



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월30일
(11) 등록번호 10-2712239
(24) 등록일자 2024년09월26일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/02 (2006.01) C23C 16/455 (2006.01)
H01L 21/285 (2006.01) H01L 21/67 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 21/0228 (2013.01)
C23C 16/45525 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2020-7030667
- (22) 출원일자(국제) 2019년03월15일
심사청구일자 2022년03월14일
- (85) 번역문제출일자 2020년10월23일
- (65) 공개번호 10-2020-0127261
- (43) 공개일자 2020년11월10일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2019/022568
- (87) 국제공개번호 WO 2019/190783
국제공개일자 2019년10월03일
- (30) 우선권주장
62/647,993 2018년03월26일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
JP04143921 A*
KR1020160015157 A*
JP2016507001 A
US20160027614 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
램 리쎌치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
- (72) 발명자
라보이에, 아드리언
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
- (74) 대리인
특허법인인벤싱크

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 강명희

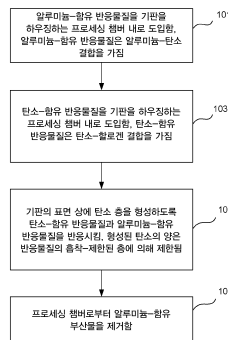
(54) 발명의 명칭 탄소 막들의 원자 층 증착

(57) 요약

탄소 막들은 알루미늄-탄소 결합을 갖는 알루미늄-함유 반응물질 (예를 들어, 트리알킬알루미늄) 과 탄소-할로겐 결합을 갖는 탄소-함유 반응물질 (예를 들어, 플루오로카본, 예컨대 CF₄ 또는 CH₂F₂) 간 반응을 사용하여 원자 층 증착에 의해 반도체 기판들 상에 증착된다. 방법은 프로세싱 챔버로 반응물질들을 순차적으로 도입하는 단계,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



반도체 기판의 표면 상에 반응물질들 중 하나 또는 모두의 흡착-제한된 층을 형성하는 단계, 및 흡착-제한된 반응 층에 의해 제한되는 양으로 탄소 층을 형성하도록 탄소-함유 반응물질과 알루미늄-함유 반응물질을 반응시키는 단계를 수반한다. 알루미늄-함유 부산물이 프로세싱 챔버로부터 제거된다. 이러한 탄소 층들은 껍층진 적용 예들, 예를 들어 3D NAND 제조에서 자기-정렬 더블 패터닝 프로세스들에서 스페이서들로서 사용될 수 있다.

(52) CPC특허분류

H01L 21/28556 (2013.01)

H01L 21/67017 (2013.01)

H01L 21/67276 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

프로세싱 챔버에서 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법에 있어서,

(a) 알루미늄-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하는 단계로서, 상기 알루미늄-함유 반응물질은 적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 갖는, 상기 알루미늄-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하는 단계;

(b) 탄소-함유 반응물질을 상기 프로세싱 챔버로 도입하는 단계로서, 상기 탄소-함유 반응물질은 적어도 하나의 탄소-할로젠 결합을 갖고, 그리고 상기 탄소-함유 반응물질은 상기 알루미늄-함유 반응물질과 상이한, 상기 탄소-함유 반응물질을 상기 프로세싱 챔버로 도입하는 단계;

(c) 상기 알루미늄-함유 반응물질 및 상기 탄소-함유 반응물질 중 하나 또는 모두가 반도체 기판의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성하는 조건들 하에서 상기 알루미늄-함유 반응물질 및 상기 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나를 상기 반도체 기판의 상기 표면에 흡착시키는 단계; 및

(d) 상기 알루미늄-함유 반응물질 및 상기 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나가 상기 반도체 기판의 상기 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성한 후, 상기 반도체 기판의 상기 표면 상에 탄소 층을 형성하도록, 상기 알루미늄-함유 반응물질과 상기 탄소-함유 반응물질을 반응시키는 단계를 포함하는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 갖는 상기 알루미늄-함유 반응물질은 트리알킬알루미늄인, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 갖는 상기 알루미늄-함유 반응물질은 트리메틸알루미늄인, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

적어도 하나의 탄소-할로젠 결합을 갖는 상기 탄소-함유 반응물질은 탄소 테트라할라이드인, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 탄소-할로젠 결합은 탄소-불소 결합인, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 알루미늄-함유 반응물질은 트리알킬알루미늄이고, 그리고 상기 탄소-함유 반응물질은 CX_4 , CHX_3 , CH_2X_2 , 및 CH_3X 로 구성된 그룹으로부터 선택되고, 여기서 X는 할로젠인, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
X는 불소인, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서,
X는 염소 및/또는 브롬인, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,
상기 알루미늄-함유 반응물질과 상기 탄소-함유 반응물질을 반응시키는 단계는 알루미늄-함유 부산물을 형성하는 것을 포함하고, 상기 방법은 상기 단계 (d) 후 상기 알루미늄-함유 부산물을 제거하는 단계를 더 포함하는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,
상기 알루미늄-함유 부산물은 알루미늄-할로젠 결합을 포함하는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,
상기 탄소 층이 형성되는 상기 반도체 기판의 상기 표면은 패터닝된 3D 피처들을 갖는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 12

제 1 항에 있어서,
상기 알루미늄-함유 반응물질은 상기 탄소-함유 반응물질을 도입하기 전에 흡착-제한된 층을 형성하는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 13

제 1 항에 있어서,
상기 탄소-함유 반응물질은 상기 알루미늄-함유 반응물질을 도입하기 전에 흡착-제한된 층을 형성하는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 14

제 1 항에 있어서,
상기 단계 (a) 와 상기 단계 (b) 사이에 상기 프로세싱 챔버로부터 상기 알루미늄-함유 반응물질 또는 상기 탄소-함유 반응물질을 제거하기 위해 상기 프로세싱 챔버를 퍼지 및/또는 배기하는 단계를 더 포함하는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 15

제 1 항에 있어서,
미리 결정된 두께로 상기 탄소 층을 증착하기 위해 상기 단계 (a) 내지 상기 단계 (d) 를 반복하는 단계를 더 포함하는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 탄소 층은 깎춘진 동작에서 증착되는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 17

제 1 항에 있어서,

상기 탄소 층은 부분적으로 제조된 3D NAND 구조체에서 깎춘진 동작으로 증착되는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 18

프로세싱 챔버에서 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법에 있어서,

(a) 알루미늄-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하고 반도체 기판의 표면 상에 상기 알루미늄-함유 반응물질의 층을 형성하는 단계로서, 상기 알루미늄-함유 반응물질은 적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 갖는, 상기 알루미늄-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하고 층을 형성하는 단계;

(b) 상기 단계 (a) 후 상기 프로세싱 챔버로부터 상기 알루미늄-함유 반응물질을 제거하는 단계;

(c) 탄소-함유 반응물질을 상기 프로세싱 챔버로 도입하고 상기 반도체 기판의 상기 표면 상에 상기 탄소-함유 반응물질의 층을 형성하는 단계로서, 상기 탄소-함유 반응물질은 적어도 하나의 탄소-할로젠 결합을 갖고, 그리고 상기 탄소-함유 반응물질은 상기 알루미늄-함유 반응물질과 상이한, 상기 탄소-함유 반응물질을 상기 프로세싱 챔버로 도입하고 층을 형성하는 단계;

(d) 상기 단계 (c) 후 상기 프로세싱 챔버로부터 상기 탄소-함유 반응물질을 제거하는 단계; 및

(e) 상기 알루미늄-함유 반응물질과 상기 탄소-함유 반응물질 사이의 반응을 활성화하여 상기 반도체 기판의 상기 표면 상에 탄소 층을 형성하도록, 상기 알루미늄-함유 반응물질 층 및 상기 탄소-함유 반응물질 층을 갖는 상기 반도체 기판을 플라즈마와 콘택트시키는 단계를 포함하는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 알루미늄-함유 반응물질은 트리알킬알루미늄이고, 상기 탄소-함유 반응물질은 CF₄이고, 그리고 상기 트리알킬알루미늄과 CF₄ 간의 상기 반응은 상기 반도체 기판을 헬륨 (He), 아르곤 (Ar), 수소 (H₂) 및 질소 (N₂) 로 구성된 그룹으로부터 선택된 가스를 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마와 콘택트시킴으로써 활성화되는, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법.

청구항 20

삭제

청구항 21

반도체 기판을 프로세싱하기 위한 시스템에 있어서,

(a) 프로세싱 챔버로서, 기판 홀더 및 상기 프로세싱 챔버로 반응물질들의 도입을 위한 하나 이상의 유입구들을 갖는, 상기 프로세싱 챔버; 및

(b) 시스템 제어기로서,

(i) 상기 프로세싱 챔버로 알루미늄-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들로서, 상기 알루미늄-함유 반응물질은 적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 갖는, 상기 알루미늄-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들;

(ii) 상기 프로세싱 챔버로 탄소-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들로서,

상기 탄소-함유 반응물질은 적어도 하나의 탄소-할로젠 결합을 갖고, 그리고 상기 탄소-함유 반응물질은 상기 알루미늄-함유 반응물질과 상이한, 상기 탄소-함유 반응물질을 상기 프로세싱 챔버로 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들;

(iii) 상기 알루미늄-함유 반응물질 및 상기 탄소-함유 반응물질 중 하나 또는 모두가 반도체 기판의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성하는 조건들 하에서 상기 반도체 기판의 상기 표면으로 상기 알루미늄-함유 반응물질 및 상기 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나의 흡착을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들; 및

(iv) 상기 알루미늄-함유 반응물질 및 상기 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나가 상기 반도체 기판의 상기 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성한 후, 상기 반도체 기판의 상기 표면 상에 탄소 층을 형성하도록, 상기 알루미늄-함유 반응물질과 상기 탄소-함유 반응물질 간의 반응을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들을 포함하는, 상기 시스템 제어기를 포함하는, 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 참조로서 인용

[0002] PCT 신청 양식이 본 출원의 일부로서 본 명세서와 동시에 제출되었다. 본 출원이 동시에 제출된 PCT 신청 양식에서 식별된 바와 같이 우선권 또는 이익을 주장하는 출원 각각은 전체가 모든 목적들을 위해 참조로서 인용되었다.

[0003] 본 발명은 반도체 디바이스 제작 방법들에 관한 것이다. 구체적으로, 본 발명의 실시예들은 반도체 프로세싱시 탄소 막들을 증착하는 방법들에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] IC (integrated circuit) 제조시, 증착 및 에칭 기법들이 재료들의 패턴들을 형성하기 위해, 예컨대 유전체 층들에 임베딩된 금속 라인들을 형성하기 위해 사용된다. 일부 패턴링 스킴들 (schemes) 은 재료들의 컨포멀한 (conformal) 증착을 필요로 하고, 증착된 층은 기판의 표면 상에 돌출부들 및/또는 리세스된 피처들의 윤곽을 따라야 한다. 원자 층 증착 (ALD) 이 기판의 표면으로 하나 이상의 반응물질들의 흡착, 및 흡착된 층의 목표된 재료로 후속하는 화학적 변환에 의존하기 때문에, ALD는 종종 기판 상의 컨포멀한 막들의 바람직한 형성 방법이다. ALD는 기판의 표면 상에서 발생하고 통상적으로 흡착된 반응물질의 양에 의해 제한되는 반응들을 사용하기 때문에, 이 방법은 우수한 단차 커버리지를 갖는 박형의 컨포멀한 층들을 제공할 수 있다.

[0005] 본 명세서에 제공된 본 배경기술 기술 (description) 은 일반적으로 본 개시의 맥락을 제공할 목적이다. 본 배경기술 섹션에 기술된 정도로 현재 명명된 발명자의 업적뿐만 아니라 출원시 종래 기술로서 달리 인정되지 않을 수도 있는 기술의 양태들은 본 개시에 대한 종래기술로서 명시적으로나 암시적으로 인정되지 않는다.

발명의 내용

[0006] ALD에 의해 탄소 층들을 증착하는 방법들은 이전에 개발되지 않았다. 따라서, 증착된 두께에 대한 높은 수준의 제어 및 우수한 단차 커버리지를 갖는 탄소 층들의 증착은 어려운 문제를 제시한다. 표면-제어된 방식으로 탄소 층들을 증착하기 위한 방법들 및 장치가 본 명세서에 제공된다. 우수한 단차 커버리지를 갖는 컨포멀한 (conformal) 탄소 막들은 제공된 방법들에 의해 증착될 수 있고 겹층진 (예를 들어, 3D NAND 구조체들의 겹층진시) 을 포함하여, 그리고 자기-정렬 더블 패턴링 (self aligned double patterning; SADP) 에서 스페이서 형성 동안 다양한 적용예들에 사용될 수 있다.

[0007] 일 양태에서, 프로세싱 챔버에서 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 방법이 제공되고, 방법은 (a) 알루미늄-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하는 단계로서, 알루미늄-함유 반응물질은 적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합 (예를 들어, 반응물질은 알킬-치환된 알루미늄, 예컨대 트리알킬알루미늄) 을 갖는, 알루미늄-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하는 단계; (b) 탄소-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하는 단계로서, 탄소-함유 반응물질은 적어도 하나의 탄소-할로젠 결합을 갖고, 그리고 탄소-함유 반응물질은 알루미늄-함유 반응물질과 상이한 (예를 들어, 탄소-함유 반응물질은 탄소 테트라할라이드임), 탄소-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하는 단계; (c) 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중 하나 또는 모두가 반도체 기판의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성하는 조건들 하에서 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중

적어도 하나를 반도체 기관의 표면에 흡착시키는 단계; 및 (d) 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나가 반도체 기관의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성한 후, 반도체 기관의 표면 상에 탄소 층을 형성하도록, 알루미늄-함유 반응물질과 탄소-함유 반응물질을 반응시키는 단계를 포함한다. 단계 (a) 내지 단계 (d) 는 미리 결정된 두께를 갖는 탄소 층을 증착하기 위해 필요한만큼 다수 회 반복될 수 있다.

[0008] 적합한 알루미늄-함유 반응물질들은 트리알킬알루미늄들을 포함한다. 일 예에서 알루미늄-함유 반응물질은 트리메틸알루미늄이다. 탄소-할라이드 결합을 갖는 적합한 탄소-함유 반응물질들의 예들은 CX_4 , CHX_3 , CH_2X_2 , 및 CH_3X 를 포함하고, X는 할로겐이다. 일부 실시예들에서 탄소-함유 반응물질은 탄소 테트라할라이드이다. 일부 실시예들에서 탄소-함유 반응물질은 탄소-불소 결합을 포함한다.

[0009] 일부 구현예에서 알루미늄-함유 반응물질은 트리알킬알루미늄이고, 그리고 탄소-함유 반응물질은 CX_4 , CHX_3 , CH_2X_2 , 및 CH_3X 중 하나 이상이고, 여기서 X는 할로겐이다. 일부 실시예들에서 할로겐은 불소이다. 다른 실시예들에서 할로겐은 염소 및/또는 브롬이다. 특정한 예에서 알루미늄-함유 반응물질은 트리알킬알루미늄 (예를 들어, 트리메틸알루미늄 또는 트리에틸알루미늄) 이고, 그리고 탄소-함유 반응물질은 CF_4 , CCl_4 , 또는 CBr_4 이다.

[0010] 알루미늄-함유 반응물질과 탄소-함유 반응물질 사이의 반응은, 반응이 완료된 후 제거될 수 있는 알루미늄-함유 부산물의 형성을 발생시킨다. 부산물은 통상적으로 알루미늄-할로겐 결합을 함유한다. 예를 들어, 탄소-함유 반응물질이 탄소-불소 결합을 함유하면, 부산물은 알루미늄 플루오라이드를 포함할 것이다.

[0011] 프로세싱 챔버 내로 반응물질들의 도입은 순차적이고, 프로세싱 챔버는 제 1 반응물질의 도입 후 그리고 제 2 반응물질의 도입 전 퍼지 및/또는 배기된다. 반응물질들은 임의의 순서로 도입될 수 있다. 일 실시예에서, 알루미늄-탄소 결합을 갖는 알루미늄-함유 반응물질이 먼저 프로세싱 챔버 내로 도입되고 기관의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성하게 된다. 다음에 흡착되지 않은 알루미늄-함유 반응물질이 (예를 들어, 퍼지 및/또는 배기에 의해) 프로세싱 챔버로부터 제거되고, 이어서 탄소-함유 반응물질은 프로세싱 챔버 내로 도입되고 탄소 층을 형성하기 위해 알루미늄-함유 반응물질의 흡착된 층과 반응하게 된다. 다음에, 알루미늄-함유 부산물이 제거될 수 있고, 프로세스는 미리 결정된 두께의 탄소 층을 증착하도록 필요한만큼 다수 회 반복될 수도 있다.

[0012] 또 다른 실시예에서, 프로세스는 먼저 탄소-함유 반응물질을 프로세싱 챔버 내로 도입하고 기관 상에 탄소-함유 반응물질의 흡착-제한된 층을 형성함으로써 시작된다. 흡착되지 않은 탄소-함유 반응물질은 퍼지 및/또는 배기에 의해 프로세싱 챔버로부터 제거된다. 다음에, 알루미늄-함유 반응물질이 프로세싱 챔버 내로 도입되고 기관의 표면 상에 탄소 층을 형성하기 위해 탄소-함유 반응물질의 흡착된 층과 반응한다.

[0013] 일부 실시예들에서 알루미늄-함유 반응물질과 탄소-함유 반응물질 사이의 반응은 활성화 없이 열적으로 발생한다. 다른 실시예들에서, 반응은 예를 들어, 알루미늄-함유 반응물질 층 및 탄소-함유 반응물질 층이 그 위에 형성된 기관의 플라즈마 처리에 의해 활성화된다. 일 구현예에서, 탄소 증착 방법은 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 모두를 기관의 표면 상에 흡착하는 단계, 및 헬륨 (He), 아르곤 (Ar), 수소 (H_2) 및 질소 (N_2) 로 구성된 그룹으로부터 선택된 가스를 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마에 기관을 노출함으로써 기관 상의 흡착된 반응물질들 사이의 반응을 활성화하는 단계를 포함한다.

[0014] 일 예시적인 구현예에서 프로세싱 챔버에서 반도체 기관의 표면 상에 탄소 층을 형성하는 플라즈마-활성화된 방법은 (a) 알루미늄-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하고 반도체 기관의 표면 상에 알루미늄-함유 반응물질의 층을 형성하는 단계로서, 알루미늄-함유 반응물질은 적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 갖는, 알루미늄-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하고 층을 형성하는 단계; (b) 단계 (a) 후 프로세싱 챔버로부터 알루미늄-함유 반응물질을 제거하는 단계; (c) 탄소-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하고 반도체 기관의 표면 상에 탄소-함유 반응물질의 층을 형성하는 단계로서, 탄소-함유 반응물질은 적어도 하나의 탄소-할로겐 결합을 갖고, 그리고 탄소-함유 반응물질은 알루미늄-함유 반응물질과 상이한, 탄소-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입하고 층을 형성하는 단계; (d) 단계 (c) 후 프로세싱 챔버로부터 탄소-함유 반응물질을 제거하는 단계; 및 (e) 알루미늄-함유 반응물질과 탄소-함유 반응물질 사이의 반응을 활성화하여 반도체 기관의 표면 상에 탄소 층을 형성하도록, 알루미늄-함유 반응물질 층 및 탄소-함유 반응물질 층을 갖는 반도체 기관을 플라즈마와 콘택트시키는 단계를 포함한다. 단계 (a) 내지 단계 (d) 는 목표된 두께의 탄소 층을 증착하기 위해 필요한만큼 다수 회 반복될 수 있다. 일 예에서, 알루미늄-함유 반응물질은 트리알킬알루미늄이고, 탄소-함유 반응물질은 CF_4 이고, 트리알킬알루미늄과 CF_4 사이의 반응은 헬륨 (He), 아르곤 (Ar), 수소 (H_2) 및 질소 (N_2) 로 구성된 그룹으로

로부터 선택된 가스를 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마와 반도체 기판을 콘택트시킴으로써 활성화된다.

- [0015] 일부 실시예들에서, 상부에 탄소 층이 형성되는 반도체 기판의 표면은 패터닝된 3D 피쳐들을 갖는다. 일부 구현예들에서, 탄소 층은 껍층진 동작에서 증착된다. 예를 들어 탄소 층은 부분적으로 제조된 3D NAND 구조체의 껍층진 동작에서 증착될 수 있다.
- [0016] 일부 구현예들에서 탄소 층은 복수의 돌출하는 피쳐들을 갖는 반도체 기판 위에 컨포멀하게 증착된다. 일 실시예에서, 방법은 돌출하는 피쳐들의 측벽들에서 탄소 층을 완전히 제거하지 않고 돌출하는 피쳐들의 수평 표면들로부터 탄소 층을 완전히 제거하는 단계; 및 이어서 돌출하는 피쳐들의 측벽들에 놓이는 탄소 층을 완전히 제거하지 않고 돌출하는 피쳐들을 제거하여, 반도체 기판 상에 탄소 스페이서들을 형성하는 단계를 더 수반한다.
- [0017] 일부 실시예들에서, 제공된 방법들은 포토레지스트를 기판에 도포하는 단계; 포토레지스트를 광에 노출하는 단계; 포토레지스트를 패터닝하고 패턴을 기판에 전사하는 단계; 및 기판으로부터 포토레지스트를 선택적으로 제거하는 단계를 더 포함한다.
- [0018] 또 다른 양태에서, 부분적으로 제조된 반도체 기판이 제공되고, 반도체 기판은 복수의 탄소 스페이서들을 포함한다.
- [0019] 또 다른 양태에서, 반도체 기판을 프로세싱하기 위한 시스템이 제공된다. 시스템은 프로세싱 챔버로서, 기판 홀더 및 프로세싱 챔버로 반응물질들의 도입을 위한 하나 이상의 유입구들을 갖는, 프로세싱 챔버; 및 본 명세서에 기술된 임의의 방법들을 수행하기 위한 프로그램 인스트럭션들을 포함하는 시스템 제어기를 포함한다. 일 구현예에서, 프로그램 인스트럭션들은 (i) 프로세싱 챔버로 알루미늄-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들로서, 알루미늄-함유 반응물질은 적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 갖는, 알루미늄-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들; (ii) 프로세싱 챔버로 탄소-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들로서, 탄소-함유 반응물질은 적어도 하나의 탄소-할로겐 결합을 갖고, 그리고 탄소-함유 반응물질은 알루미늄-함유 반응물질과 상이한, 탄소-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들; (iii) 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중 하나 또는 모두가 반도체 기판의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성하는 조건들 하에서 반도체 기판의 표면으로 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나의 흡착을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들; 및 (iv) 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나가 반도체 기판의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성한 후, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하도록, 알루미늄-함유 반응물질과 탄소-함유 반응물질 간의 반응을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들을 포함한다.
- [0020] 본 명세서에 기술된 주제의 구현예들의 이들 및 다른 양태들이 첨부된 도면들 및 이하의 기술에 언급된다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 명세서에 제공된 실시예에 따른, 탄소 증착 방법을 위한 프로세스 흐름도이다.
- 도 2a는 본 명세서에 제공된 실시예에 따른, 탄소 증착 방법을 위한 프로세스 흐름도이다.
- 도 2b는 본 명세서에 제공된 또 다른 실시예에 따른, 탄소 증착 방법을 위한 프로세스 흐름도이다.
- 도 3a 내지 도 3f는 본 명세서에 제공된 실시예에 따른, 프로세싱을 겪는 반도체 기판의 개략적인 단면도들을 도시한다.
- 도 4는 본 명세서에 제공된 실시예에 따른, 탄소 스페이서들을 형성하는 방법을 위한 프로세스 흐름도이다.
- 도 5 및 도 6은 본 명세서에 제공된 실시예에 따른, 프로세싱을 겪는 반도체 기판의 개략적인 단면도들을 도시한다.
- 도 7은 본 명세서에 제공된 실시예에 따른, 탄소 막들을 증착하기 적합한 장치의 개략적인 표현이다.
- 도 8은 본 명세서에 제공된 실시예에 따른, 멀티-스테이션 프로세싱 시스템의 개략도를 도시한다.
- 도 9는 본 명세서에 제공된 실시예에 따른, 멀티-스테이션 프로세싱 시스템의 개략도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] ALD를 사용하여 탄소 막들을 증착하는 방법들이 제공된다. 이들 방법들은 예를 들어, 하나 이상의 리세스된 피처들 또는 하나 이상의 돌출부들을 갖는 기판들과 같은, 표면 상에 3D 구조체들을 갖는 반도체 기판들 상에 컨포멀한 (conformal) 탄소 막들을 증착하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 방법들은 Al-C 결합 (예를 들어, 트리알킬알루미늄) 을 갖는 알루미늄-함유 반응물질과 탄소-할로겐 결합 (예를 들어, CF₄) 을 갖는 탄소-함유 반응물질 사이의 반응을 수반한다.
- [0023] 본 명세서에 사용될 때 용어 "ALD"는 일반적으로 기판의 표면 상에 흡착된 반응물질의 양으로 제한된 반응들 (흡착-제한된 반응 층) 에 의존하는 증착 방법들을 참조한다. 반응물질들의 흡착-제한된 층들은 알루미늄-함유 반응물질의 흡착-제한된 층, 탄소-함유 반응물질의 흡착-제한된 층 또는 두 반응물질들의 흡착-제한된 층들을 포함할 수도 있다. 일부 실시예들에서 ALD 방법들은 반응물질들이 프로세싱 챔버의 전반에서 혼합이 허용되지 않도록 프로세싱 챔버 내로 반응물질들의 순차적인 도입을 수반한다.
- [0024] 일부 실시예들에서, 탄소 막들은 껍층진 적용예들에서 증착된다. 예를 들어, 일 구현예에서, 탄소 막들은 3D NAND 제조 동안 껍층진시 증착될 수 있다. 일부 구현예들에서 탄소 막들은 자기 정렬 더블 패터닝 (self aligned double patterning; SADP) 의 스페이서들로서 사용된다. 그러나 제공된 방법들은 리세스된 피처들을 갖는 표면들 상에 탄소 막들의 증착으로 제한되지 않고, 또한 평면형 표면들 상에 블랭킷 탄소 막들을 증착하기 위해 사용될 수 있다. 방법들은 표면-제어된 반응들에 의존하고 막 두께에 대한 높은 정도의 제어로 막들을 증착하도록 사용될 수 있다. 막들은 프로세스 챔버 내로 반응물질들의 순차적 도입을 허용하는 매우 다양한 장치들에서 증착될 수 있다. 예를 들어, 탄소 막들은 Lam Research Corporation로부터 입수가 가능한 Striker[®] 증착 시스템들에서 증착될 수 있다.
- [0025] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 탄소는 본질적으로 탄소 (C), 그리고 선택가능하게, 수소 (H) 로 구성된 재료를 지칭한다. 일부 실시예들에서, 본 명세서에 사용된 바와 같이 탄소 막들은 C-H 결합들을 포함할 수도 있다. 하이드로카본들을 포함하는 재료들은 탄소 막들의 범주 내이다. 다른 원소들이 도펀트들의 총량에 대해 약 10 atomic % 미만의 소량의 도펀트들로서 탄소 막들에 존재할 수 있고, 수소는 계산에 포함되지 않는다.
- [0026] 본 명세서에 사용된 바와 같이 용어 "반도체 기판"은 구조체 내 어디에나 반도체 재료를 함유하는 반도체 디바이스 제조의 임의의 스테이지에서 기판을 참조한다. 반도체 기판의 반도체 재료는 노출될 필요는 없다는 것이 이해된다. 반도체 재료를 커버하는 다른 재료들 (예를 들어, 유전체들) 의 복수의 층들을 갖는 반도체 웨이퍼들은 반도체 기판들의 예들이다. 이하의 상세한 기술은 웨이퍼 상에서 구현되는 개시된 구현예들을 가정한다. 그러나, 개시된 구현예들은 이렇게 제한되지 않는다. 워크피스는 다양한 형상들, 사이즈들, 및 재료들일 수도 있다. 반도체 웨이퍼들에 더하여, 개시된 구현예들의 장점을 취할 수도 있는 다른 워크피스들은 인쇄 회로 기판들 등과 같은 다양한 물품들을 포함한다.
- [0027] 탄소 막들을 증착하기 위한 프로세스가 도 1에 도시된 프로세스 흐름도에 의해 예시된다. 동작 101에서, 알루미늄-함유 반응물질이 반도체 기판을 하우징하는 프로세싱 챔버로 도입된다. 알루미늄-함유 반응물질은 적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 포함한다. 일부 실시예들에서, 알루미늄-탄소 결합의 탄소는 메틸, 에틸, 프로필 (예를 들어, *n*-프로필 또는 *iso*-프로필), 부틸, 펜틸, 등과 같은 알킬 치환체의 일부이다. 일부 실시예들에서, 알루미늄-함유 반응물질은 트리알킬알루미늄이다. 적합한 반응물질들의 예들은 트리메틸알루미늄, 트리에틸알루미늄, 등을 포함한다. 일부 실시예들에서, 알루미늄-함유 반응물질은 휘발성이고, 가스 상으로 프로세싱 챔버 내로 도입된다. 반응물질은 캐리어 가스와의 혼합물로 도입될 수도 있고, 캐리어 가스는 통상적으로 불활성 가스, 예컨대 N₂, He, Ar, Ne, 또는 Kr이다. 알루미늄-함유 반응물질이 휘발성이 아닐 때, DLI (direct liquid injection) 기화기, 예컨대 Kemstream로부터 입수가 가능한 Vapbox DLI 기화기를 사용하여 기화될 수 있다.
- [0028] 동작 103에서, 탄소-함유 반응물질이 기판을 하우징하는 프로세싱 챔버 내로 도입된다. 탄소-함유 반응물질은 탄소-불소, 탄소-염소, 및 탄소-브롬 결합들 중 적어도 하나와 같은 탄소-할로겐 결합을 갖는다. 적합한 반응물질들의 예들은 CX₄, CHX₃, CH₂X₂, 및 CH₃X를 포함하고, 여기서 X는 할로겐이다. 예를 들어, 일부 실시예들에서 불소-함유 반응물질들, 예컨대 CF₄, CHF₃, CHF₂, 또는 CH₃F가 사용된다. 다른 실시예들에서, 염소-함유 반응물질들, 예컨대 CCl₄, CHCl₃, CH₂Cl₂, 또는 CH₃Cl이 채용될 수도 있다.
- [0029] 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질은 통상적으로 프로세싱 챔버의 대부분에서 혼합 없이, 프로세싱 챔버 내로 순차적으로 도입된다. 도입 순서는 실시예에 따라 가변할 수 있다. 일부 실시예들에서, 알루미늄-함유 반응물질이 먼저 도입되고, 탄소-함유 반응물질의 도입이 이어진다. 다른 실시예들에서, 탄소-함유 반응

물질이 먼저 도입되고, 알루미늄-함유 반응물질의 도입이 이어진다. 반응물질들 (예를 들어, 알루미늄-함유 반응물질, 탄소-함유 반응물질 또는 모두) 중 적어도 하나가 기판 상에 흡착-제한된 층을 형성한다. 일부 실시예들에서, 제 1-도입된 반응물질이 기판 상에 흡착-제한된 층을 형성하고, 그리고 제 2-도입된 반응물질은 제 2-도입된 반응물질이 흡착-제한된 층과 콘택트하게 된 후 제 1 반응물질의 흡착-제한된 층과 반응한다. 다른 실시예들에서, 제 1-도입된 반응물질은 흡착-제한된 층을 형성하고, 제 2-도입된 반응물질은 또한 흡착-제한된 층을 형성하고, 이어서 두 반응물질들이 예를 들어, 열적 활성화 또는 플라즈마 활성화 후, 기판의 표면 상에서 반응한다. 일부 실시예들에서 반응은 헬륨 (He), 아르곤 (Ar), 수소 (H₂) 및 질소 (N₂), 또는 이들의 임의의 혼합물과 같은 가스로 형성된 플라즈마와 기판을 콘택트시킴으로써 활성화된다. 플라즈마를 사용한 반응의 활성화는 상대적으로 저온에서 탄소의 형성을 허용하도록 사용될 수도 있다. 일부 실시예들에서 탄소 막들이 300 °C 미만, 예컨대 200 °C 미만의 온도에서 플라즈마-활성화된 반응을 사용하여 형성된다.

[0030] 도입 순서와 무관하게, 일부 실시예들에서, 프로세싱 챔버는 프로세싱 챔버로부터 흡착되지 않은 제 1-도입된 반응물질을 제거하기 위해, 제 1 반응물질의 도입 후 그리고 제 2 반응물질의 도입 전 퍼지 및/또는 배기된다.

[0031] 동작 105에서, 알루미늄-함유 반응물질은 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하기 위해 탄소-함유 반응물질과 반응하고, 형성된 탄소의 양은 반응물질의 (예를 들어, 알루미늄-함유 반응물질 및/또는 탄소-함유 반응물질의) 흡착-제한된 층에 의해 제한된다. 반응에서, 알루미늄-함유 반응물질의 알루미늄-탄소 결합 및 탄소-함유 반응물질의 탄소-할로젠 결합은 (C-H 결합들을 포함할 수도 있는) 탄소, 및 알루미늄-할로젠 결합을 함유하는 부산물을 형성하도록 깨진다 (broken). 예를 들어, 탄소-함유 반응물질의 할로젠이 불소일 때, 알루미늄-불소 결합 함유 부산물이 형성될 것이다. 일부 실시예들에서 반응은 반응물질들이 콘택트하게 된 후 자발적으로 (spontaneously) 발생한다. 다른 실시예들에서, 반응물질들이 콘택트하게 된 후 반응이 (예를 들어, 열적으로) 활성화된다.

[0032] 일부 실시예들에서 알루미늄 할라이드 부산물들이 탄소의 형성과 동시에 기판의 표면으로부터 제거된다. 다른 실시예들에서, 동작 107에서 도시된 바와 같이, 알루미늄-함유 부산물은 별도의 단계에서 기판으로부터 제거된다. 예를 들어, 기판은 휘발성 알루미늄 할라이드 (예를 들어, 알루미늄 플루오라이드) 부산물을 제거하기 위해 가열될 수도 있다.

[0033] 동작 101 내지 동작 105을 포함하는 증착의 일 사이클이, 일부 실시예들에서 평균 0.5 내지 3 Å의 탄소 막을 증착한다. 사이클들은 목표된 두께의 탄소 막을 증착하기 위해 필요한만큼 다수 회 반복될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예들에서 5 내지 1,000 Å의 두께들을 갖는 탄소 막들이 증착된다.

[0034] 탄소 증착 방법의 일 실시예는 도 2a에 도시된 프로세스 흐름도에 의해 예시된다. 프로세스는 반도체 기판 상에 알루미늄-함유 반응물질을 흡착시킴으로써 201에서 시작된다. 알루미늄-함유 전구체, 예컨대 트리알킬알루미늄은 캐리어 가스와 함께 프로세스 챔버로 흐를 수 있고 기판의 표면에 흡착하도록 허용될 수 있다. 알루미늄-함유 반응물질의 흡착-제한된 층이 형성되도록 이 단계에 대한 프로세스 조건들이 선택된다. 다음에, 동작 203에서, 흡착되지 않은 알루미늄-함유 반응물질이 프로세싱 챔버를 퍼지 및/또는 배기함으로써 프로세싱 챔버로부터 제거된다. 예를 들어 프로세싱 챔버는 불활성 가스, 예컨대 N₂, He, Ar, Ne, 등을 사용하여 퍼지될 수도 있다. 이 단계 후, 프로세싱 챔버의 대부분에 알루미늄-함유 전구체가 없고, 모든 후속 반응들이 기판 상에 흡착된 알루미늄-함유 반응물질의 양에 의해 제한된다. 다음에, 동작 205에서, 탄소-함유 반응물질이 프로세싱 챔버 내로 도입되고, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하기 위해 흡착된 알루미늄-함유 반응물질과 반응한다. 일부 실시예들에서 반응이 탄소-함유 반응물질이 도입된 후 반응이 자발적으로 발생한다.

[0035] 다음에, 동작 207에서, 알루미늄-함유 부산물이 프로세싱 챔버로부터 제거된다. 일부 실시예들에서 부산물이 탄소 형성과 동시에 제거되기 때문에 이 단계는 선택가능하다. 부산물이 탄소 형성 반응과 동시에 제거되지 않을 때, 별도의 단계, 예를 들어, 가열에 의해 제거될 수 있다.

[0036] 다음에, 동작 209에서, 탄소의 증착 (단계 201 내지 단계 207) 은 미리 결정된 두께의 탄소 층을 형성하기 위해 필요한만큼 다수 회 반복된다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 사이클 각각이 동작 201 내지 동작 205를 포함하는, 적어도 5 또는 적어도 10 사이클들이 수행된다. 프로세싱 동안 온도 및 압력은 기판 상의 일 반응물질 또는 두 반응물질들의 흡착-제한된 층들의 형성을 허용하도록 제어된다. 일부 실시예들에서 전체 증착 시퀀스 동안 온도는 약 400 °C 미만으로 유지되고, 압력은 아대기압 (subatmospheric) 레벨들로 유지된다. 기술된 반응물질들을 사용한 탄소 막들의 증착은 플라즈마의 부재시 수행될 수 있다. 일부 실시예들에서, 예를 들어, 증착 후 증착된 탄소 층의 품질을 개선하기 위해 그리고/또는 기판의 표면 상에서 하나 이상의 반응물질들을 활성화

화하기 위해 플라즈마 처리가 사용될 수도 있다.

[0037] 도 2b는 플라즈마-활성화된 반응을 사용하여 탄소 층을 형성하는 방법을 위한 프로세스 흐름도를 제공한다. 도 2b를 참조하면, 프로세스는 기판 상에 알루미늄-함유 반응물질 층을 형성함으로써 211에서 시작된다. 예를 들어, 알루미늄-함유 반응물질의 흡착-제한된 층은 기판 상에 형성될 수 있다. 다음에, 동작 213에서, 프로세싱 챔버는 프로세싱 챔버로부터 알루미늄-함유 반응물질을 제거하기 위해 퍼지 및/또는 배기된다. 예를 들어, 불활성 가스가 흡착되지 않은 알루미늄-함유 반응물질을 제거하기 위한 퍼지 가스로서 사용될 수 있다. 다음에, 동작 215에서, 탄소-함유 재료 층이 기판 상에 형성된다. 예를 들어, 탄소-함유 재료는 프로세싱 챔버로 도입될 수도 있고 기판 상에 흡착 제한된 층을 형성하도록 허용될 수도 있다. 동작 217에서, 프로세싱 챔버는 프로세싱 챔버로부터 탄소-함유 재료를 제거하기 위해 퍼지 및/또는 배기된다. 이 동작 후, 기판의 표면 상에 알루미늄-함유 재료 층 및 탄소-함유 재료 층이 있다. 다음에, 동작 219에서, 기판은 기판 상에서 알루미늄-함유 반응물질과 탄소-함유 반응물질 간 반응을 활성화하고 탄소 층을 형성하도록 플라즈마로 처리된다. 일부 실시예들에서 플라즈마는 헬륨 (He), 아르곤 (Ar), 수소 (H₂), 질소 (N₂), 또는 이들 가스들의 임의의 혼합물로 형성된다. 반응 부산물이 플라즈마 처리와 동시에, 또는 후속 단계에서 제거될 수도 있다. 플라즈마 처리 후, 프로세싱 챔버는 퍼지 및/또는 배기될 수 있고, 단계 211 내지 단계 219의 프로세싱 시퀀스는 동작 221에서 미리 결정된 두께를 갖는 탄소 층이 증착될 때까지 필요한만큼 다수 회 반복될 수도 있다. 일 예시적인 실시예에서, 알루미늄-함유 반응물질은 트리알킬알루미늄 (예를 들어, 트리메틸알루미늄 또는 트리에틸알루미늄) 이고 탄소-함유 반응물질은 CF₄이다.

[0038] 본 명세서에 제공된 방법들에 의해 증착된 탄소 막들은 반도체 디바이스 제조의 다양한 적용예들에서 사용될 수 있다. 이들은 3D 피쳐들 (예를 들어, 돌출하는 피쳐들 또는 리세스된 피쳐들) 을 갖는 기판들 상에 막들의 컨포멀한 증착이 목표되면 특히 유리하다. 일부 실시예들에서 탄소 막들은 패터닝 적용예들에서 스페이서들로서 사용된다. 탄소 스페이서 형성의 예가 프로세싱의 상이한 스테이지들 동안 반도체 기판의 개략적인 단면도들이 예시되는, 도 3a 내지 도 3f에 제공된다. 도 4는 탄소 맨드릴들 (mandrels) 의 형성을 수반하는 반도체 프로세싱 방법을 위한 예시적인 프로세스 흐름도를 제공한다.

[0039] 도 4를 참조하면, 도시된 프로세스는 또한 맨드릴들로 지칭되는, 복수의 돌출하는 피쳐들을 갖는 기판들 제공함으로써 401에서 시작된다. 예시적인 기판이 ESL (etch stop 층) (303) 상에 놓이는 (reside) 2 개의 맨드릴들 (301) 을 도시하는, 도 3a에 도시된다. 이웃하는 맨드릴들 사이의 거리 d1은 일부 실시예들에서, 약 10 내지 100 nm이다. 일부 실시예들에서 약 40 내지 100 nm의 상대적으로 보다 큰 거리들이 사용된다. 다른 적용예들에서, 가장 가까운 맨드릴들 사이의 거리는 약 10 내지 30 nm이다. 또한 피치로 지칭되는, 가장 가까운 맨드릴들 사이의 거리 d2는 일부 실시예들에서, 약 30 내지 130 nm이다. 일부 실시예들에서, 피치는 약 80 내지 130 nm이다. 다른 실시예들에서, 피치는 약 30 내지 40 nm이다. 맨드릴들의 높이 d3은 통상적으로 약 20 내지 200 nm, 예컨대 약 50 내지 100 nm이다.

[0040] 맨드릴들의 재료들 및 ESL의 재료들은 후속하는 노출된 탄소의 존재시 맨드릴 재료의 선택적인 에칭, 및 노출된 탄소의 존재시 ESL 재료의 선택적인 에칭을 허용하도록 선택된다. 따라서, 탄소의 에칭 레이트에 대한 ESL 재료의 에칭 레이트의 비는 1보다 크고, 보다 바람직하게 약 1.5보다 크고, 예컨대 제 1 에칭 화학물질에 대해 약 2보다 크다. 일부 실시예들에서, ESL 재료는 실리콘-함유 재료 (예를 들어, 실리콘 나이트라이드와 같은 실리콘-함유 화합물) 이고, 제 1 에칭 화학물질은 불소-기반 플라즈마 에칭 (예를 들어, 플루오로카본을 포함하는 가스로 형성된 플라즈마) 이다. 일부 실시예들에서, ESL 재료는 금속 옥사이드 또는 금속 나이트라이드이고, 제 1 에칭 화학물질은 할로젠-기반 플라즈마 에칭 (예를 들어, 할로젠을 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마) 이다. 유사하게, 탄소의 에칭 레이트에 대한 맨드릴 재료의 에칭 레이트의 비는 1보다 크고, 보다 바람직하게 약 1.5보다 크고, 예컨대 제 2 에칭 화학물질에 대해 약 2보다 크다. 일부 실시예들에서, 맨드릴 재료는 실리콘-함유 재료 (예를 들어, 실리콘-함유 화합물) 이고, 제 1 에칭 화학물질은 불소-기반 플라즈마 에칭 (예를 들어, 플루오로카본을 포함하는 가스로 형성된 플라즈마) 이다. 일부 실시예들에서, 맨드릴 재료는 금속 옥사이드 또는 금속 나이트라이드이고, 제 1 에칭 화학물질은 할로젠-기반 플라즈마 에칭 (예를 들어, 할로젠을 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마) 이다.

[0041] 일부 실시예들에서 ESL 재료는 실리콘-함유 화합물 (예를 들어, SiO₂), 또는 금속 옥사이드 (예를 들어, 티타늄 옥사이드, 지르코늄 옥사이드, 텅스텐 옥사이드) 이다. 맨드릴 재료는 실리콘-함유 화합물 (예를 들어, SiO₂, SiN, 또는 SiC), (도핑되거나 도핑되지 않은) 비정질 실리콘 또는 금속 옥사이드 (TaO, TiO, WO, ZrO, HfO) 를 포함할 수도 있다. 일부 실시예들에서 맨드릴의 외측 재료는 맨드릴 코어와 상이할 수도 있다. 예를 들어, 일

부 실시예들에서 맨드릴은 비정질 실리콘으로 이루어지고 실리콘 옥사이드로 (예를 들어, 자발적으로 형성된 열적 옥사이드 층으로) 커버된다. ESL 층 및 맨드릴들은 PVD (physical vapor deposition), CVD (chemical vapor deposition), ALD (플라즈마를 사용하지 않고 또는 PEALD에 의해) 또는 PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition) 중 하나 이상에 의해 형성될 수 있고, 맨드릴들의 패턴은 포토리소그래픽 기법들을 사용하여 규정될 수 있다. 적합한 ESL/맨드릴 조합의 예들은: (i) 실리콘 옥사이드 ESL 및 실리콘 옥사이드 커버된 실리콘 맨드릴; (ii) 실리콘 옥사이드 ESL 및 금속 옥사이드 맨드릴; 및 (iii) 금속 옥사이드 ESL 및 실리콘 옥사이드 커버된 실리콘 맨드릴을 포함한다.

[0042] 도 3a에 도시된 기관을 다시 참조하면, ESL 층 (303) 은 타깃 층 (305) 과 콘택트하여 위에 놓인다. 타깃 층 (305) 은 패턴되어야 하는 층이다. 타깃 층 (305) 은 반도체, 유전체 또는 다른 층일 수도 있고 예를 들어 실리콘 (Si), 실리콘 옥사이드 (SiO₂), 실리콘 나이트라이드 (SiN), 또는 티타늄 나이트라이드 (TiN) 로 이루어질 수도 있다. 일부 실시예들에서 타깃 층은 하드마스크 층으로 지칭되고 금속 나이트라이드, 예컨대 티타늄 나이트라이드를 포함한다. 타깃 층 (305) 은 ALD (플라즈마를 사용하지 않고 또는 PEALD에 의해), CVD, 또는 다른 적합한 증착 기법에 의해 증착될 수도 있다.

[0043] 타깃 층 (305) 은 유전체 재료의 층 내에 임베딩된 복수의 금속 라인들을 포함하는, 일부 실시예들에서 BEOL 층인, 층 (307) 과 콘택트하고 위에 놓인다.

[0044] 도 4를 참조하면, 기관의 프로세싱은 돌출하는 피처들의 수평 표면들 및 측벽들 모두 위에 탄소 층을 증착함으로써 403으로 이어진다. 탄소 층은, 바람직하게, 본 명세서에 제공된 ALD 방법들을 사용하여 컨포멀하게 증착된다. 도 3b에 도시된 구조체를 참조하면, 탄소 층 (309) 이 ESL (303) 위에, 그리고 맨드릴들의 측벽들을 포함하는 맨드릴들 (301) 위에 증착된다. 예시된 실시예에서, 탄소 층은 본 명세서에서 기술된 ALD 방법들에 의해 증착된다. 일부 실시예들에서 탄소 층은 약 5 내지 30 nm, 예컨대 약 10 내지 20 nm의 두께로 컨포멀하게 증착된다.

[0045] 탄소 층이 컨포멀하게 증착된 후, 프로세스는 돌출하는 피처들의 측벽들로부터 탄소 층을 완전히 제거하지 않고, 수평 표면들로부터 탄소 층을 완전히 제거함으로써 405로 이어진다. 이 에칭은 산소-기반 플라즈마 에칭을 사용하여 (예를 들어, 산소를 포함하는 가스로 형성된 플라즈마를 사용하여) 수행될 수 있다. 다른 실시예들에서, (예를 들어, 수소를 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마를 사용하는) 수소-기반 에칭이 사용될 수도 있다. 맨드릴들이 외측 층으로서 실리콘-함유 화합물들 또는 금속 옥사이드들을 가지면, 수소-기반 또는 산소-기반 에칭이 사용될 수 있다. 이 단계에서 활용된 에칭 화학물질은 바람직하게 두 ESL 재료에 그리고 맨드릴의 외측 층의 재료에 선택적이어야 하고, 즉, 이 에칭 화학물질에 대한 탄소의 에칭 레이트는 외측 맨드릴 재료의 에칭 레이트보다 크고 ESL 재료의 에칭 레이트보다 커야 한다. 수평 표면들로부터 탄소 층의 제거는 도 3c에 의해 예시된다. 탄소 층 (309) 은 맨드릴들 (301) 의 측벽들에 접촉하는 위치들로부터 완전히 에칭되지 않고, ESL (303) 위 그리고 맨드릴들 (301) 위에 수평 표면들로부터 에칭된다. 이 에칭은 맨드릴들 (301) 의 측벽들 근방의 위치들을 제외하고 어디서나 층 (303) 을 노출한다. 또한, 이 에칭은 맨드릴들의 상단 부분들을 노출한다. 발생하는 구조체가 도 3c에 도시된다. 바람직하게 이 에칭 후 측벽에서 탄소 층의 최초 높이의 적어도 50%, 예컨대 적어도 80% 또는 적어도 90%가 보존된다. 일 예에서 탄소는 맨드릴 (SiO₂) 의 외측 재료가 노출되도록, 수소-기반 에칭 (예를 들어, H₂ 플라즈마 에칭) 에 의해 실리콘 옥사이드 커버된 맨드릴로부터 선택적으로 에칭된다. 수소-기반 에칭은 SiO₂에 선택적이다. 또 다른 예에서 탄소는 맨드릴 재료 (금속 옥사이드) 가 노출되도록, 수소-기반 에칭 (예를 들어, H₂ 플라즈마 에칭) 또는 산소-기반 에칭 (예를 들어, O₂ 플라즈마 에칭) 에 의해 금속 옥사이드 (예를 들어, 티타늄 옥사이드) 맨드릴로부터 선택적으로 에칭된다. 이들 에칭 화학물질들은 티타늄 옥사이드와 같은, 휘발성 하이드라이드들을 형성하지 않는, 금속들의 옥사이드들에 선택적이다.

[0046] 다음 단계 407은 돌출하는 피처들의 측벽들에 놓이는 탄소 층을 완전히 제거하지 않고 돌출하는 피처들을 완전히 제거하여, 탄소 스페이서들을 형성하는 것을 수반한다. 도 3d에 도시된 바와 같이, 맨드릴들 (301) 은 노출된 탄소 스페이서들 (301) 및 노출된 층 ESL (303) 을 남기면서 기관으로부터 제거된다. 맨드릴들의 제거는 맨드릴 재료를 선택적으로 에칭하는 에칭 화학물질에 기관을 노출함으로써 수행된다. 따라서, 이 단계에서 탄소의 에칭 레이트에 대해 맨드릴 재료의 에칭 레이트의 비는 1보다 크고, 보다 바람직하게 1.5보다 크다. 또한, 이 단계에서 사용된 에칭 화학물질은, 일부 실시예들에서, ESL 재료에 대해 맨드릴 재료를 선택적으로 에칭해야 한다. 다양한 에칭 방법들이 사용될 수 있고, 화학물질의 특정한 선택은 맨드릴의 재료 및 ESL 층의 재료에 중

속된다. 맨드럴이 실리콘 옥사이드로 커버된 비정질 실리콘으로 이루어지면, 불소-기반 화학물질 (예를 들어, NF_3) 은 실리콘 맨드럴들 (301) 을 이를 커버하는 SiO_2 층과 함께 제거하도록 사용될 수도 있다. 이 화학물질은 탄소에 선택적이다.

[0047] 맨드럴이 금속 옥사이드 (예를 들어, 티타늄 옥사이드, 텅스텐 옥사이드, 지르코늄 옥사이드, hafnium 옥사이드, 탄탈륨 옥사이드) 일 때, 기판은 탄소에 대해 맨드럴을 선택적으로 제거하기 위해 염소-기반 에칭 화학물질 (예를 들어, 플라즈마의 BCl_3/Cl_2) 로 처리될 수도 있다. 이 화학물질은 실리콘-함유 화합물들 (예를 들어, SiO_2 , SiN , SiC) 을 함유하는 ESL의 존재시 사용될 수 있다.

[0048] 다음에, 노출된 ESL 막 (303) 은 탄소 스페이서들 (309) 에 의해 보호되지 않는 모든 위치들에서 아래에 놓인 타깃 층 (305) 을 노출하도록 에칭된다. 발생된 구조체는 도 3e에 도시된다. 이 단계에서 사용되는 에칭 화학물질은 탄소의 존재시 ESL 재료를 선택적으로 에칭한다. 달리 말하면, 탄소의 에칭 레이트에 대한 ESL 재료의 에칭 레이트의 비는 1보다 크고, 보다 바람직하게 1.5보다 크다. 이 단계에서 사용된 화학물질의 특정한 타입은 ESL 재료의 타입에 종속될 것이다. 실리콘-함유 화합물들 (예를 들어, 실리콘 옥사이드 및 실리콘 옥사이드 기반 재료들) 이 사용될 때, 선택적인 에칭이 플루오로카본을 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마에 기판을 노출함으로써 달성될 수 있다. 예를 들어, ESL 막은 CF_4 , C_2F_6 , 및 C_3F_8 중 하나 이상을 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마에 의해 에칭될 수 있다. ESL이 금속 옥사이드 층 (예를 들어, 티타늄 옥사이드, 텅스텐 옥사이드, 또는 지르코늄 옥사이드) 일 때, 염소-기반 에칭 화학물질 (예를 들어, 플라즈마의 BCl_3/Cl_2) 을 사용하여 탄소의 존재시 선택적으로 에칭될 수 있다.

[0049] 다음 단계에서, 타깃 층 (305) 은 하부 층 (307) 을 노출하기 위해, ESL 막 (303) 에 의해 보호되지 않는 모든 위치들에서 에칭된다. 탄소 스페이서들 (309) 은 또한 도 3f에 도시된 패터닝된 구조체를 제공하는 이 에칭 단계에서 제거된다. 일부 실시예들에서, 이 단계에서 사용된 에칭 화학물질은 타깃 재료 및 탄소 스페이서 재료 모두를 제거하도록 선택된다. 다른 실시예들에서, 상이한 화학물질들을 사용하는 두 상이한 에칭 단계들은 각각 타깃 층 (305) 을 패터닝하고 탄소 스페이서들 (309) 을 제거하도록 사용될 수 있다. 타깃 층의 화학물질에 따라 다수의 에칭 화학물질들이 사용될 수 있다. 일 실시예에서 타깃 층 (305) 은 금속 나이트라이드 층 (예를 들어, TiN) 층이다. 이 실시예에서 금속 나이트라이드 층은 Cl_2 및 하이드로카본 (예를 들어, CH_4) 을 포함하는 프로세스 가스로 형성된 플라즈마에 기판을 노출함으로써 에칭될 수도 있고, 산소-기반 플라즈마 에칭 화학물질 또는 수소-기반 플라즈마 에칭 화학물질을 사용한 탄소 스페이서 제거가 이어진다.

[0050] 일부 실시예들에서 제공된 탄소 증착 방법들은 껍충진 적용예들에서 사용된다. 껍충진시 하나 이상의 리세스된 피처들을 포함하는 기판이 프로세싱 챔버에 제공되고, 탄소는 리세스된 피처들의 하단 부분들 및 측벽들 모두를 커버하도록 제공된 방법들을 사용하여 증착된다. 증착 사이클들은 탄소로 리세스된 피처를 충전하기 위해 필요한만큼 다수 회 수행된다. 증착의 매우 콘포멀한 본질로 인해, 일부 실시예들에서 심리스 (seamless) 껍충진이 달성될 수 있다. 제공된 방법들은 고 중형비 피처들에 탄소를 증착하는데 특히 유용하다. 일부 실시예들에서 리세스된 피처들의 중형비는 적어도 5:1, 예컨대 적어도 10:1이다.

[0051] 일 예에서, 3D NAND 제조 프로세스들에서 껍충진을 위해 탄소가 사용된다. 일 구현예에서, 적어도 하나의 리세스된 피처를 갖는 부분적으로 제조된 3D NAND 구조체가 프로세스 챔버로 제공되고, 본 명세서에 제공된 방법들을 사용하여 리세스된 피처를 충전하기 위해 탄소가 적어도 하나의 리세스된 피처 내로 증착된다. 이 적용예의 예시가 부분적으로 제조된 3D NAND 구조체의 개략적인 단면도를 예시하는, 도 5 및 도 6에 제공된다.

[0052] 도 5는 기판 (1100) 위에 계단형 패턴으로 증착된 복수의 교번하는 층들 (1111 및 1140) 을 갖는 예시적인 기판 (1100) 을 도시한다. 일부 실시예들에서 층들 (1111) 은 유전체 층들 (예를 들어, 실리콘 옥사이드) 이고, 층들 (1140) 은 도전 층들 (예를 들어, 텅스텐 층들) 이다. 대안적으로, 층들 (1111 및 1140) 은 실리콘 옥사이드 층들 (1111) 및 실리콘 나이트라이드 층들 (1140) 과 같은 상이한 타입들의 유전체들일 수도 있다. 하드마스크 층 (1110) 이 상단 층 (1140) 상에 놓이고, 봉지 (encapsulation) 층 (1139) 은 교번하는 층들 (1111 및 1140) 의 계단형 패턴을 측방향으로 봉지한다. 복수의 비아들 (1137) 이 유전체 (1122) 에서 (예를 들어, 실리콘 옥사이드에서) 에칭되고, 예컨대 층 (1140) 의 재료가 비아들 (1137) 의 하단부들 (1139) 에서 노출된다. 비아들 (1137) 은 재료 (1140) 가 도 5에 도시되기 때문에 상이한 깊이들을 갖는다. 다음 단계에서, 탄소가 본 명세서에 제공된 증착 방법들을 사용하여 껍충진 동작에서 비아들 (1137) 내로 증착된다. 발생하는 구조체가 도 6에 도시되고, 탄소 층 (1173) 은 모든 비아들 (채널들) 을 충전하고, 탄소는 충전된 비아들이 하단부들에서 재료 (1140) 와 콘택트한다. 탄소가 채널들의 희생 재료로서 사용될 수 있고, 후속 제조 동안, 탄소는 예를 들

어, 산소-기반 플라즈마 에칭 또는 수소-기반 플라즈마 에칭을 사용하여, 채널들로부터 제거될 수 있고 비아들은 도전성 재료로 충전될 수 있다.

[0053]

장치

[0054]

본 명세서에 기술된 탄소 증착 방법들이 다양한 장치들에서 수행될 수 있다. 적합한 장치는 반응물질들의 도입을 위한 하나 이상의 유입구들을 갖는 프로세싱 챔버; 증착 동안 제자리에 기판을 홀딩하도록 구성된 프로세싱 챔버 내의 기판 홀더, 및 선택가능하게, 프로세스 가스로 플라즈마를 생성하기 위해 구성된 플라즈마 생성 메커니즘을 포함한다. 장치는 본 명세서에 기술된 임의의 방법 동작들을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들을 갖는 제어기를 포함할 수도 있다. 적합한 장치의 예는 Lam Research Corporation로부터 입수가 가능한 Striker[®] 증착 장치이다.

[0055]

예를 들어, 일부 실시예들에서, 장치는 (i) 프로세싱 챔버로 알루미늄-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들로서, 알루미늄-함유 반응물질은 적어도 하나의 알루미늄-탄소 결합을 갖는, 알루미늄-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들; (ii) 프로세싱 챔버로 탄소-함유 반응물질의 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들로서, 탄소-함유 반응물질은 적어도 하나의 탄소-할로젠 결합을 갖고, 그리고 탄소-함유 반응물질은 알루미늄-함유 반응물질과 상이한, 탄소-함유 반응물질을 프로세싱 챔버로 도입을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들; (iii) 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중 하나 또는 모두가 반도체 기판의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성하는 조건들 하에서 반도체 기판의 표면으로 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나의 흡착을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들; 및 (iv) 알루미늄-함유 반응물질 및 탄소-함유 반응물질 중 적어도 하나가 반도체 기판의 표면 상에 흡착-제한된 층을 형성한 후, 반도체 기판의 표면 상에 탄소 층을 형성하도록, 알루미늄-함유 반응물질과 탄소-함유 반응물질 간의 반응을 유발하기 위한 프로그램 인스트럭션들을 포함하는, 제어기를 포함한다.

[0056]

제공된 방법들을 사용하여 탄소를 증착하기 적합한 증착 장치의 일 예가 도 7에 도시된다. 도 7은 각각 플라즈마 강화될 수도 있는, 원자 층 증착 (ALD) 및/또는 화학적 기상 증착 (CVD) 을 사용하여 재료를 증착하도록 사용될 수도 있는, 프로세스 스테이션 (700) 의 일 실시예를 개략적으로 도시한다. 간결성을 위해, 프로세스 스테이션 (700) 은 저압 분위기를 유지하기 위해 프로세스 챔버 바디 (702) 를 갖는 독립형 프로세스 스테이션으로 도시된다. 그러나, 복수의 프로세스 스테이션들 (700) 이 공통 프로세스 툴 환경에 포함될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 또한, 일부 실시예들에서, 이하에 상세히 논의된 것들을 포함하는 프로세스 스테이션 (700) 의 하나 이상의 하드웨어 파라미터들은 하나 이상의 컴퓨터 제어기들에 의해 프로그램적으로 조정될 수도 있다는 것이 이해될 것이다.

[0057]

프로세스 스테이션 (700) 은 분배 샤워헤드 (706) 로 프로세스 가스들을 전달하기 위해 반응물질 전달 시스템 (701) 과 유체로 연통한다. 반응물질 전달 시스템 (701) 은 샤워헤드 (706) 로 전달을 위해 프로세스 가스들을 블렌딩 (blending) 및/또는 컨디셔닝 (conditioning) 하기 위한 혼합 용기 (704) 를 포함한다. 하나 이상의 혼합 용기 유입구 밸브들 (720) 이 혼합 용기 (704) 로 프로세스 가스들의 도입을 제어할 수도 있다. 유사하게, 샤워헤드 유입구 밸브 (705) 가 샤워헤드 (706) 로 프로세스 가스들의 도입을 제어할 수도 있다.

[0058]

트리메탈알루미늄과 같은 일부 반응물질들은 프로세스 스테이션에서 기화 및 프로세스 스테이션으로 후속 전달 전에 액체 형태로 저장될 수도 있다. 예를 들어, 도 7 의 실시예는 혼합 용기 (704) 로 공급될 액체 반응물질을 기화시키기 위한 기화 지점 (703) 을 포함한다. 일부 실시예들에서, 기화 지점 (703) 은 가열된 기화기일 수도 있다. 이러한 기화기들로부터 생성된 반응물질 증기는 다운스트림 전달 파이프에서 응축될 수도 있다. 응축된 반응물질로의 양립가능하지 않은 가스들의 노출은 작은 입자들을 생성할 수도 있다. 이들 작은 입자들은 파이프를 막고 (clog), 밸브 동작을 방해하고, 기판들을 오염시키는, 등을 할 수도 있다. 이들 문제들을 해결하기 위한 일부 접근방법들은 잔류 반응물질을 제거하기 위해 전달 파이프를 스위핑 및/또는 배기하는 것을 수반한다. 그러나, 전달 파이프를 스위핑하는 것은 프로세스 스테이션 사이클 시간을 상승시킬 수도 있어서, 프로세스 스테이션 쓰루풋을 열화시킨다. 따라서, 일부 실시예들에서, 기화 지점 (703) 의 전달 파이프 다운스트림은 열 추적될 수도 있다. 일부 예들에서, 혼합 용기 (704) 가 또한 열 추적될 수도 있다. 일 비제한적인 예에서, 기화 지점 (703) 의 파이프 다운스트림은 혼합 용기 (704) 에서 대략 100 °C로부터 대략 150 °C로 연장하는 상승하는 온도 프로파일을 갖는다.

[0059]

일부 실시예들에서, 반응물질 액체는 액체 주입기에서 기화될 수도 있다. 예를 들어, 액체 반응물질의 펄스들을 혼합 용기의 캐리어 가스 스트림 업스트림 내로 주입할 수도 있다. 일 시나리오에서, 액체 주입기는 보다 높은 압력으로부터 보다 낮은 압력으로 액체를 플래싱 (flashing) 함으로써 반응물질을 기화할 수도 있다. 또

다른 시나리오에서, 액체 주입기는 가열된 전달 파이프 내에서 나중에 기화되는 분산된 마이크로 액적들 (microdroplets) 로 액체를 원자화할 수도 있다. 보다 작은 액적들이 보다 큰 액적들보다 빠르게 기화될 수도 있고, 액체 주입과 완전한 기화 사이의 지연을 감소시킨다는 것이 인식될 것이다. 보다 빠른 기화는 기화 지점 (703) 으로부터 다운스트림의 파이프 길이를 감소시킬 수도 있다. 일 시나리오에서, 액체 주입기는 혼합 용기 (704) 에 바로 장착될 수도 있다. 또 다른 시나리오에서, 액체 주입기는 샤워헤드 (706) 에 바로 장착될 수도 있다.

[0060] 일부 실시예들에서, 기화 지점 (703) 의 업스트림에 LFC (liquid flow controller) 가 기화 및 프로세스 스테이션 (700) 으로의 전달을 위해 액체의 대량 플로우를 제어하기 위해 제공될 수도 있다. 예를 들어, LFC는 LFC 의 다운스트림에 위치한 열적 MFM (thermal mass flow meter) 를 포함할 수도 있다. 이어서 LFC의 플러저 밸브가 MFM과 전기적으로 통신하는 PID (proportional-integral-derivative) 제어기에 의해 제공된 피드백 제어 신호들에 응답하여 조정될 수도 있다. 그러나, 이는 피드백 제어를 사용하여 액체 플로우를 안정화시키기 위해 1 초 이상 걸릴 수도 있다. 이는 액체 반응물질을 도징하기 위한 시간을 연장할 수도 있다. 따라서, 일부 실시예들에서, LFC는 피드백 제어 모드와 직접 제어 모드 사이에서 동적으로 스위칭될 수도 있다. 일부 실시예들에서, LFC는 LFC 및 PID 제어기의 센스 튜브를 디스플레이블함으로써 피드백 제어 모드로부터 직접 제어 모드로 동적으로 스위칭될 수도 있다.

[0061] 샤워헤드 (706) 는 기관 (712) 을 향해 프로세스 가스들을 분배한다. 도 7에 도시된 실시예에서, 기관 (712) 은 샤워헤드 (706) 밑에 위치되고 페테스탈 (708) 상에 놓인 것으로 도시된다. 샤워헤드 (706) 는 임의의 적합한 형상을 가질 수도 있고, 프로세스 가스들을 기관 (712) 으로 분배하기 위한 임의의 적합한 수 및 배열의 포트들을 가질 수도 있다는 것이 인식될 것이다.

[0062] 일부 실시예들에서, 마이크로볼륨 (707) 이 샤워헤드 (706) 밑에 위치된다. 프로세스 스테이션의 전체 볼륨이 아니라 마이크로볼륨에서 ALD 및/또는 CVD 프로세스를 수행하는 것은 반응물질 노출 및 스위핑 시간들을 감소시킬 수도 있고, 프로세스 조건들 (예를 들어, 압력, 온도, 등) 을 변경하기 위한 시간들을 감소시킬 수도 있고, 프로세스 스테이션 로보틱스들의 프로세스 가스들로의 노출을 제한할 수도 있는, 등 한다. 예시적인 마이크로볼륨 사이즈들은, 이로 제한되는 것은 아니지만, 0.1 l 내지 2 l 의 체적들을 포함한다. 이는 마이크로볼륨은 또한 생산성 쓰루풋에 영향을 준다. 사이클 당 증착 레이트가 떨어지는 한편, 사이클 시간이 또한 동시에 감소한다. 특정한 경우들에서, 후자의 효과는 막의 미리 결정된 타깃 두께에 대해 모듈의 전체 쓰루풋을 개선하도록 충분히 극적이다.

[0063] 일부 실시예들에서, 페테스탈 (708) 은 기관 (712) 을 마이크로볼륨 (707) 에 노출하도록 그리고/또는 마이크로볼륨 (707) 의 체적을 가변하도록 상승 또는 하강될 수도 있다. 예를 들어, 기관 이송 페이지에서, 페테스탈 (708) 은 기관 (712) 으로 하여금 페테스탈 (708) 상으로 로딩되도록 하강될 수도 있다. 증착 프로세스 페이지 동안, 페테스탈 (708) 은 마이크로볼륨 (707) 내에 기관 (712) 을 포지셔닝하도록 상승될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 마이크로볼륨 (707) 은 증착 프로세스 동안 고 플로우 임피던스 영역을 생성하기 위해 기관 (712) 뿐만 아니라 페테스탈 (708) 의 일부를 완전히 봉지할 수도 있다.

[0064] 선택가능하게, 페테스탈 (708) 은 마이크로볼륨 (707) 내 프로세스 압력, 반응물질 농도, 등을 조절하기 위해 증착 프로세스 부분들 동안 하강 및/또는 상승될 수도 있다. 프로세스 챔버 바디 (702) 가 증착 프로세스 동안 기준 (base) 압력으로 남아 있는 일 시나리오에서, 페테스탈 (708) 을 하강시키는 것은 마이크로볼륨 (707) 으로 하여금 배기되게 할 수도 있다. 마이크로볼륨 내 프로세스 챔버 체적의 예시적인 비들은, 이로 제한되는 것은 아니지만, 1:700 내지 1:10의 체적 비들을 포함한다. 일부 실시예들에서, 페테스탈 높이는 적합한 컴퓨터 제어기에 의해 프로그램적으로 조정될 수도 있다는 것이 이해될 것이다.

[0065] 본 명세서에서 기술된 예시적인 마이크로볼륨 변동들이 높이 조정가능한 페테스탈을 참조하지만, 일부 실시예들에서, 샤워헤드 (706) 의 위치는 사이의 마이크로볼륨의 체적을 가변하도록 페테스탈 (708) 에 대해 조정될 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 또한, 페테스탈 (708) 및/또는 샤워헤드 (706) 의 수직 위치는 본 개시의 범위 내의 임의의 적합한 메커니즘에 의해 가변될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 일부 실시예들에서, 페테스탈 (708) 은 기관 (712) 의 배향을 회전시키기 위한 회전 축을 포함할 수도 있다. 일부 실시예들에서, 이들 예시적인 조정들 중 하나 이상이 하나 이상의 적합한 컴퓨터 제어기들에 의해 프로그램적으로 수행될 수도 있다는 것이 인식될 것이다.

[0066] 도 7에 도시된 실시예를 다시 참조하면, 샤워헤드 (706) 및 페테스탈 (708) 은 플라즈마에 전력을 공급하기 위해 RF (radio frequency) 전력 공급부 (714) 및 매칭 네트워크 (716) 와 전기적으로 통신한다. 다른 실시예들

에서 플라즈마 생성기를 사용하지 않은 장치들이 제공된 방법들을 사용하여 탄소를 증착하기 위해 사용된다. 일부 실시예들에서, 플라즈마 에너지는 프로세스 스테이션 압력, 가스 농도, RF 소스 전력, RF 소스 주파수, 및 플라즈마 전력 펄스 타이밍 중 하나 이상을 제어함으로써 제어될 수도 있다. 예를 들어, RF 전력 공급부 (714) 및 매칭 네트워크 (716) 는 목표된 조성의 라디칼 종을 갖는 플라즈마를 형성하도록 임의의 적합한 전력에서 동작될 수도 있다. 적합한 전력의 예들은 상기에 포함되었다. 유사하게, RF 전력 공급부 (714) 는 임의의 적합한 주파수의 RF 전력을 제공할 수도 있다. 일부 실시예들에서, RF 전력 공급부 (714) 는 고주파수 RF 전력 소스 및 저주파수 RF 전력 소스를 서로 독립적으로 제어하도록 구성될 수도 있다. 예시적인 저주파수 RF 주파수들은, 이로 제한되는 것은 아니지만, 50 kHz 내지 700 kHz의 주파수들을 포함할 수도 있다. 예시적인 고주파수 RF 주파수들은, 이로 제한되는 것은 아니지만, 1.8 MHz 내지 2.45 GHz의 주파수들을 포함할 수도 있다. 임의의 적합한 파라미터들은 표면 반응들을 위한 플라즈마 에너지를 제공하도록 이산적으로 또는 연속적으로 조절될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 일 비제한적인 예에서, 플라즈마 전력은 연속적으로 전력공급된 플라즈마들에 대해 기판 표면과의 이온 충돌을 감소시키도록 간헐적으로 셧될 수도 있다.

[0067] 일부 실시예들에서, 플라즈마는 하나 이상의 플라즈마 모니터들에 의해 인시츄로 모니터링될 수도 있다. 일 시나리오에서, 플라즈마 전력은 전압 센서, 전류 센서 (예를 들어, VI 프로브들) 중 하나 이상에 의해 모니터링될 수도 있다. 또 다른 시나리오에서, 플라즈마 밀도 및/또는 프로세스 가스 농도는 하나 이상의 OES (optical emission spectroscopy) 센서들에 의해 측정될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 하나 이상의 플라즈마 파라미터들은 이러한 인시츄 플라즈마 모니터들로부터의 측정값들에 기초하여 프로그램적으로 조절될 수도 있다. 예를 들어, OES 센서는 플라즈마 전력의 프로그램적 제어를 위한 피드백 루프에서 사용될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 다른 모니터들이 플라즈마 및 다른 프로세스 특성들을 모니터링하도록 사용될 수도 있다는 것이 인식될 것이다. 이러한 모니터들은 이로 제한되는 것은 아니지만, IR (infrared) 모니터들, 음향 모니터들, 및 압력 트랜스듀서들 (transducers) 을 포함할 수도 있다.

[0068] 일부 실시예들에서, 플라즈마는 IOC (input/output control) 시퀀싱 인스트럭션들을 통해 제어될 수도 있다. 일 예에서, 플라즈마 프로세스 페이지를 위한 플라즈마 조건들을 설정하기 위한 인스트럭션들은 증착 프로세스 레시피의 대응하는 플라즈마 활성화 레시피 페이지에 포함될 수도 있다. 일부 경우들에서, 프로세스 레시피 페이지들은 증착 프로세스 페이지에 대한 모든 인스트럭션들이 그 프로세스 페이지와 동시에 실행되도록 순차적으로 배열될 수도 있다. 일부 실시예들에서, 하나 이상의 플라즈마 파라미터들을 설정하기 위한 인스트럭션들은 플라즈마 프로세스 페이지에 선행하는 레시피 페이지에 포함될 수도 있다. 예를 들어, 제 1 레시피 페이지는 불활성 가스 및/또는 반응물질 가스의 플로우 레이트를 설정하기 위한 인스트럭션들, 전력 설정점으로 플라즈마 생성기를 설정하기 위한 인스트럭션들, 및 제 1 레시피 페이지에 대한 시간 지연 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. 제 2, 후속하는 레시피 페이지는 플라즈마 생성기를 인에이블하기 위한 인스트럭션들 및 제 2 레시피 페이지에 대한 시간 지연 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. 제 3 레시피 페이지는 플라즈마 생성기를 디스에이블하기 위한 인스트럭션들, 및 제 3 레시피 페이지에 대한 시간 지연 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. 이들 레시피 페이지들은 본 개시의 범위 내에서 임의의 적합한 방식으로 더 세분되고 그리고/또는 반복될 수도 있다는 것이 인식될 것이다.

[0069] 일부 실시예들에서, 페데스탈 (708) 은 히터 (710) 를 통해 온도 제어될 수도 있다. 또한, 일부 실시예들에서, 증착 프로세스 스테이션 (700) 에 대한 압력 제어는 버터플라이 밸브 (718) 에 의해 제공될 수도 있다. 도 7의 실시예에 도시된 바와 같이, 버터플라이 밸브 (718) 는 다운스트림 진공 펌프 (미도시) 에 의해 제공된 진공을 스로틀한다. 그러나, 일부 실시예들에서, 프로세스 스테이션 (700) 의 압력 제어는 또한 프로세스 스테이션 (700) 으로 도입된 하나 이상의 가스들의 플로우 레이트를 가변시킴으로써 조정될 수도 있다.

[0070] 도 8은 인바운드 로드록 (802) 및 아웃바운드 로드록 (804) 을 갖는 멀티-스테이션 프로세싱 툴 (800) 의 실시예의 개략도를 도시하고, 인바운드 로드록 (802) 및 아웃바운드 로드록 (804) 중 하나 또는 모두는 리모트 플라즈마 소스를 포함할 수도 있다. 이러한 툴은 본 명세서에 제공된 방법들을 사용하여 기판들을 프로세싱하기 위해 사용될 수도 있다. 대기압에서 로봇 (806) 은, 카세트로부터 포트 (808) 를 통해 인바운드 로드록 (802) 으로 로딩된 웨이퍼들을 대기 포트 (810) 를 통해 이동시키도록 구성된다. 웨이퍼는 인바운드 로드록 (802) 내의 페데스탈 (812) 상에 로봇 (806) 에 의해 배치되고, 대기 포트 (810) 는 폐쇄되고, 로드록은 펌프 다운된다 (pump down). 인바운드 로드록 (802) 이 리모트 플라즈마 소스를 포함하면, 웨이퍼는 프로세싱 챔버 (814) 내로 도입되기 전에 로드록 내에서 리모트 플라즈마 처리에 노출될 수도 있다. 또한, 웨이퍼는 또한 예를 들어, 수분 및 흡착된 가스들을 제거하기 위해 인바운드 로드록 (802) 내에서 가열될 수도 있다. 다음에, 프로세싱 챔버 (814) 로의 챔버 이송 포트 (816) 가 개방되고, 또 다른 로봇 (미도시) 이 프로세싱을 위해 반응기 내에

도시된 제 1 스테이션의 페데스탈 상의 반응기 내로 웨이퍼를 배치한다. 도 8에 도시된 실시예는 로드록들을 포함하지만, 일부 실시예들에서, 웨이퍼의 프로세스 스테이션으로의 직접적인 진입이 제공될 수도 있다는 것이 인식될 것이다.

[0071] 도시된 프로세싱 챔버 (814) 는 도 8에 도시된 실시예에서 1 내지 4로 번호가 붙여진, 4 개의 프로세스 스테이션들을 포함한다. 스테이션 각각은 가열된 페데스탈 (스테이션 1에 대해 818로 도시됨), 및 가스 라인 유입부들을 갖는다. 일부 실시예들에서, 프로세스 스테이션 각각이 상이한 목적 또는 복수의 목적들을 가질 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 도시된 프로세싱 챔버 (814) 는 4 개의 스테이션들을 포함하지만, 본 개시에 따른 프로세싱 챔버는 임의의 적합한 수의 스테이션들을 가질 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 예를 들어, 일부 실시예들에서, 프로세싱 챔버는 5 개 이상의 스테이션들을 가질 수도 있는 반면, 다른 실시예들에서 프로세싱 챔버는 3 개 이하의 스테이션들을 가질 수도 있다.

[0072] 도 8은 또한 프로세싱 챔버 (814) 내에서 웨이퍼들을 이송하기 위한 웨이퍼 핸들링 시스템 (890) 의 실시예를 도시한다. 일부 실시예들에서, 웨이퍼 핸들링 시스템 (890) 은 다양한 프로세스 스테이션들 사이 그리고/또는 프로세스 스테이션과 로드 록 사이에서 웨이퍼들을 이송할 수도 있다. 임의의 적합한 웨이퍼 핸들링 시스템이 채용될 수도 있다는 것이 이해될 것이다. 비-제한적인 예들은 웨이퍼 캐로질들 (carousels) 및 웨이퍼 핸들링 로봇들을 포함한다. 도 8은 또한 프로세스 툴 (800) 의 프로세스 조건들 및 하드웨어 상태들을 제어하도록 채용된 시스템 제어기 (850) 의 실시예를 도시한다. 시스템 제어기 (850) 는 하나 이상의 메모리 디바이스들 (856), 하나 이상의 대용량 저장 디바이스들 (854), 및 하나 이상의 프로세서들 (852) 을 포함할 수도 있다. 프로세서 (852) 는 CPU 또는 컴퓨터, 아날로그 입력/출력 연결부 및/또는 디지털 입력/출력 연결부, 스텝퍼 모터 제어 보드들, 등을 포함할 수도 있다.

[0073] 일부 실시예들에서, 시스템 제어기 (850) 는 프로세스 툴 (800) 의 모든 액티비티들을 제어한다. 시스템 제어기 (850) 는 대용량 저장 디바이스 (854) 에 저장되고 메모리 디바이스 (856) 내로 로딩되어 프로세서 (852) 상에서 실행되는 시스템 제어 소프트웨어 (858) 를 실행한다. 시스템 제어 소프트웨어 (858) 는 타이밍, 가스의 혼합물, 챔버 및/또는 스테이션 압력, 챔버 및/또는 스테이션 온도, 퍼지 조건들 및 타이밍, 웨이퍼 온도, RF 전력 레벨들, RF 주파수들, 기관, 페데스탈, 척 및/또는 서셉터 (susceptor) 위치, 및 프로세스 툴 (800) 에 의해서 수행되는 특정한 프로세스의 다른 파라미터들을 포함할 수도 있다. 시스템 제어 소프트웨어 (858) 는 임의의 적합한 방식으로 구성될 수도 있다. 예를 들어, 개시된 방법들에 따라 다양한 프로세스 툴 프로세스들을 실행하는데 필요한 프로세스 툴 컴포넌트들의 동작을 제어하도록 다양한 프로세스 툴 컴포넌트 서브루틴들 또는 제어 객체들이 작성될 수도 있다. 시스템 제어 소프트웨어 (858) 는 임의의 적합한 컴퓨터 판독가능 프로그래밍 언어로 코딩될 수도 있다.

[0074] 일부 실시예들에서, 시스템 제어 소프트웨어 (858) 는 상기 기술된 다양한 파라미터들을 제어하기 위한 IOC (input/output control) 시퀀싱 (sequencing) 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. 예를 들어, ALD 프로세스의 페이지 각각은 시스템 제어기 (850) 에 의한 실행을 위해 하나 이상의 인스트럭션들을 포함할 수도 있다. ALD 프로세스 페이지를 위한 프로세스 조건들을 설정하기 위한 인스트럭션들은 대응하는 ALD 레시피 페이지에 포함될 수도 있다. 일부 실시예들에서, ALD 레시피 페이지들은 순차적으로 배열될 수도 있어서, ALD 프로세스 페이지를 위한 모든 인스트럭션들이 그 프로세스 페이지와 동시에 실행된다.

[0075] 시스템 제어기 (850) 와 연관된 대용량 저장 디바이스 (854) 및/또는 메모리 디바이스 (856) 에 저장된 다른 컴퓨터 소프트웨어 및/또는 프로그램들이 일부 실시예들에서 채용될 수도 있다. 이 목적을 위한 프로그램들 또는 프로그램들의 섹션들의 예들은 기관 포지셔닝 (positioning) 프로그램, 프로세스 가스 제어 프로그램, 압력 제어 프로그램, 히터 제어 프로그램, 및 플라즈마 제어 프로그램을 포함한다.

[0076] 기관 포지셔닝 프로그램은 페데스탈 (818) 상에 기관을 로딩하고 기관과 프로세스 툴 (800) 의 다른 부분들 사이의 간격을 제어하도록 사용된 프로세스 툴 컴포넌트들에 대한 프로그램 코드를 포함할 수도 있다.

[0077] 프로세스 가스 제어 프로그램은 가스 조성 및 플로우 레이트들을 제어하기 위한 코드 그리고 선택가능하게 프로세스 스테이션 내 압력을 안정화하기 위해 증착 전에 하나 이상의 프로세스 스테이션들 내로 가스를 흘리기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 프로세스 가스 제어 프로그램은 가스 조성 및 임의의 개시된 범위들 내로 플로우 레이트들을 제어하기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 압력 제어 프로그램이 예를 들어, 프로세스 스테이션의 배기 시스템의 쓰로틀 밸브를 조절함으로써, 프로세스 스테이션 내 압력, 프로세스 스테이션 내로 가스 플로우, 등을 제어하기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 압력 제어 프로그램은 임의의 개시된 압력 범위들 내로 프로세스 스테이션의 압력을 유지하기 위한 코드를 포함할 수도 있다.

- [0078] 히터 제어 프로그램은 기판을 가열하도록 사용되는 가열 유닛으로 전류를 제어하기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 대안적으로, 히터 제어 프로그램은 기판으로 (헬륨과 같은) 열 전달 가스의 전달을 제어할 수도 있다. 히터 제어 프로그램은 임의의 개시된 범위들 내로 기판의 온도를 유지하기 위한 인스트럭션들을 포함할 수도 있다.
- [0079] 플라즈마 제어 프로그램은 예를 들어, 본 명세서에 개시된 임의의 RF 전력 레벨들을 사용하여 하나 이상의 프로세스 스테이션들의 프로세스 전극들로 인가된 RF 전력 레벨들 및 주파수들을 설정하기 위한 코드를 포함할 수도 있다. 플라즈마 제어 프로그램은 또한 플라즈마 노출 각각의 지속기간을 제어하기 위한 코드를 포함할 수도 있다.
- [0080] 일부 실시예들에서, 시스템 제어기 (850) 와 연관된 사용자 인터페이스가 있을 수도 있다. 사용자 인터페이스는 디스플레이 스크린, 장치 및/또는 프로세스 조건들의 그래픽 소프트웨어 디스플레이들, 포인팅 디바이스들, 키보드들, 터치 스크린들, 마이크로폰들, 등과 같은 사용자 입력 디바이스들을 포함할 수도 있다.
- [0081] 일부 실시예들에서, 시스템 제어기 (850) 에 의해 조정된 파라미터들은 프로세스 조건들과 관련될 수도 있다. 비제한적인 예들은 프로세스 가스 조성 및 플로우 레이트들, 온도, 압력, (RF 전력 레벨들, 주파수, 및 노출 시간과 같은) 플라즈마 조건들, 등을 포함한다. 이들 파라미터들은 사용자 인터페이스를 활용하여 입력될 수도 있는, 레시피의 형태로 사용자에게 제공될 수도 있다.
- [0082] 프로세스를 모니터링하기 위한 신호들은 다양한 프로세스 툴 센서들로부터 시스템 제어기 (850) 의 아날로그 입력 접속부들 및/또는 디지털 입력 접속부들에 의해 제공될 수도 있다. 프로세스를 제어하기 위한 신호들은 프로세스 툴 (800) 의 아날로그 출력 접속부들 및 디지털 출력 접속부들에 출력될 수도 있다. 모니터링될 수도 있는 프로세스 툴 센서들의 비제한적인 예들은 질량 유량 제어기들, (마노미터들과 같은) 압력 센서들, 씨모크폴들, 등을 포함한다. 적절하게 프로그램된 피드백 및 제어 알고리즘들이 프로세스 조건들을 유지하기 위해 이들 센서들로부터 데이터와 함께 사용될 수도 있다.
- [0083] 임의의 적합한 챔버가 개시된 실시예들을 구현하도록 사용될 수도 있다. 예시적인 증착 장치들은, 이로 제한되는 것은 아니지만, California, Fremont 소재의 Lam Research Corp.로부터 입수가 가능한 Striker[®] 제품군으로부터의 장치 또는 임의의 다양한 다른 상업적으로 입수가 가능한 프로세싱 시스템들을 포함한다. 2 이상의 스테이션들이 동일한 기능들을 수행할 수도 있다. 유사하게, 2 이상의 스테이션들이 상이한 기능들을 수행할 수도 있다. 스테이션 각각은 목표된 바와 같이 특정한 기능/방법을 수행하도록 설계/구성될 수 있다.
- [0084] 도 9는 특정한 실시예들에 따른 박막 증착 프로세스들을 수행하기 적합한 프로세싱 시스템의 블록도이다. 시스템 (900) 은 이송 모듈 (903) 을 포함한다. 이송 모듈 (903) 은 다양한 반응기 모듈들 사이에서 이동될 때 프로세싱될 기판들의 오염의 위험을 최소화하도록 클린 (clean), 가압된 분위기를 제공한다. 각각 특정한 실시예들에 따라 원자 층 증착 (ALD) 및/또는 화학적 기상 증착 (CVD) 을 수행할 수 있는, 2 개의 멀티-스테이션 반응기들 (909 및 910) 이 이송 모듈 (903) 상에 장착된다. 반응기들 (909 및 910) 은 개시된 실시예들에 따른 동작들을 순차적으로 또는 비순차적으로 수행할 수도 있는 복수의 스테이션들 (911, 913, 915, 및 917) 을 포함할 수도 있다. 스테이션들은 가열된 페테스탈 또는 기판 지지부, 하나 이상의 가스 유입구들 또는 샤워헤드 또는 분산 플레이트를 포함할 수도 있다.
- [0085] 또한 플라즈마 또는 화학적 (비-플라즈마) 사전-세정들 또는 개시된 방법들과 관련하여 기술된 임의의 다른 프로세스들을 수행할 수 있는 하나 이상의 단일 스테이션 또는 멀티-스테이션 모듈들 (907) 이 이송 모듈 (903) 상에 장착될 수도 있다. 모듈 (907) 은 일부 경우들에서 예를 들어, 증착 프로세스를 위해 기판을 준비하기 위해 다양한 처리들에 사용될 수도 있다. 모듈 (907) 은 또한 예칭 또는 폴리싱 (polishing) 과 같은 다양한 다른 프로세스들을 수행하도록 설계/구성될 수도 있다. 시스템 (900) 은 또한 프로세싱 전 및 프로세싱 후 웨이퍼들이 저장되는 하나 이상의 웨이퍼 소스 모듈들 (901) 을 포함한다. 대기 (atmospheric) 이송 챔버 (919) 의 대기 로봇 (미도시) 이 먼저 소스 모듈들 (901) 로부터 로드록들 (921) 로 웨이퍼들을 제거할 수도 있다. 이송 모듈 (903) 의 웨이퍼 이송 디바이스 (일반적으로 로봇 암 유닛) 가 로드록들 (921) 로부터 이송 모듈 (903) 상에 장착된 모듈들로 그리고 모듈들 사이에서 웨이퍼들을 이동시킨다.
- [0086] 다양한 실시예들에서, 시스템 제어기 (929) 가 증착 동안 프로세스 조건들을 제어하도록 채용된다. 제어기 (929) 는 통상적으로 하나 이상의 메모리 디바이스들 및 하나 이상의 프로세서들을 포함할 것이다. 프로세서는 CPU 또는 컴퓨터, 아날로그 입력/출력 접속부들 및/또는 디지털 입력/출력 접속부들, 스텝퍼 모터 제어기 보드들, 등을 포함할 수도 있다.

- [0087] 제어기 (929) 는 증착 장치의 모든 액티비티들을 제어할 수도 있다. 시스템 제어기 (929) 는 타이밍, 가스들의 혼합물, 챔버 압력, 챔버 온도, 웨이퍼 온도, RF (radio frequency) 전력 레벨들, 웨이퍼 척 또는 페테스탈 위치, 및 특정한 프로세스의 다른 파라미터들을 제어하기 위한 인스트럭션들의 세트들을 포함하는 시스템 제어 소프트웨어를 실행한다. 일부 실시예들에서 제어기 (929) 와 연관된 메모리 디바이스들에 저장된 다른 컴퓨터 프로그램들이 채용될 수도 있다.
- [0088] 통상적으로 제어기 (929) 와 연관된 사용자 인터페이스가 있을 것이다. 사용자 인터페이스는 디스플레이 스크린, 장치 및/또는 프로세스 조건들의 그래픽 소프트웨어 디스플레이들, 및 포인팅 디바이스들, 키보드들, 터치 스크린들, 마이크로폰들, 등과 같은 사용자 입력 디바이스들을 포함할 수도 있다.
- [0089] 시스템 제어 로직은 임의의 적합한 방식으로 구성될 수도 있다. 일반적으로, 이 로직은 하드웨어 및/또는 소프트웨어로 설계되거나 구성될 수 있다. 구동 회로를 제어하기 위한 인스트럭션들은 하드코딩될 수도 있고 또는 소프트웨어로 제공될 수도 있다. 인스트럭션들은 "프로그래밍"에 의해 제공될 수도 있다. 이러한 프로그래밍은 DSP들 (digital signal processors), ASIC들 (application-specific integrated circuits), 및 하드웨어로서 구현된 특정한 알고리즘들을 갖는 다른 디바이스들에 하드코딩된 로직들을 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 판독가능한 프로그래밍 언어로 코딩될 수도 있다.
- [0090] 프로세스 시퀀스의 게르마늄-함유 환원제 펄스들, 수소 플로우, 및 텅스텐-함유 전구체 펄스들, 및 다른 프로세스들을 제어하기 위한 컴퓨터 프로그램들이 임의의 종래의 컴퓨터 판독가능 프로그래밍 언어: 예를 들어, 어셈블리어, C, C++, Pascal, Fortran 등으로 작성될 수 있다. 컴파일링된 객체 코드 또는 스크립트가 프로그램에서 식별된 태스크들을 수행하도록 프로세서에 의해 실행된다. 또한 나타낸 바와 같이, 프로그램 코드는 하드코딩될 수도 있다.
- [0091] 제어기 파라미터들은 예를 들어, 프로세스 가스 조성 및 플로우 레이트들, 온도, 압력, 냉각 가스 압력, 기관 온도, 및 챔버 벽 온도와 같은 프로세스 조건들과 관련된다. 이들 파라미터들은 레시피의 형태로 사용자에게 제공되고, 사용자 인터페이스를 활용하여 입력될 수도 있다. 프로세스를 모니터링하기 위한 신호들은 시스템 제어기 (929) 의 아날로그 입력 접속부들 및/또는 디지털 입력 접속부들에 의해 제공될 수도 있다. 프로세스를 제어하기 위한 신호들은 증착 장치 (900) 의 아날로그 출력 접속부들 및 디지털 출력 접속부들 상에 출력된다.
- [0092] 시스템 소프트웨어는 많은 상이한 방식으로 설계되거나 구성될 수도 있다. 예를 들어, 다양한 챔버 컴포넌트 서브루틴들 또는 제어 객체들이 개시된 실시예들에 따라 증착 프로세스들 (및 일부 경우들에서, 다른 프로세스들) 을 수행하기 위해 필요한 챔버 컴포넌트들의 동작을 제어하도록 작성될 수도 있다. 이 목적을 위한 프로그램들 또는 프로그램들의 섹션들의 예들은 기관 포지셔닝 코드, 프로세스 가스 제어 코드, 압력 제어 코드, 및 히터 제어 코드를 포함한다.
- [0093] 일부 구현예들에서, 제어기 (929) 는 상기 기술된 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 페테스탈, 가스 플로우 시스템, 등) 을 포함하는, 반도체 프로세싱 장비를 포함할 수 있다. 이들 시스템들은 반도체 웨이퍼 또는 기관의 프로세싱 이전에, 프로세싱 동안에 그리고 프로세싱 이후에 그들의 동작을 제어하기 위한 전자장치에 통합될 수도 있다. 전자장치들은 시스템 또는 시스템들의 다양한 컴포넌트들 또는 하위부품들을 제어할 수도 있는 "제어기"로서 지칭될 수도 있다. 제어기는, 프로세싱 요건들 및/또는 시스템의 타입에 따라서, 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 이송 툴들 및/또는 특정 시스템과 연결되거나 인터페이싱된 로드록들 내외로의 웨이퍼 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 프로세스들 중 임의의 프로세스들을 제어하도록 프로그램될 수도 있다.
- [0094] 일반적으로 말하면, 제어기는 인스트럭션들을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 동작을 제어하고, 세팅 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

체 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 엔지니어들에 의해서 규정된 레시피의 일부일 수도 있다.

[0095] 제어기는 일부 구현예들에서, 시스템에 통합되거나, 시스템에 커플링되거나, 이와 달리 시스템에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합으로 될 수 있는 컴퓨터에 커플링되거나 이의 일부일 수도 있다. 예를 들어, 제어기는 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 계측치들을 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 인에이블하는 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 수도 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.

[0096] 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 (physical vapor deposition) 챔버 또는 모듈, CVD (chemical vapor deposition) 챔버 또는 모듈, ALD (atomic layer deposition) 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.

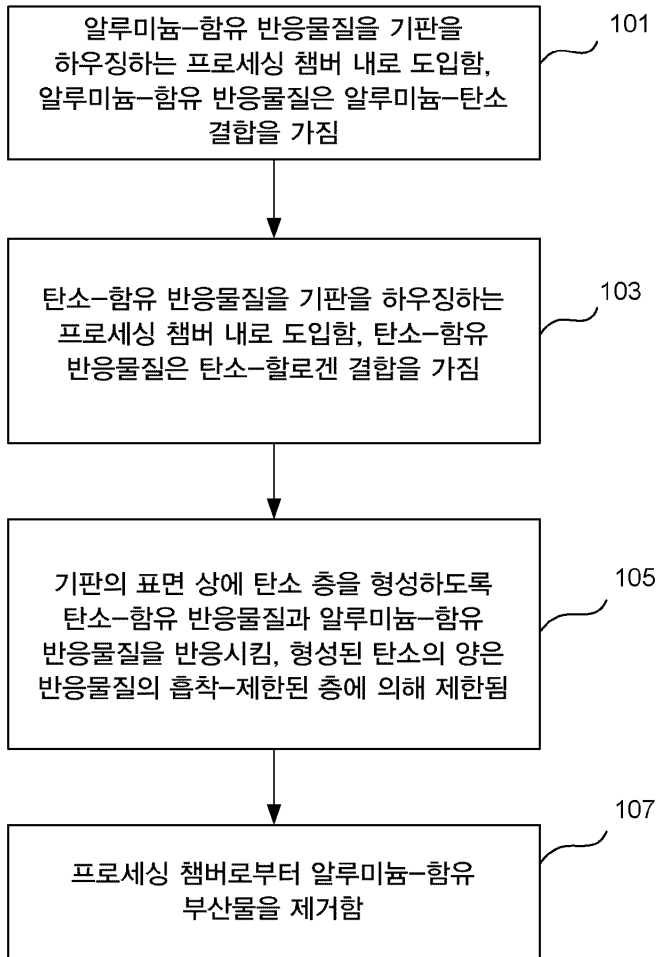
[0097] 상술한 바와 같이, 툴에 의해서 수행될 프로세스 단계 또는 단계들에 따라서, 제어기는, 반도체 제조 공장 내의 툴 위치들 및/또는 로드 포트들로부터/로 웨이퍼들의 컨테이너들을 이동시키는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 툴 회로들 또는 모듈들, 다른 툴 컴포넌트들, 클러스터 툴들, 다른 툴 인터페이스들, 인접 툴들, 이웃하는 툴들, 공장 도처에 위치한 툴들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기 또는 툴들 중 하나 이상과 통신할 수도 있다.

[0098] 추가 구현예들

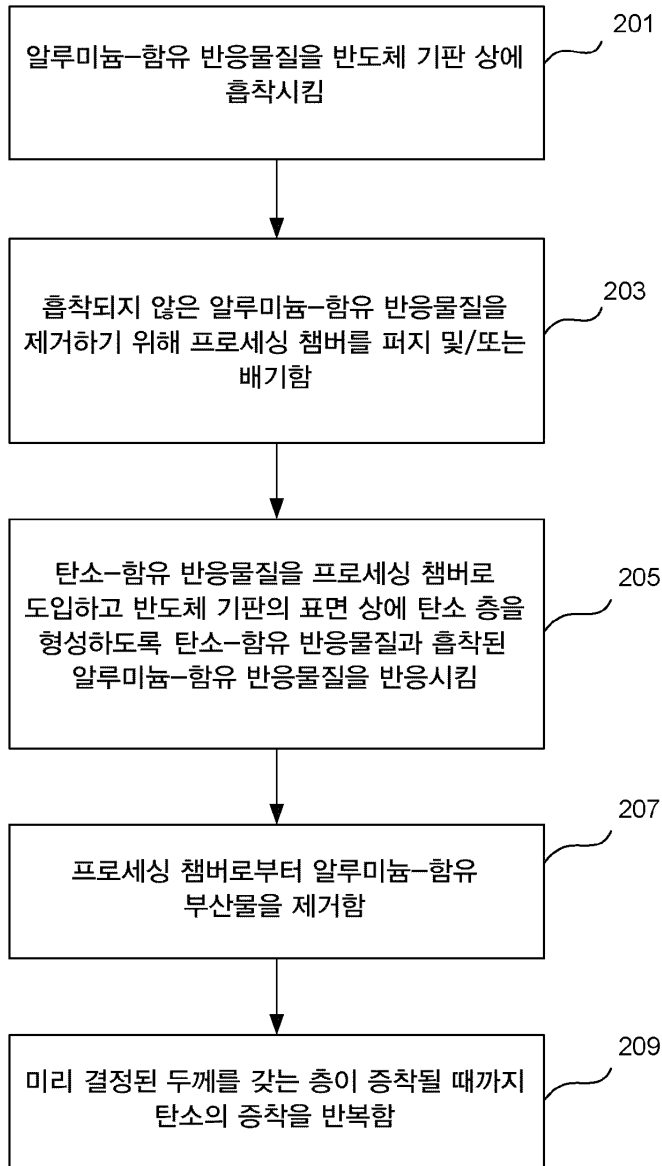
[0099] 본 명세서에 기술된 장치/프로세스들은 예를 들어, 반도체 디바이스들, 디스플레이들, LED들, 광전 패널들, 등의 제조 또는 제작을 위해 리소그래픽 패터닝 툴들 또는 프로세스들과 함께 사용될 수도 있다. 통상적으로 반드시 그러한 것은 아니지만 이러한 장치 및 프로세스들은 공통 제조 설비에서 함께 수행되고 사용될 것이다. 막의 리소그래픽 패터닝은 통상적으로 단계 각각이 다수의 가능한 툴들을 사용하여 인에이블되는 이하의 단계들: (1) 스핀온 (spin-on) 툴 또는 스프레이온 (spray-on) 툴을 사용하여 워크피스 즉 기판 상에 포토레지스트를 도포하는 단계; (2) 핫 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 그 아래에 놓인 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.

도면

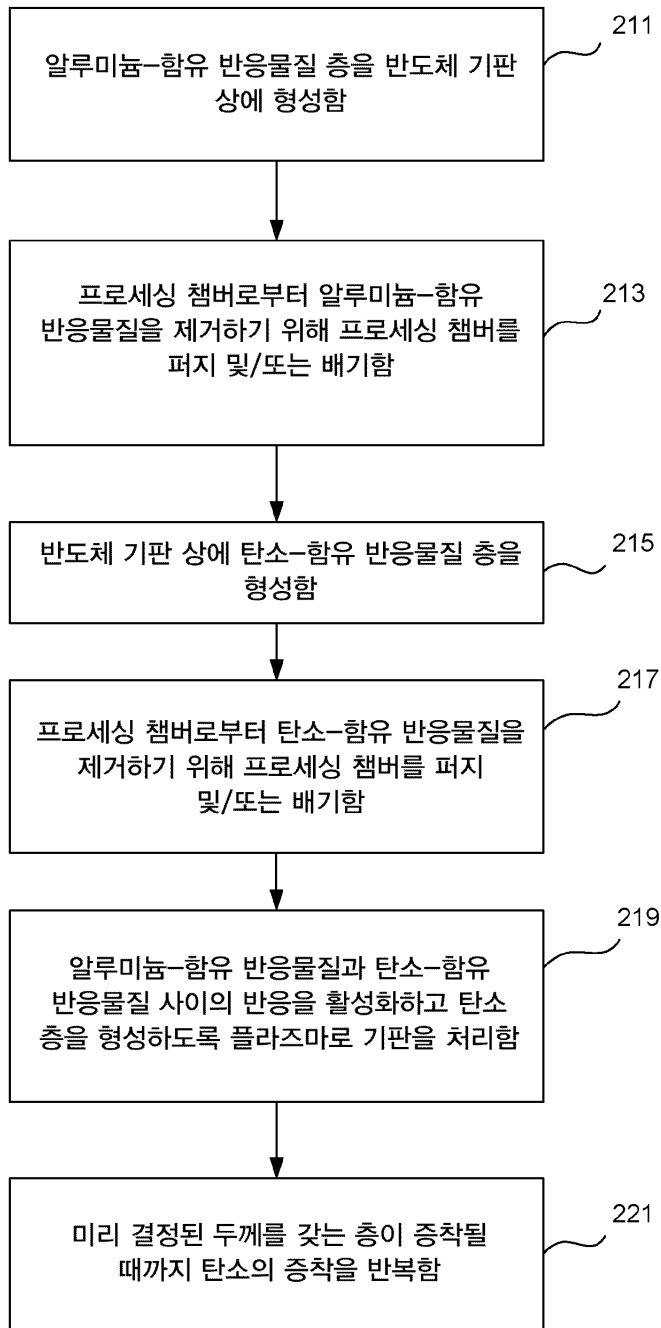
도면1



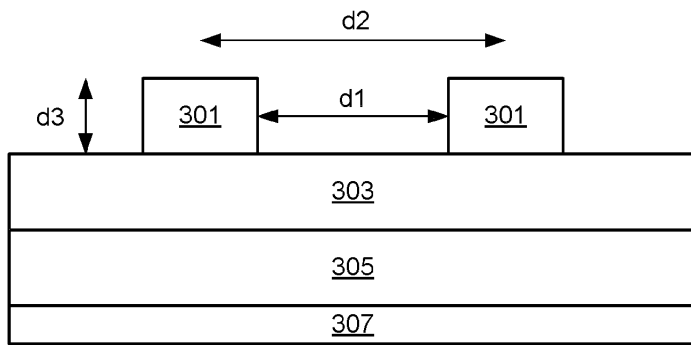
도면2a



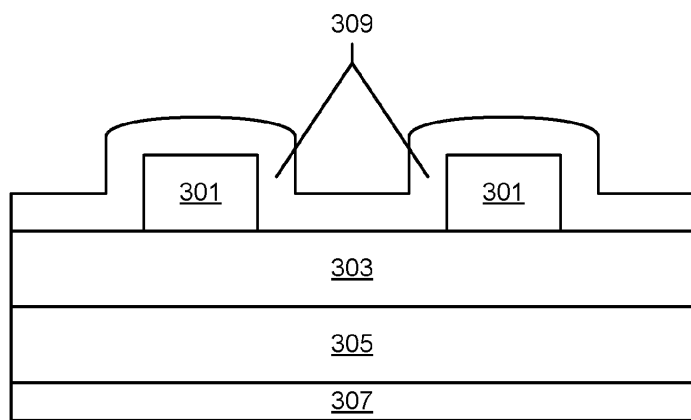
도면2b



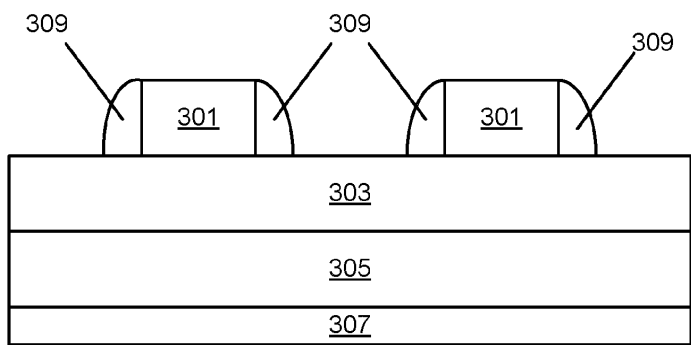
도면3a



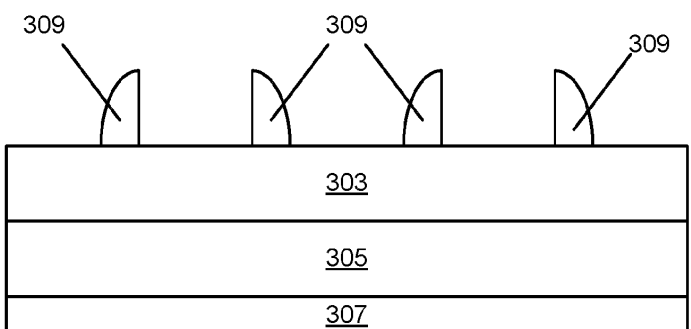
도면3b



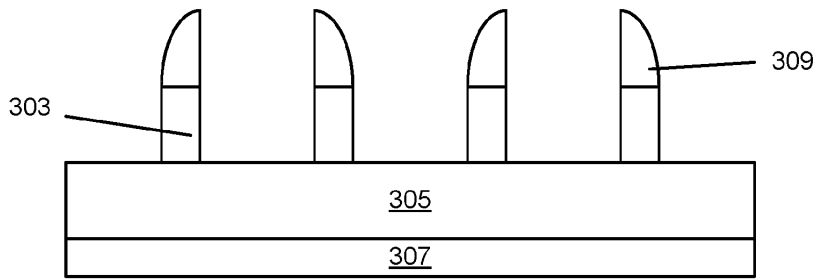
도면3c



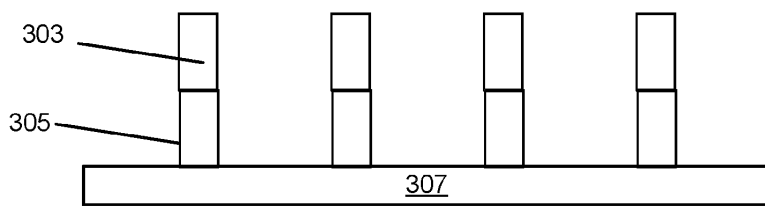
도면3d



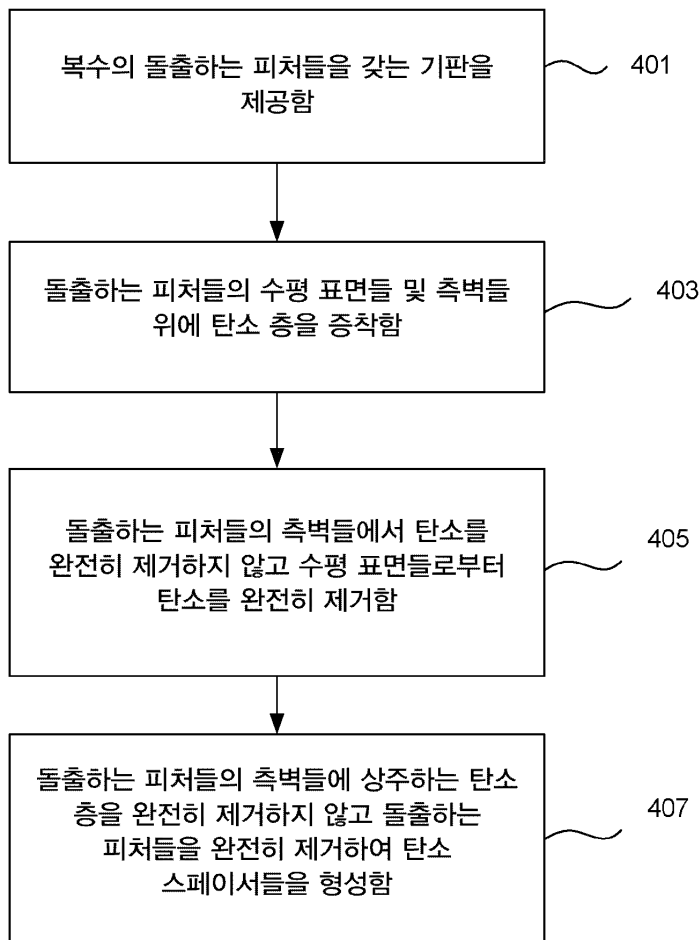
도면3e



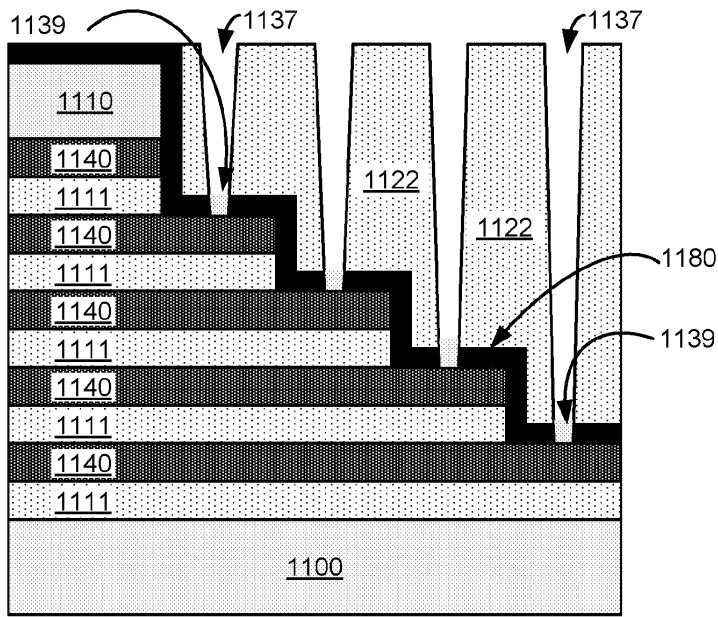
도면3f



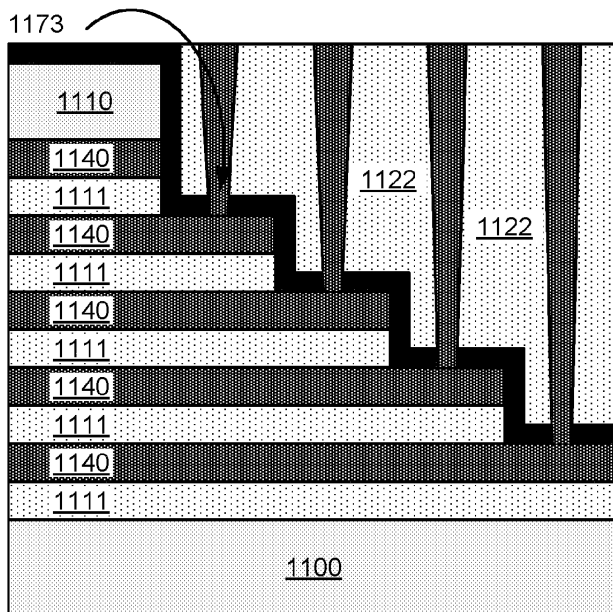
도면4



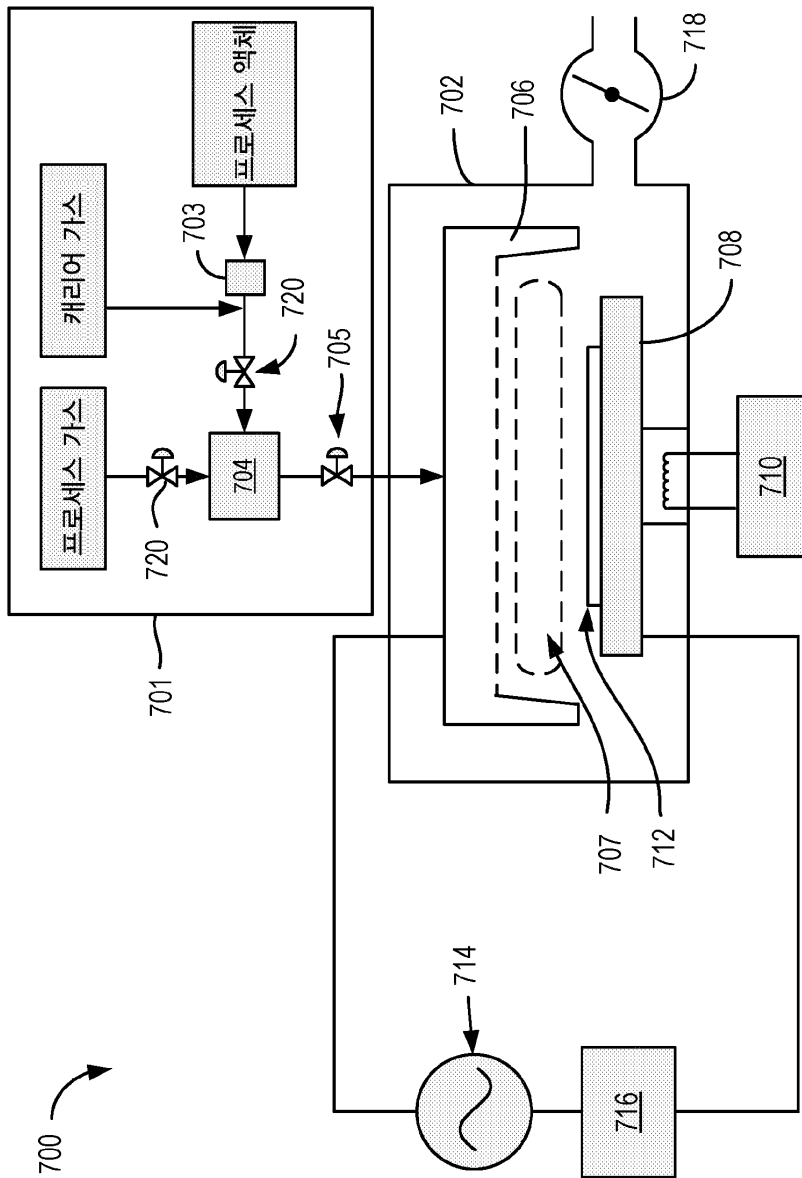
도면5



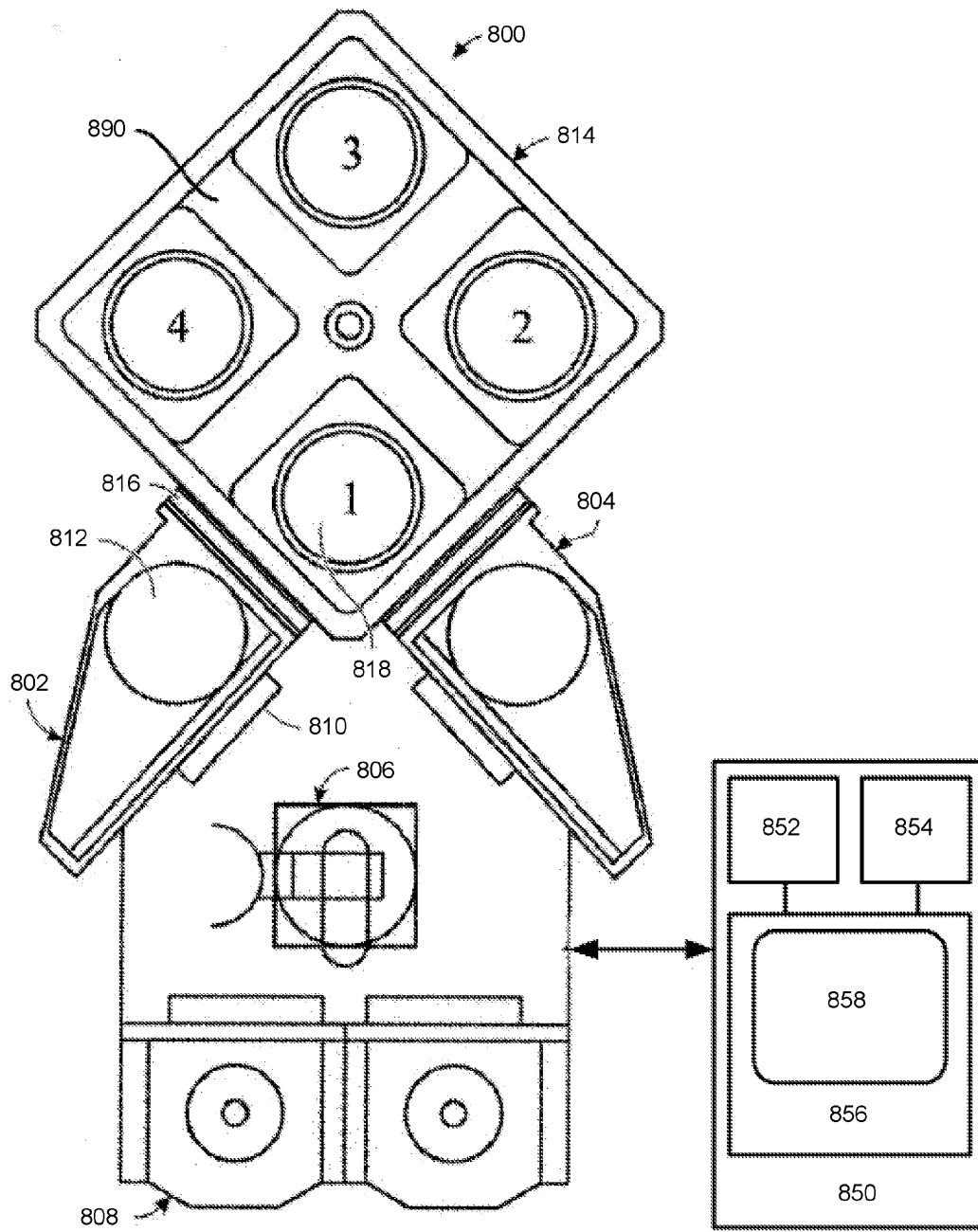
도면6



도면7



도면8



도면9

