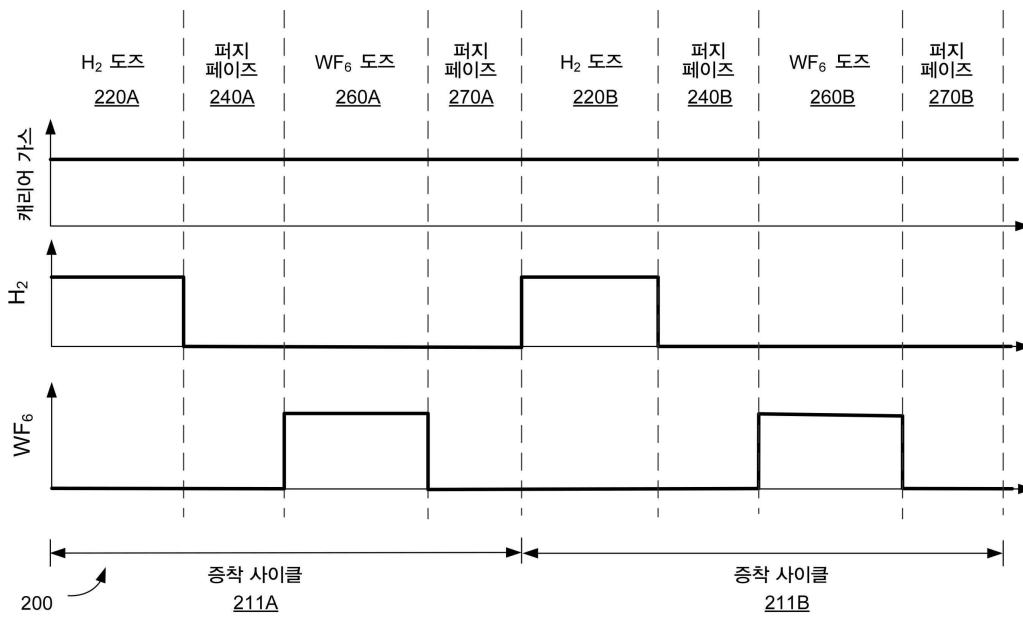
도면2a



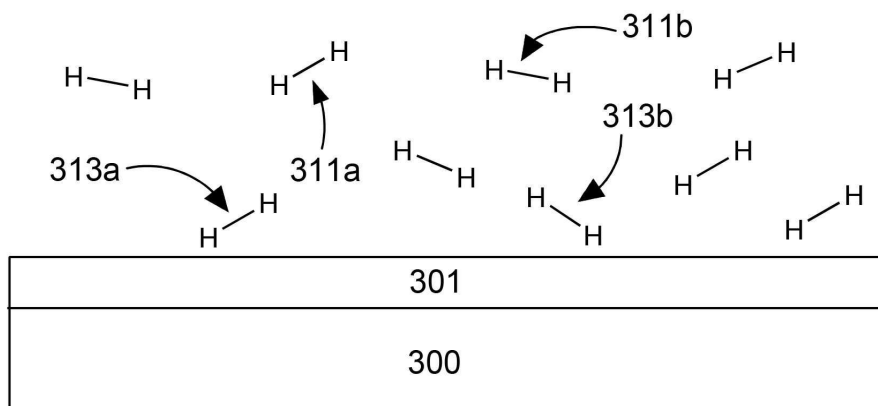
도면2b



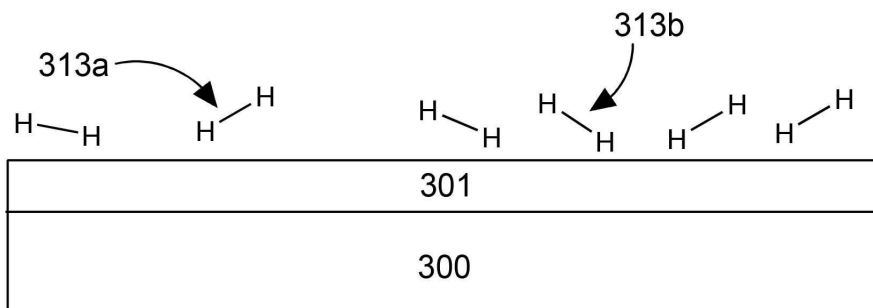
도면2c



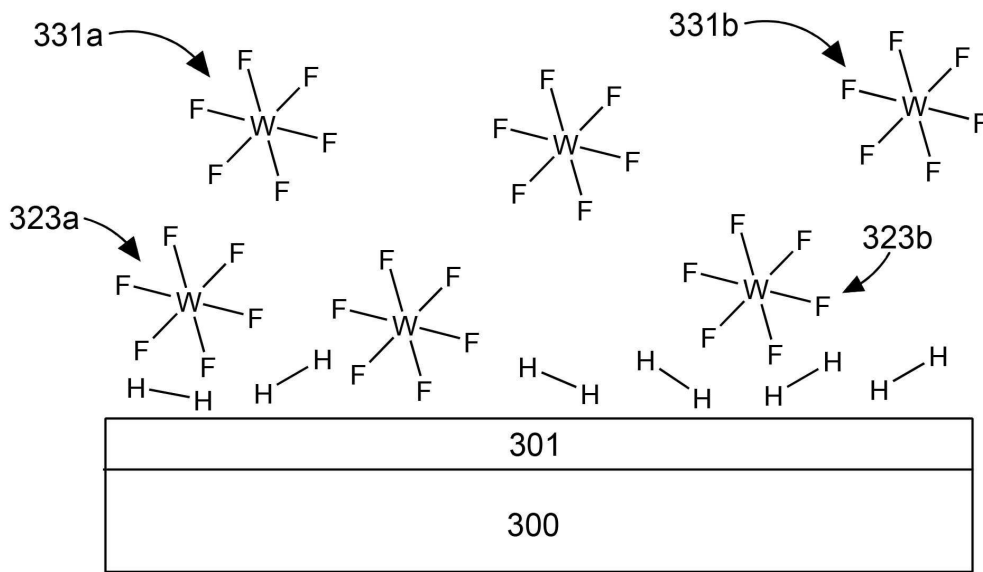
도면3a



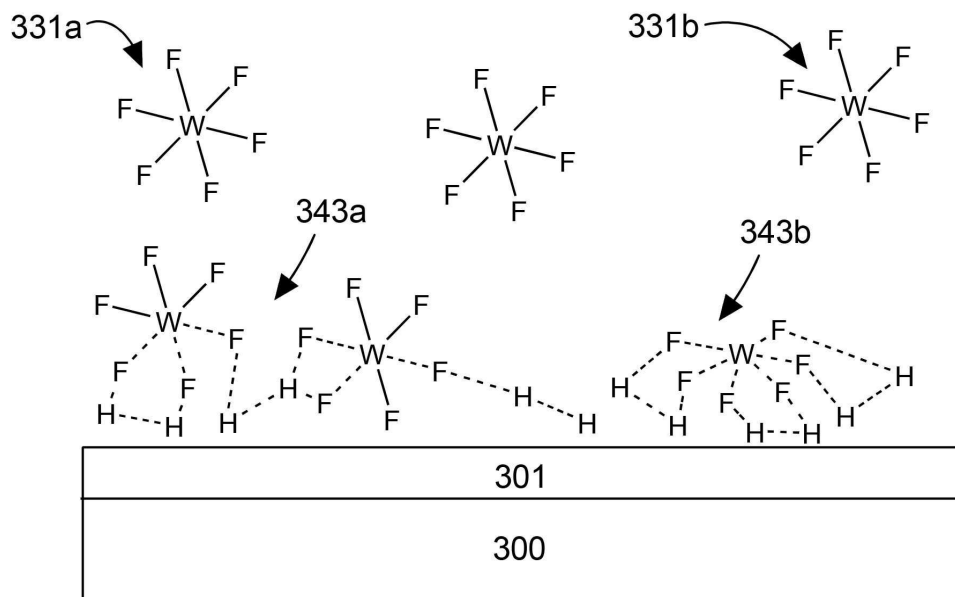
도면3b



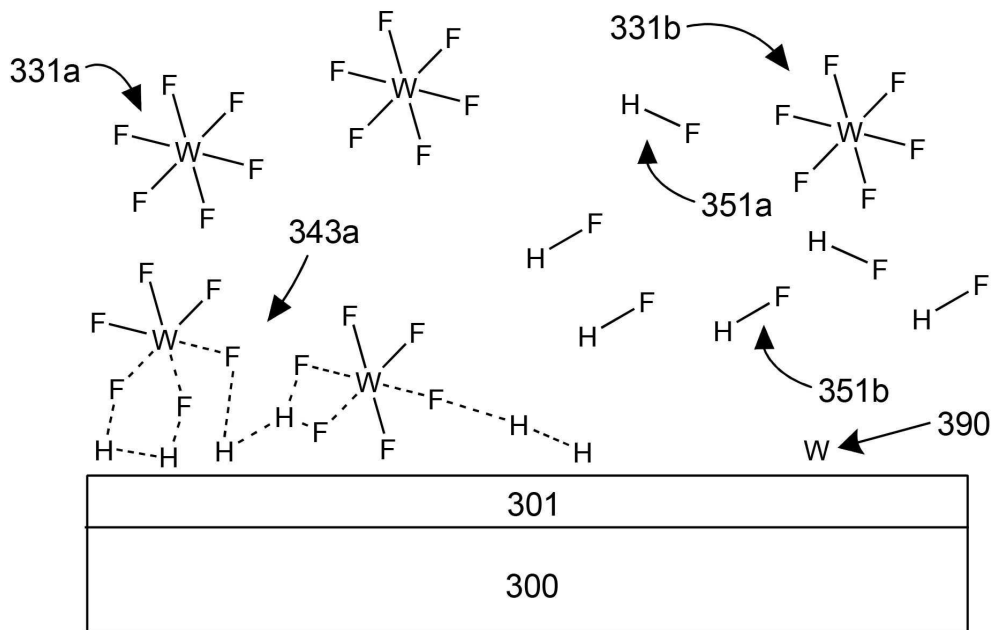
도면3c



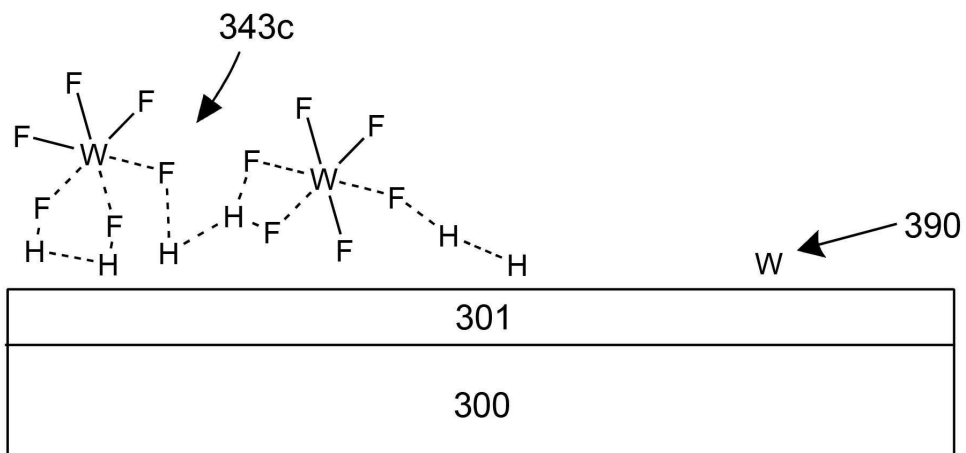
도면3d



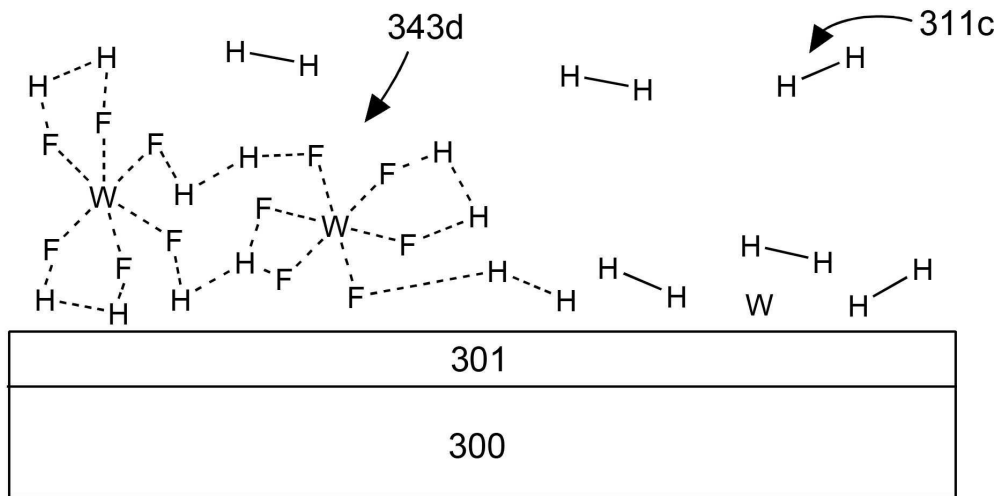
도면3e



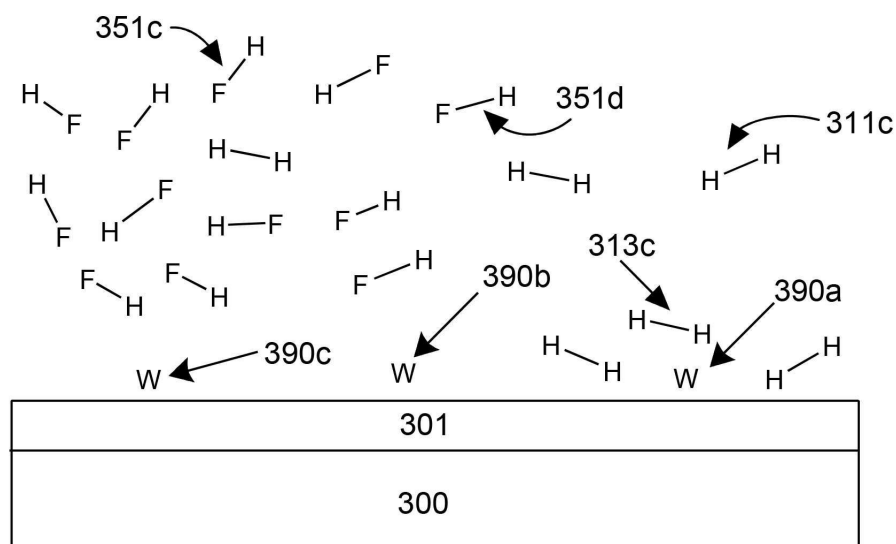
도면3f



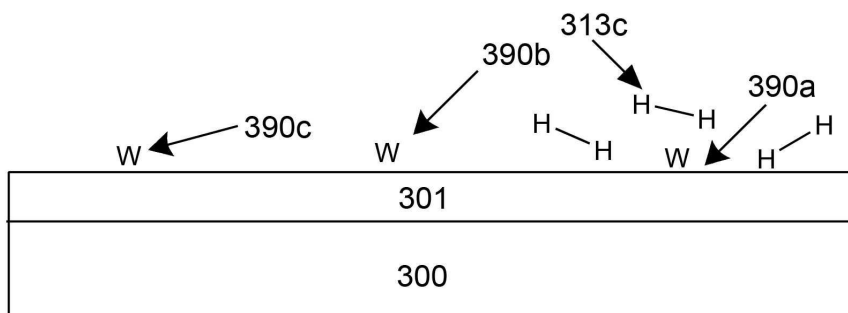
도면3g



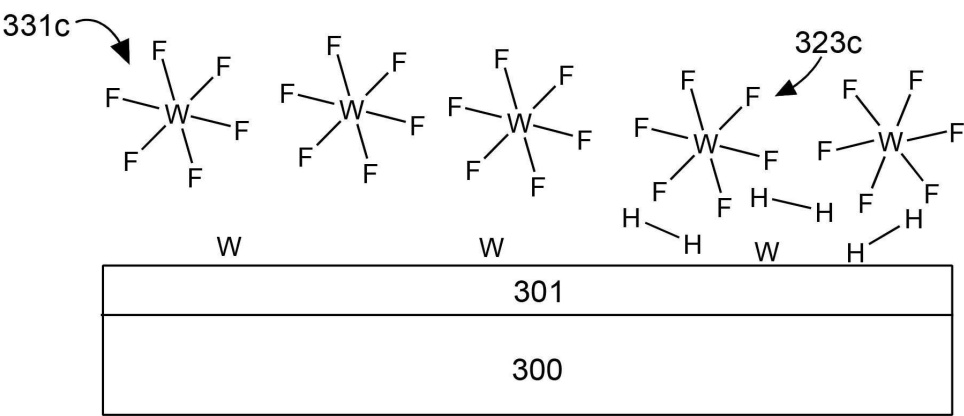
도면3h



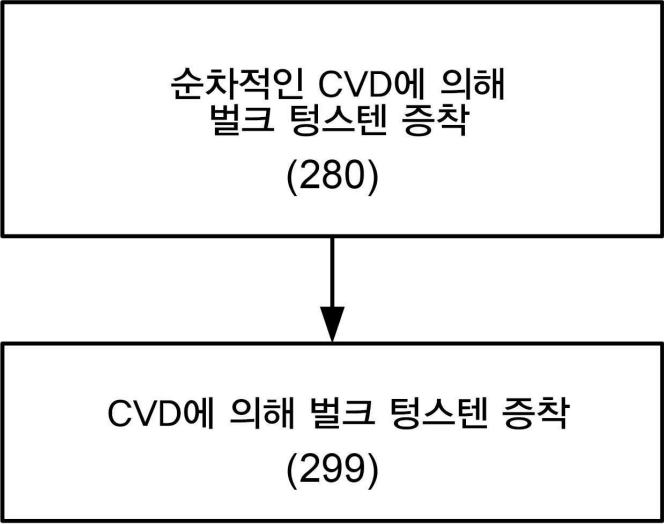
도면3i



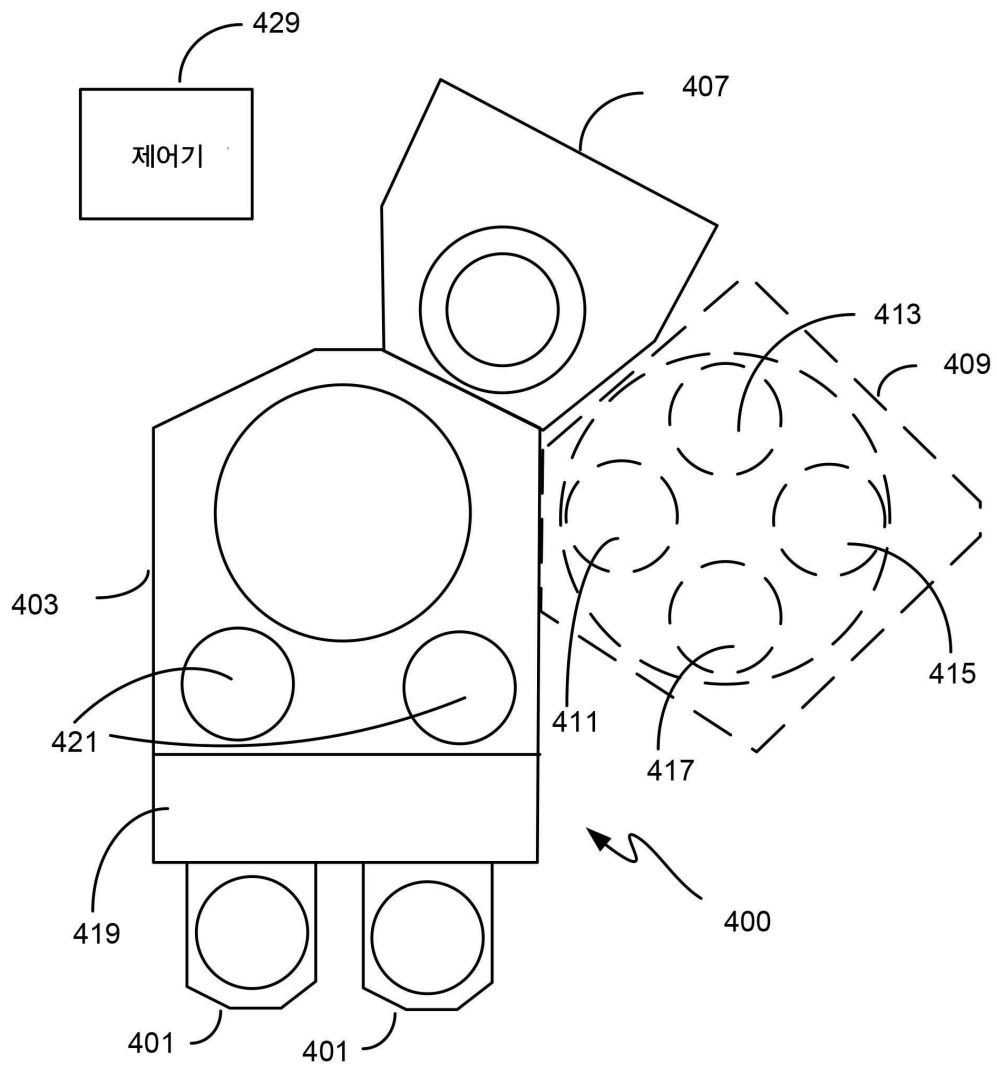
도면3j



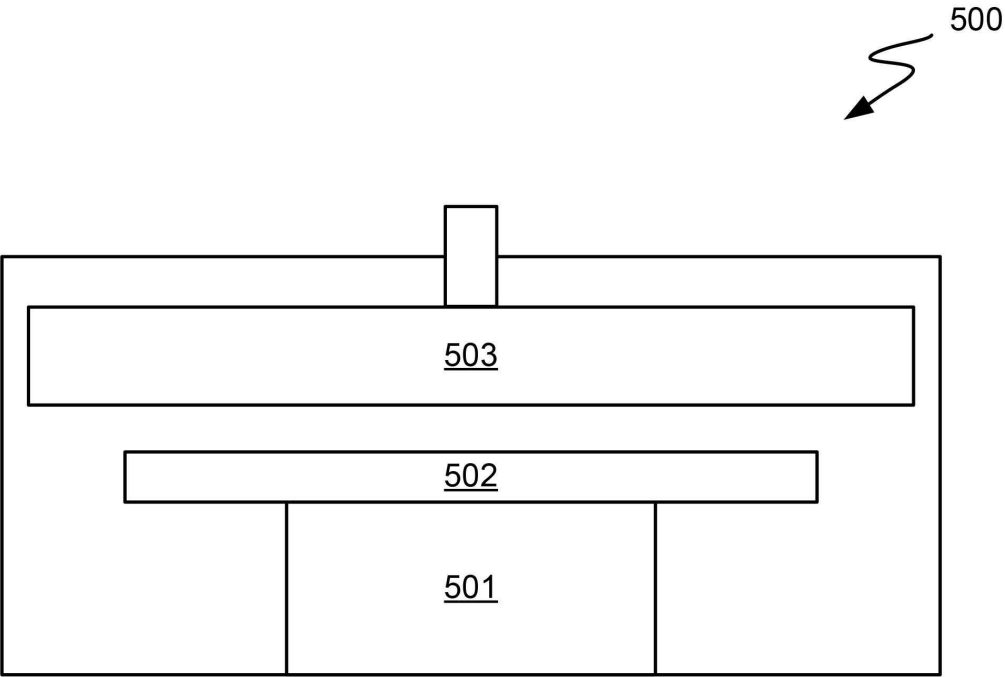
도면3k



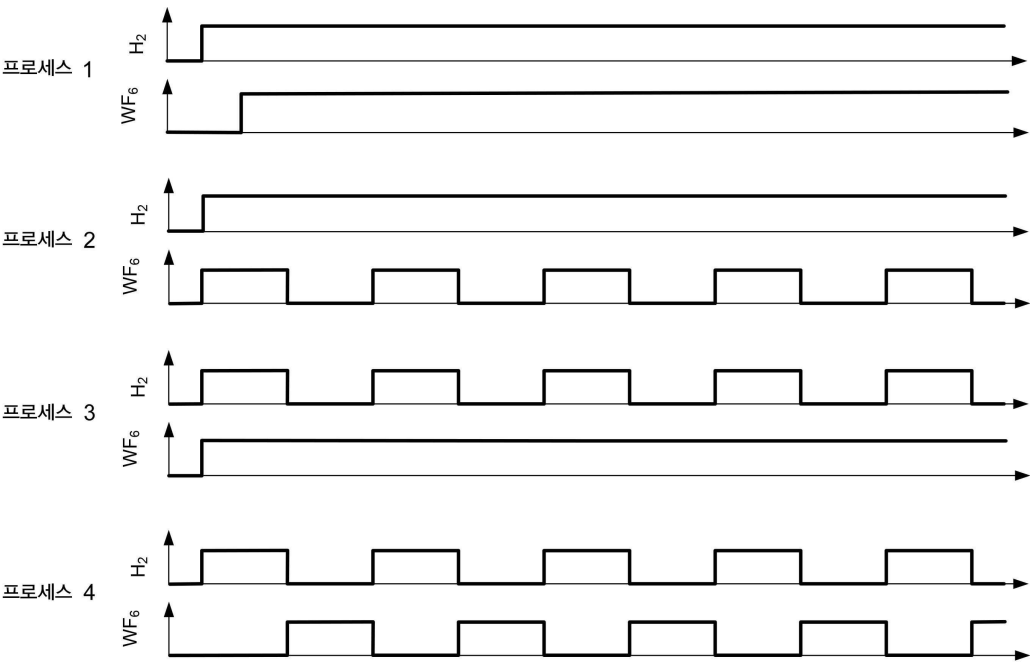
도면4



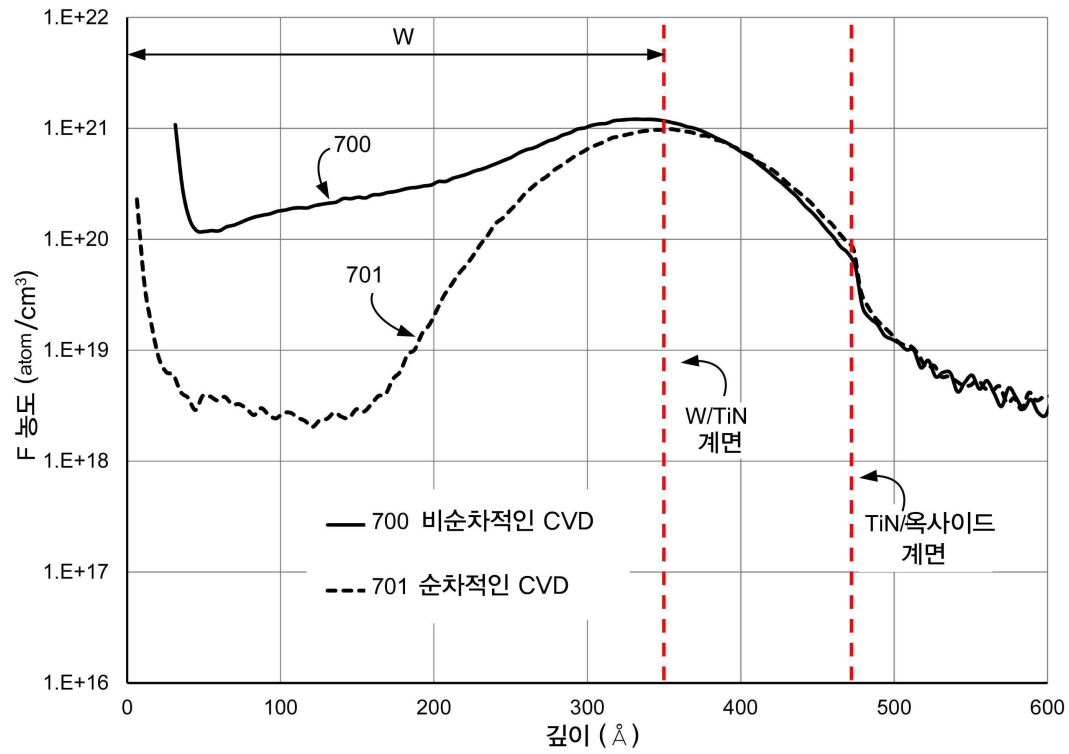
도면5



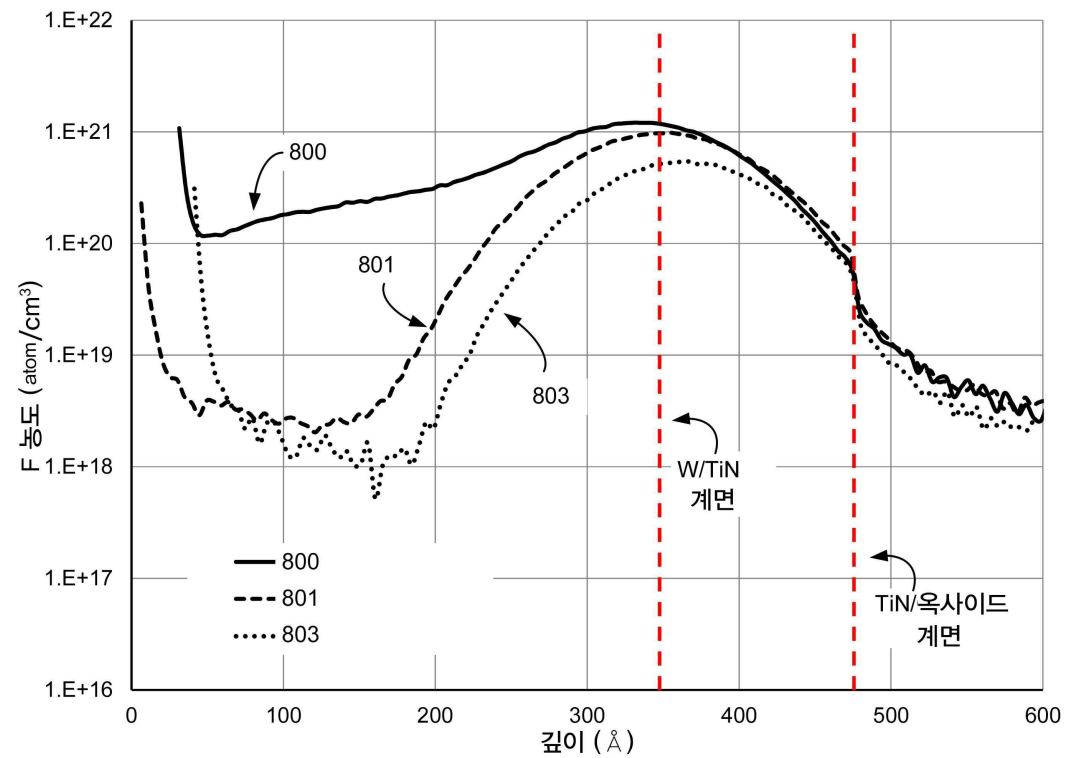
도면6



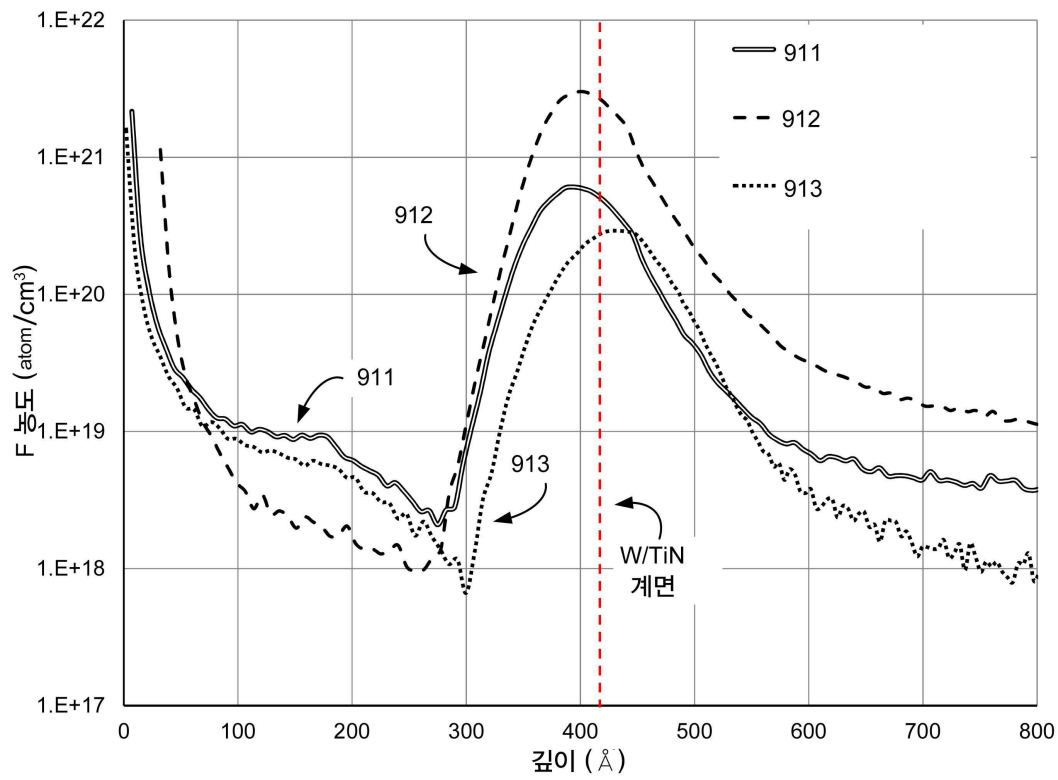
도면7



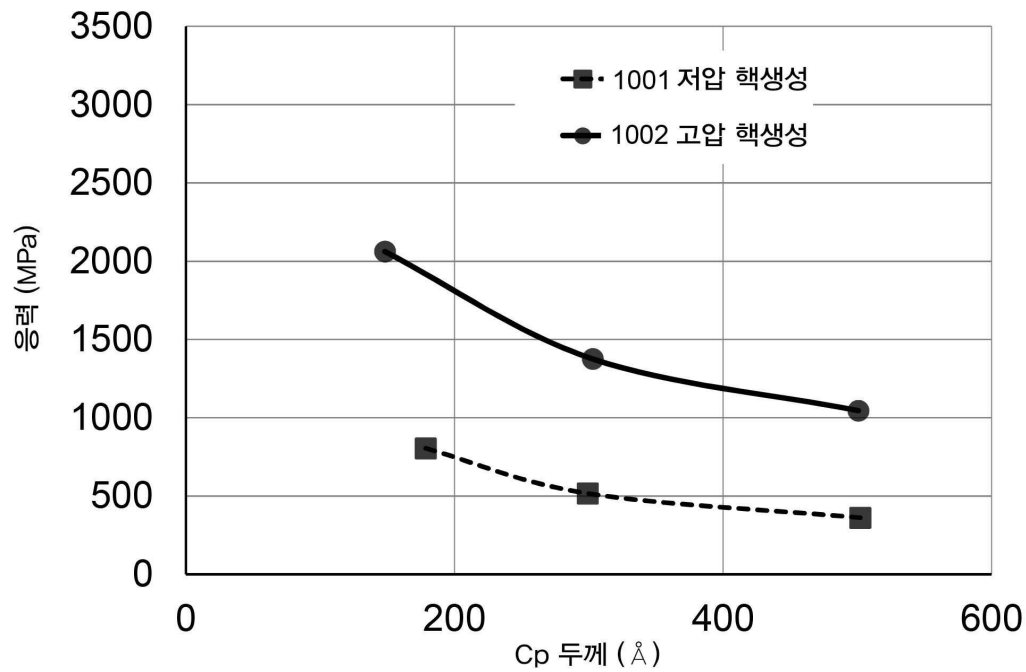
도면8



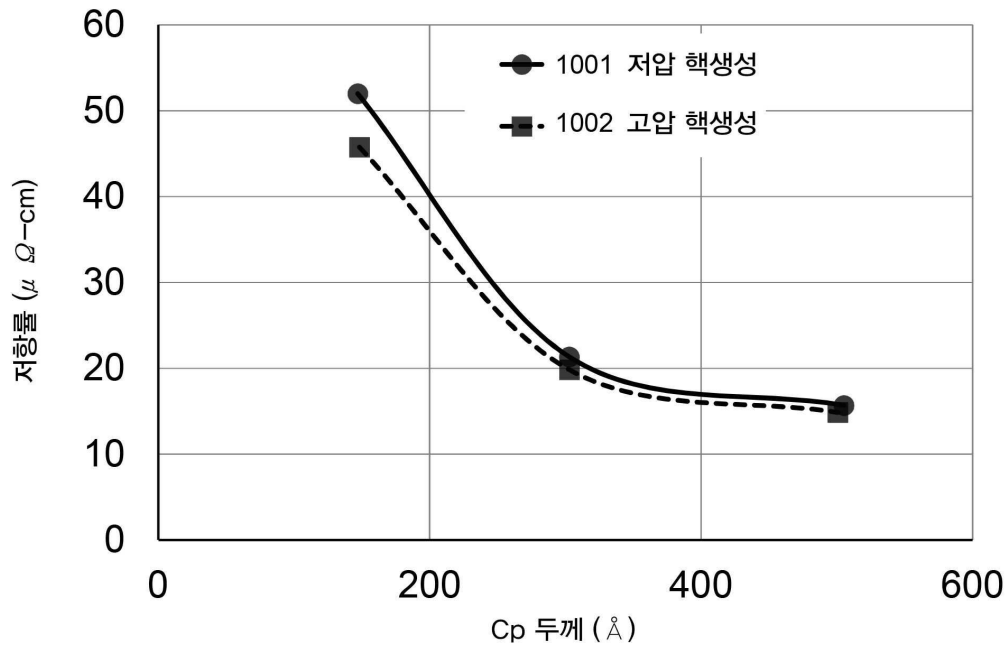
도면9



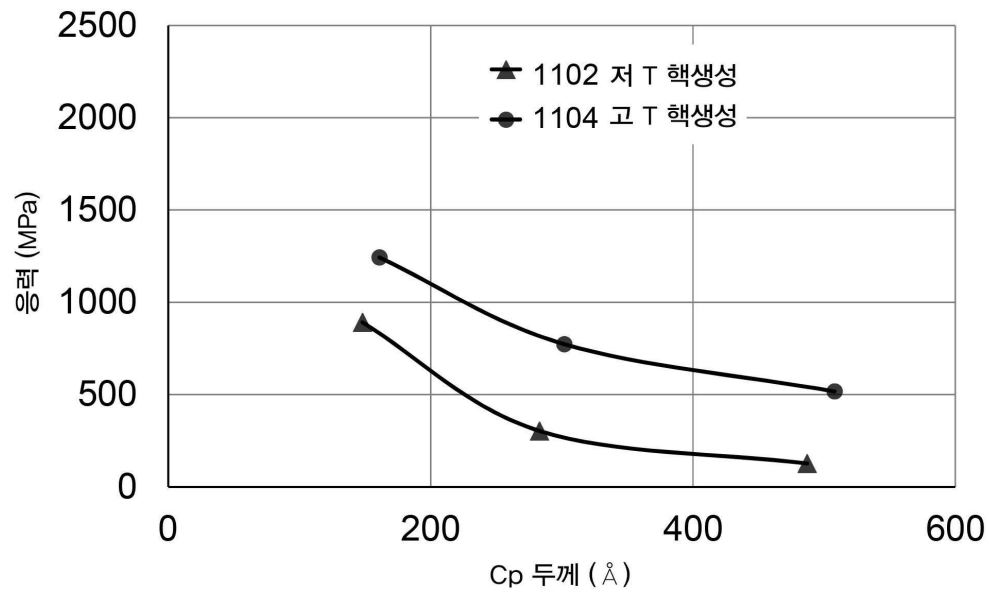
도면10a



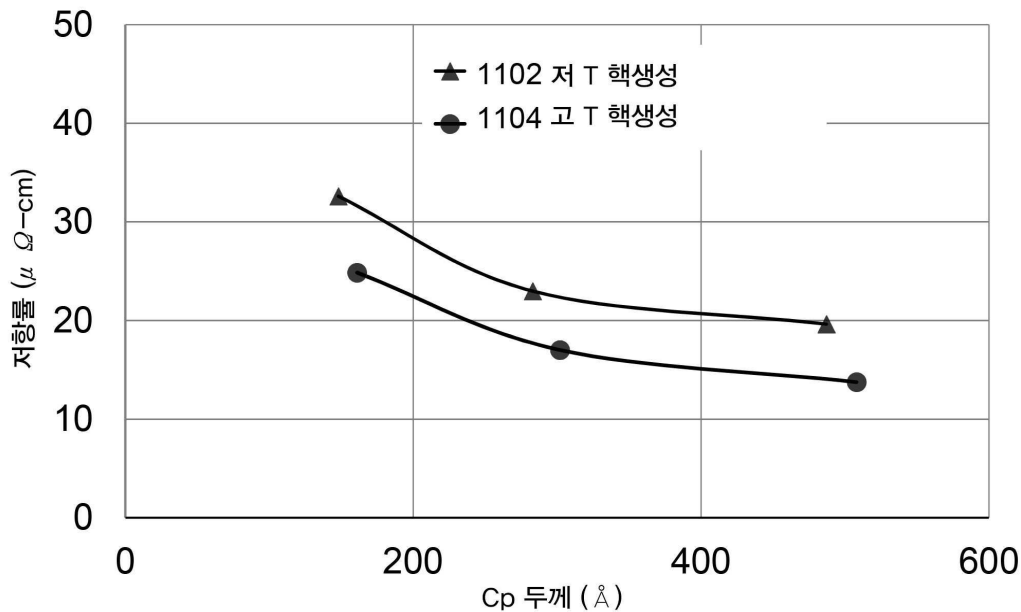
도면10b



도면11a



도면11b



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 10

【변경전】

피처를 충전하는 방법에 있어서,

(a) 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 기판 위에 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 수소와 제 1 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계; 및

(b) 상기 기판 위에 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 동시에 제 2 텅스텐-함유 전구체와 환원제에 상기 기판을 노출시키는 단계를 포함하는, 피처를 충전하는 방법.

【변경후】

피처를 충전하는 방법에 있어서,

(a) 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 기판 위에 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 수소와 제 1 텅스텐-함유 전구체의 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 1 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 교번하는 펄스들에 상기 기판을 노출시키는 단계; 및

(b) 상기 기판 위에 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 동시에 제 2 텅스텐-함유 전구체와 환원제에 상기 기판을 노출시키는 단계를 포함하는, 피처를 충전하는 방법.

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 22

【변경전】

기판들을 프로세싱하기 위한 장치에 있어서,

상기 장치는,

- (a) 기판을 홀딩하도록 구성된 페데스탈을 포함한 프로세스 챔버;
- (b) 진공과 커플링하기 위한 적어도 하나의 유출부;
- (c) 하나 이상의 프로세스 가스 소스들에 커플링된 하나 이상의 프로세스 가스 유입부들; 및
- (d) 상기 장치 내의 동작들을 제어하기 위한 제어기를 포함하고,
상기 제어기는,
(i) 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 수소 및 제 1 텅스텐-함유 전구체의 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션으로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 2 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 인스트럭션; 및

(ii) 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 제 2 텅스텐-함유 전구체 및 환원제의 동시 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션을 포함하는, 기판들을 프로세싱하기 위한 장치.

【변경후】

기판들을 프로세싱하기 위한 장치에 있어서,

상기 장치는,

- (a) 기판을 홀딩하도록 구성된 페데스탈을 포함한 프로세스 챔버;
- (b) 진공과 커플링하기 위한 적어도 하나의 유출부;
- (c) 하나 이상의 프로세스 가스 소스들에 커플링된 하나 이상의 프로세스 가스 유입부들; 및
- (d) 상기 장치 내의 동작들을 제어하기 위한 제어기를 포함하고,
상기 제어기는,
(i) 순차적인 CVD (sequential chemical vapor deposition) 에 의해 제 1 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 교번하는 펄스들로 수소 및 제 1 텅스텐-함유 전구체의 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션으로서, 상기 순차적인 CVD에서 상기 수소와 상기 제 1 텅스텐-함유 전구체 사이의 반응은 자기-제한적이지 않은, 상기 인스트럭션; 및

(ii) 제 2 벌크 텅스텐 층을 증착하도록 상기 프로세스 챔버에 제 2 텅스텐-함유 전구체 및 환원제의 동시 도입을 유발하기 위한 머신-판독가능 인스트럭션을 포함하는, 기판들을 프로세싱하기 위한 장치.