(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년02월27일
(11) 등록번호 10-2774836
(24) 등록일자 2025년02월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/67 (2006.01) *C23F 4/00* (2006.01)
H01L 21/3213 (2006.01) *H01L 21/768* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/67069 (2013.01)
C23F 4/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-7025723
(22) 출원일자(국제) 2020년01월07일
심사청구일자 2022년12월23일
(85) 번역문제출일자 2021년08월12일
(65) 공개번호 10-2021-0105439
(43) 공개일자 2021년08월26일
(86) 국제출원번호 PCT/US2020/012518
(87) 국제공개번호 WO 2020/150043
국제공개일자 2020년07월23일
(30) 우선권주장
62/792,519 2019년01월15일 미국(US)
62/832,932 2019년04월12일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20180182634 A1*
US20180218915 A1*
US20180240682 A1
US20150132961 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
(72) 발명자
장, 혜
미국, 94536 캘리포니아, 프레몬트, 어거스틴 코트 35786
김, 윤상
미국, 95030 캘리포니아, 몬테 세레노, 클라라 스트리트 17280
팽, 동 우
미국, 94706 캘리포니아, 올버니, 매디슨 스트리트 924
(74) 대리인
특허법인인벤싱크

전체 청구항 수 : 총 32 항 심사관 : 오만일

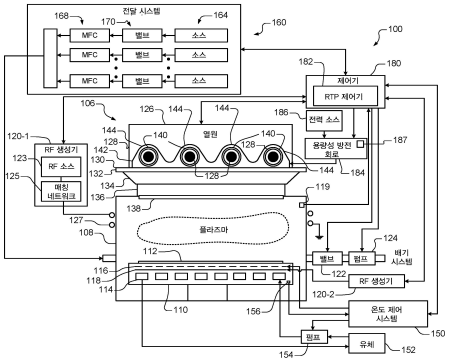
(54) 발명의 명칭 **금속-프리 리간드들을 사용하는 금속 원자 층 에칭 및 증착 장치들과 프로세스들**

(57) 요 약

기판의 표면을 에칭하기 위해 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위한 ALE 시스템은 프로세싱 챔버, 기판 지지부, 열원, 전달 시스템, 및 제어기를 포함한다. 기판 지지부는 프로세싱 챔버 내에 배치되고, 기판을 지지한다. 전달 시스템은 리간드 또는 유기 종을 프로세싱 챔버로 공급한다. 제어기는: 등방성 금속 ALE 프로세스의 반복 동안,

(뒷면에 계속)

대 표 도



원자 흡착 및 펄싱된 열 어닐링을 수행하는 동작; 원자 흡착 동안, 표면을 리간드 또는 유기 종에 노출하는 동작으로서, 리간드 또는 유기 종은 금속 전구체가 없고, 표면에 금속 착체를 형성하도록 선택적으로 흡착되는, 표면 노출 동작; 및 펄싱된 열 어닐링 동안, 기판으로부터 금속 착체를 제거하기 위해 열원을 복수 회 펄싱하는 동작을 포함하는 등방성 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위해, 전달 시스템 및 열원을 제어한다.

(52) CPC특허분류
H01L 21/32136 (2013.01)
H01L 21/67098 (2013.01)
H01L 21/76841 (2013.01)
H01L 21/76865 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

기판의 표면을 에칭하기 위해 금속 원자 층 에칭 (Atomic Layer Etch; ALE) 프로세스를 수행하기 위한 ALE 시스템에 있어서,

리간드를 공급하도록 구성된 소스로서, 상기 리간드는 아세틸아세톤 (Hacac) 을 포함하는, 소스;

프로세싱 챔버;

상기 프로세싱 챔버 내에 배치되고 기판을 지지하도록 구성된 기판 지지부;

제 1 열원;

상기 리간드를 상기 프로세싱 챔버로 공급하도록 구성된 전달 시스템; 및

등방성 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위해 상기 전달 시스템 및 상기 제 1 열원을 제어하도록 구성된 제어기를 포함하고, 상기 등방성 금속 ALE 프로세스는,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 반복 동안, 전처리 프로세스, 원자 흡착 (atomistic adsorption) 및 펄싱된 열 어닐링을 수행하는 동작,

상기 전처리 프로세스 동안, 상기 기판의 상기 표면을 상기 리간드에 노출하지 않고 상기 기판의 상기 표면을 전처리하는 동작,

상기 기판의 상기 표면의 상기 전처리 동작의 완료 시에, 상기 원자 흡착을 수행하는 동작,

상기 원자 흡착 동안, 상기 기판의 표면을 상기 리간드에 노출하는 동작으로서, 상기 리간드는 금속 전구체가 없고 (void of), 상기 기판의 상기 표면에 금속 착체 (complex) 를 형성하도록 선택적으로 흡착되고, 그리고 상기 금속 착체는 금속 전구체의 도입 없이 형성되는, 상기 기판 표면 노출 동작, 및

상기 펄싱된 열 어닐링 동안, 상기 기판으로부터 상기 금속 착체를 제거하기 위해 상기 제 1 열원을 복수 회 펄싱 온 및 오프하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 표면은 금속, 금속 옥사이드, 또는 금속 나이트라이드 중 적어도 하나를 포함하는, ALE 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스 동안, 상기 기판의 상기 표면은 금속 전구체에 노출되지 않는, ALE 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스는 상기 원자 흡착을 수행하기 전에, 제 2 열원을 통해 상기 기판을 예열하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스는 주위 온도 (ambient temperature) 이상 및 상기 금속 착체의 비등점 온도 미만으로 상기 기판을 예열하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 전처리 프로세스는 상기 원자 흡착을 수행하기 전에 상기 표면을 개질하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 표면을 개질하는 동작은 플라즈마를 스트라이킹하지 않고 상기 기판의 상기 표면과 반응하도록 가스를 공급하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 8

제 6 항에 있어서,

상기 표면을 개질하는 동작은 상기 기판의 표면과 반응하도록 가스를 공급하는 동작 및 플라즈마를 스트라이킹하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 표면은 상기 금속을 포함하고, 그리고

상기 표면의 개질은 상기 금속을 금속 옥사이드 또는 금속 할라이드로 변환하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 소스에 의해 공급되는 상기 리간드는 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 및 아세틸아세톤 (Hacac) 을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스는 제 1 개질 동작 및 제 2 개질 동작을 포함하고,

상기 원자 흡착은 상기 제 2 개질 동작이고,

상기 제어기는 상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 미리 결정된 수의 반복들을 수행하도록 구성되고, 그리고

상기 미리 결정된 수의 반복들 각각은 (i) 상기 제 1 개질 동작 동안 상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 이전 반복 동안 공급되는 것과 상이한 화학 종을 공급하는 것, 또는 (ii) 상기 제 2 개질 동작 동안 상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 이전 반복 동안 공급되는 것과 상이한 화학 종을 공급하는 것 중 적어도 하나를 포함하는, ALE 시스템.

청구항 12

기판의 표면을 에칭하기 위한 금속 원자 층 에칭 (ALE) 방법에 있어서,

프로세싱 챔버의 기판 지지부 상에 기판을 배치하는 단계;

리간드를 소스로부터 상기 프로세싱 챔버로 공급하는 단계로서, 상기 리간드는 아세틸아세톤 (Hacac) 을 포함하는, 상기 리간드를 공급하는 단계; 및

등방성 금속 ALE 프로세스를 수행하는 단계를 포함하고, 상기 등방성 금속 ALE 프로세스는,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 반복 동안, 전처리 프로세스, 원자 흡착 및 펄싱된 열 어닐링을 수행하는 단계,

상기 전처리 프로세스 동안, 상기 기판의 상기 표면을 상기 리간드에 노출하지 않고 상기 기판의 상기

표면을 전처리하는 단계,

상기 기판의 상기 표면의 상기 전처리 단계의 완료 시에, 상기 원자 흡착을 수행하는 단계,

상기 원자 흡착 동안, 상기 기판의 표면을 상기 리간드에 노출하는 단계로서, 상기 리간드는 금속 전구체가 없고, 금속 착체를 형성하도록 상기 기판의 상기 표면으로 선택적으로 흡착되고, 그리고 상기 금속 착체는 금속 전구체의 도입 없이 형성되는, 상기 기판 표면 노출 단계; 및

상기 펄싱된 열 어닐링 동안, 상기 기판으로부터 상기 금속 착체를 제거하기 위해 열원을 복수 회 펄싱온 및 오프하는 단계를 포함하는, 금속 ALE 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 표면은 금속, 금속 옥사이드, 또는 금속 나이트라이드 중 적어도 하나를 포함하는, 금속 ALE 방법.

청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스 동안, 상기 기판의 상기 표면은 금속 전구체에 노출되지 않는, 금속 ALE 방법.

청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스는 상기 원자 흡착을 수행하기 전에 주위 온도 이상이고 상기 금속 착체의 비등점 온도보다 낮은 온도로 상기 기판을 예열하는 단계를 포함하는, 금속 ALE 방법.

청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 전처리 프로세스는 상기 원자 흡착을 수행하기 전에 상기 표면을 개질하는 단계를 포함하는, 금속 ALE 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 표면을 개질하는 단계는 플라즈마를 스트라이킹하지 않고 상기 기판의 상기 표면과 반응하도록 가스를 공급하는 단계를 포함하는, 금속 ALE 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

상기 표면을 개질하는 단계는 상기 기판의 상기 표면과 반응하도록 가스를 공급하는 단계 및 플라즈마를 스트라이킹하는 단계를 포함하는, 금속 ALE 방법.

청구항 19

제 16 항에 있어서,

상기 표면은 상기 금속을 포함하고, 그리고

상기 표면을 개질하는 단계는 상기 금속을 금속 옥사이드 또는 금속 할라이드로 변환하는 단계를 포함하는, 금속 ALE 방법.

청구항 20

제 12 항에 있어서,

상기 소스에 의해 공급되는 상기 리간드는 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 및 아세틸아세톤 (Hacac) 을 포함

하는, 금속 ALE 방법.

청구항 21

제 12 항에 있어서,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스는 제 1 개질 동작 및 제 2 개질 동작을 포함하고,

상기 원자 흡착은 상기 제 2 개질 동작에 대응하고,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 미리 결정된 수의 반복들이 수행되고, 그리고

상기 미리 결정된 수의 반복들 각각은 (i) 상기 제 1 개질 동작 동안 상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 이전 반복 동안 공급되는 것과 상이한 화학 종을 공급하는 것, 또는 (ii) 상기 제 2 개질 동작 동안 상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 이전 반복 동안 공급되는 것과 상이한 화학 종을 공급하는 것 중 적어도 하나를 포함하는, 금속 ALE 방법.

청구항 22

기판의 표면을 에칭하기 위해 금속 원자 층 에칭 (ALE) 프로세스를 수행하기 위한 ALE 시스템에 있어서,

리간드를 공급하도록 구성된 소스로서, 상기 리간드는 아세틸아세톤 (Hacac) 을 포함하는, 소스;

프로세싱 챔버;

상기 프로세싱 챔버 내에 배치되고 기판을 지지하도록 구성된 기판 지지부;

상기 기판 지지부 또는 상기 프로세싱 챔버 중 적어도 하나를 가열하도록 구성된 열원;

상기 리간드를 상기 프로세싱 챔버로 공급하도록 구성된 전달 시스템; 및

등방성 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위해 상기 전달 시스템 및 상기 열원을 제어하도록 구성된 제어기를 포함하고, 상기 등방성 금속 ALE 프로세스는,

상기 등방성 금속 ALE 프로세스의 반복 동안, 상기 표면을 개질하는 동작 다음에 원자 흡착 및 열 어닐링을 수행하는 동작,

상기 표면 개질 동작 동안, 상기 기판의 상기 표면과 반응하도록 가스를 공급하는 동작,

상기 원자 흡착 동안, 상기 기판의 표면을 상기 리간드에 노출하는 동작으로서, 상기 리간드는 금속 전구체가 없고, 상기 기판의 상기 표면에 금속 착체를 형성하도록 선택적으로 흡착되고, 그리고 상기 금속 착체는 금속 전구체의 도입 없이 형성되고,

상기 표면 개질 동작 및 상기 원자 흡착 동안, 상기 기판의 상기 표면은 하나의 리간드에만 노출되는, 상기 기판 표면 노출 동작, 및

상기 열 어닐링 동안, 상기 기판으로부터 상기 금속 착체를 제거하기 위해 상기 열원을 활성화하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 가스는 산소 (O_2) 를 포함하는, ALE 시스템.

청구항 24

제 22 항에 있어서,

상기 열 어닐링은,

상기 열원을 펄싱하지 않는 동작, 또는

미리 결정된 길이 이상의 길이들을 갖는 연장된 펄스들로 상기 열원을 펄싱하는 동작을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 25

기판의 표면을 에칭하기 위해 금속 원자 층 에칭 (ALE) 프로세스를 수행하기 위한 ALE 시스템에 있어서,

리간드를 공급하도록 구성된 소스로서, 상기 리간드는 아세틸아세톤 (Hacac) 을 포함하는, 소스;

프로세싱 챔버;

상기 프로세싱 챔버 내에 배치되고 기판을 지지하도록 구성된 기판 지지부;

상기 기판 지지부 또는 상기 프로세싱 챔버 중 적어도 하나를 가열하도록 구성된 열원;

상기 리간드를 상기 소스로부터 상기 프로세싱 챔버로 공급하도록 구성된 전달 시스템; 및

선택적인 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위해 상기 전달 시스템 및 상기 열원을 제어하도록 구성된 제어기를 포함하고, 상기 선택적인 금속 ALE 프로세스는,

상기 선택적인 금속 ALE 프로세스의 반복 동안, 표면을 개질하는 동작 다음에 원자 흡착 및 펄싱된 열 어닐링을 수행하는 동작,

상기 표면의 개질 단계 동안, 상기 기판의 상기 표면의 선택적인 부분들과 반응하도록 가스를 공급하는 동작으로서, 상기 표면의 개질 동작은,

상기 표면의 상기 선택적인 부분들을 바이어싱하는 동작,

미리 결정된 압력 이하의 압력으로 상기 가스를 공급하는 동작, 또는

상기 프로세싱 챔버 내의 압력을 상기 미리 결정된 압력 미만으로 유지하는 단계 중 적어도 하나를 포함하는, 상기 가스 공급 동작,

상기 원자 흡착 동안, 상기 기판의 상기 표면을 상기 리간드에 노출하는 동작으로서, 상기 리간드는 금속 전구체가 없고, 상기 기판의 상기 표면에 금속 착체를 형성하도록 선택적으로 흡착되고, 그리고 상기 금속 착체는 금속 전구체의 도입 없이 형성되고,

상기 표면 개질 동작 및 상기 원자 흡착 동안, 상기 기판의 상기 표면은 하나의 리간드에만 노출되는, 상기 기판 표면 노출 동작, 및

급속 열 어닐링 동안, 상기 기판으로부터 상기 금속 착체를 제거하도록 상기 열원을 복수 회 펄싱 온 및 오프하는 단계를 포함하는, ALE 시스템.

청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 가스는 산소 (O_2) 또는 수소 (H_2) 를 포함하는, ALE 시스템.

청구항 27

제 25 항에 있어서,

상기 표면의 상기 선택적인 부분들은,

상기 기판의 중간 층의 홀의 상단 층의 하단 부분; 및

상기 중간 층 상에 배치된 상기 상단 층의 상단 부분을 포함하는, ALE 시스템.

청구항 28

제 27 항에 있어서,

상기 표면의 상기 선택적인 부분들은 상기 홀의 측벽 상에 배치된 상기 상단 층의 측벽 부분을 포함하지 않는, ALE 시스템.

청구항 29

제 1 항에 있어서,

상기 금속 착체는 금속 및 상기 리간드를 포함하는, ALE 시스템.

청구항 30

제 1 항에 있어서,

상기 금속 착체는 물, 수소, 트리메틸실릴클로라이드 (trimethylsilyl chloride) 중 적어도 하나, 금속, 및 상기 리간드를 포함하는, ALE 시스템.

청구항 31

제 1 항에 있어서,

상기 리간드는 상기 금속 착체의 비등점 온도보다 낮은 온도에서 도입되는, ALE 시스템.

청구항 32

제 1 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 펄싱된 열 어닐링 동안, 저온 펄스들 및 고온 펄스들의 생성을 제어하도록 구성되는, ALE 시스템.

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 개시는 기판 에칭 및 증착 프로세스들에 관한 것이고, 보다 구체적으로 원자 층 에칭 및 증착에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 본 명세서에 제공된 배경기술 기술 (description) 은 본 개시의 맥락을 일반적으로 제시할 목적이다. 이 배경기술 섹션에 기술된 정도의 본 명세서에 명명된 발명자들의 업적, 뿐만 아니라 출원 시 종래 기술로서 달리 인증되지 않을 수도 있는 본 기술의 양태들은 본 개시에 대한 종래 기술로서 명시적으로나 암시적으로 인정되지 않는다.

[0003] 반도체 웨이퍼와 같은 기판의 원자 층 에칭 (Atomic Layer Etch; ALE) 동안, 기판의 단층 (monolayer) 이 사이클 각각 동안 제거된다. 반응 물질 가스가 기판의 표면을 개질하기 위해 프로세싱 챔버 내로 도입된다. 예를 들어, 할라이드 종을 포함하는 가스가 할라이드-주입된 (halide-infused) 상단 층을 제공하기 위해 실리콘 (Si), 게르마늄 (Ge) 및 금속 옥사이드들 (MO_x) 의 ALE 동안 종종 사용된다. 예를 들어, 분자 염소 종을 포함하는 가스가 Si 기판의 표면 층을 Si로부터 실리콘 클로라이드 ($SiCl_x$) 로 변환하기 위해 도입될 수도 있고, 여기서 x는 1, 2, 3, 또는 4이다. 표면 층 개질 후, 프로세싱 챔버는 퍼지된다. 플라즈마가 개질된 표면 층을 제거하고 이어서 부산물들을 퍼지하도록 사용된다.

[0004] 기판의 금속 ALE 동안, 금속 리간드가 기판의 금속 옥사이드 표면을 개질하기 위해 금속 전구체를 사용하여 도입된다. 금속 ALE는 속도 및 선택도가 제한된다. ALE 동안 플라즈마를 사용하는 것은 구조적 손상을 유발할 수 있다. 예를 들어, MRAM (Magnetic Random Access Memory) 디바이스들을 포함하는 기판들이 손상될 수도 있다. 금속 ALE는 또한 특정한 타입들의 금속들의 제거로 제한된다.

발명의 내용

[0005] 관련 출원들에 대한 교차 참조

[0006] 본 개시는 2019년 4월 12일에 출원된 미국 특허 가출원 번호 제 62/832,932 호 및 2019년 1월 15일에 출원된 미국 특허 가출원 번호 제 62/792,519 호의 이익을 주장한다. 상기 참조된 출원들의 전체 개시들은 참조로서 본 명세서에 인용된다.

[0007] 기판의 표면을 에칭하도록 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위한 ALE 시스템이 제공된다. ALE 시스템은 프로세싱 챔버, 기판 지지부, 제 1 열원, 전달 시스템, 및 제어기를 포함한다. 기판 지지부는 프로세싱 챔버 내에 배치되고, 기판을 지지하도록 구성된다. 전달 시스템은 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나를 프로세싱 챔버로 공급하도록 구성된다. 제어기는 등방성 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위해 전달 시스템 및 제 1 열원을 제어하도록 구성된다. 등방성 금속 ALE 프로세스는: 등방성 금속 ALE 프로세스의 반복 동안, 원자 흡착 (atomistic adsorption) 및 펄싱된 열 어닐링을 수행하는 동작; 원자 흡착 동안, 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나에 기판의 표면을 노출하는 동작으로서, 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나는 금속 전구체가 없고 (void of), 기판의 표면에 금속 착체 (complex) 를 형성하도록 선택적으로 흡착되는, 기판 표면 노출 동작; 및 펄싱된 열 어닐링 동안, 기판으로부터 금속 착체를 제거하기 위해 제 1 열원을 복수 회 펄싱 온 및 오프하는 동작을 포함한다.

[0008] 다른 특징들에서, 표면은 금속, 금속 옥사이드, 또는 금속 나이트라이드 중 적어도 하나를 포함한다. 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스 동안, 기판의 표면은 금속 전구체에 노출되지 않는다.

[0009] 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스는 원자 흡착을 수행하기 전에, 제 2 열원을 통해 기판을 예열하는 단계를 포함한다. 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스는 주위 온도 (ambient temperature) 이상 및 금속 착체의 비등점 온도 미만으로 기판을 예열하는 단계를 포함한다.

[0010] 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스는 원자 흡착을 수행하기 전에 표면을 개질하는 단계를 포함한다. 다른 특징들에서, 표면의 개질 단계는 플라즈마를 스트라이킹하지 않고 기판의 표면과 반응하도록 가스를 공급하는 단계를 포함한다. 다른 특징들에서, 표면의 개질 단계는 기판의 표면과 반응하도록 가스를 공급하는 단계 및 플라즈마를 스트라이킹하는 단계를 포함한다. 다른 특징들에서, 표면은 금속을 포함하고, 표면의 개질 단계는 금속을 금속 옥사이드 또는 금속 할라이드로 변환하는 단계를 포함한다.

[0011] 다른 특징들에서, 원자 흡착 동안, 기판의 표면은 리간드에 노출된다. 리간드는 반응성 자유 리간드 (reactive free ligand) 이다. 다른 특징들에서, 리간드는 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 및 아세틸아세톤 (Hacac) 으로 구성된 그룹으로부터 선택된다. 다른 특징들에서, 리간드는 분자 염소 (Cl_2), 에탄올 (EtOH), 및 유기 증기로 구성된 그룹으로부터 선택된다.

[0012] 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스는 제 1 개질 동작 및 제 2 개질 동작을 포함한다. 원자 흡착은 제 2 개질 동작에 대응한다. 제어기는 등방성 금속 ALE 프로세스의 미리 결정된 수의 반복들을 수행하도록 구성된다. 미리 결정된 수의 반복들 각각은 (i) 제 1 개질 동작 동안 등방성 금속 ALE 프로세스의 이전 반복 동안 공급되는 것과 상이한 화학 종을 공급하는 것, 또는 (ii) 제 2 개질 동작 동안 등방성 금속 ALE 프로세스의 이전 반복 동안 공급되는 것과 상이한 화학 종을 공급하는 것 중 적어도 하나를 포함한다.

[0013] 다른 특징들에서, 기판의 표면을 에칭하기 위한 금속 ALE 방법이 제공된다. 금속 ALE 방법은: 프로세싱 챔버의 기판 지지부 상에 기판을 배치하는 단계; 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나를 상기 프로세싱 챔버로 공급하도록 구성된 전달 시스템; 및 등방성 금속 ALE 프로세스를 수행하는 단계를 포함한다. 등방성 금속 ALE 프로세스는: 등방성 금속 ALE 프로세스의 반복 동안, 원자 흡착 및 펄싱된 열 어닐링을 수행하는 동작; 원자 흡착 동안, 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나에 기판의 표면을 노출하는 동작으로서, 리간드 또는 유기 종은 금속 전구체가 없고 (void of), 금속 착체를 형성하도록 기판의 표면으로 선택적으로 흡착되는, 기판 표면 노출 동작; 및 펄싱된 열 어닐링 동안, 기판으로부터 금속 착체를 제거하기 위해 열원을 복수 회 펄싱 온 및 오프하는 동작을 포함한다.

[0014] 다른 특징들에서, 표면은 금속, 금속 옥사이드, 또는 금속 나이트라이드 중 적어도 하나를 포함한다. 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스 동안, 기판의 표면은 금속 전구체에 노출되지 않는다. 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스는 원자 흡착을 수행하기 전에 주위 온도 이상이고 금속 착체의 비등점 온도보다 낮은 온도로 기판을 예열하는 단계를 포함한다.

[0015] 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스는 원자 흡착을 수행하기 전에 표면을 개질하는 단계를 포함한다. 다른 특징들에서, 표면의 개질 단계는 플라즈마를 스트라이킹하지 않고 기판의 표면과 반응하도록 가스를 공급

하는 단계를 포함한다. 다른 특징들에서, 표면의 개질 단계는 기판의 표면과 반응하도록 가스를 공급하는 단계 및 플라즈마를 스트라이킹하는 단계를 포함한다. 다른 특징들에서, 표면은 금속을 포함하고, 표면의 개질 단계는 금속을 금속 옥사이드 또는 금속 할라이드로 변환하는 단계를 포함한다.

[0016] 다른 특징들에서, 원자 흡착 동안, 기판의 표면은 리간드에 노출되고, 리간드는 반응성 자유 리간드이다. 다른 특징들에서, 리간드는 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 및 아세틸아세톤 (Hacac) 으로 구성된 그룹으로부터 선택된다. 다른 특징들에서, 리간드는 분자 염소 (Cl_2), 에탄올 (EtOH), 및 유기 증기로 구성된 그룹으로부터 선택된 반응성 자유 리간드이다.

[0017] 다른 특징들에서, 등방성 금속 ALE 프로세스는 제 1 개질 동작 및 제 2 개질 동작을 포함한다. 원자 흡착은 제 2 개질 동작에 대응한다. 등방성 금속 ALE 프로세스의 미리 결정된 수의 반복들이 수행된다. 미리 결정된 수의 반복들 각각은 (i) 제 1 개질 동작 동안 등방성 금속 ALE 프로세스의 이전 반복 동안 공급되는 것과 상이한 화학 종을 공급하는 것, 또는 (ii) 제 2 개질 동작 동안 등방성 금속 ALE 프로세스의 이전 반복 동안 공급되는 것과 상이한 화학 종을 공급하는 것 중 적어도 하나를 포함한다.

[0018] 다른 특징들에서, 기판의 표면을 에칭하기 위해 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위한 ALE 시스템이 제공된다. ALE 시스템은 프로세싱 챔버, 기판 지지부, 열원, 전달 시스템, 및 제어기를 포함한다. 기판 지지부는 프로세싱 챔버 내에 배치되고, 기판을 지지하도록 구성된다. 열원은 기판 지지부 또는 프로세싱 챔버 중 적어도 하나를 가열하도록 구성된다. 전달 시스템은 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나를 프로세싱 챔버로 공급하도록 구성된다. 제어기는 등방성 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위해 전달 시스템 및 열원을 제어하도록 구성된다. 등방성 금속 ALE 프로세스의 반복 동안, 표면이 개질되고, 원자 흡착 및 열 어닐링이 수행된다. 표면의 개질 동안, 기판의 표면과 반응하도록 가스가 공급된다. 원자 흡착 동안, 기판의 표면은 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나에 노출된다. 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나는 금속 전구체가 없고, 기판의 표면에 금속 착체를 형성하도록 선택적으로 흡착된다. 열 어닐링 동안, 열원은 기판으로부터 금속 착체를 제거하기 위해 활성화된다.

[0019] 다른 특징들에서, 가스는 산소 (O_2) 를 포함한다. 다른 특징들에서, 리간드는 염소 (Cl_2) 를 포함한다. 다른 특징들에서, 열 어닐링은 (i) 열원을 펄싱하지 않는 동작, 또는 (ii) 미리 결정된 길이 이상의 길이들을 갖는 연장된 펄스들로 열원을 펄싱하는 동작을 포함한다.

[0020] 다른 특징들에서, 기판의 표면을 에칭하기 위해 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위한 ALE 시스템이 제공된다. ALE 시스템은 프로세싱 챔버, 기판 지지부, 열원, 전달 시스템, 및 제어기를 포함한다. 기판 지지부는 프로세싱 챔버 내에 배치되고, 기판을 지지하도록 구성된다. 열원은 기판 지지부 또는 프로세싱 챔버 중 적어도 하나를 가열하도록 구성된다. 전달 시스템은 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나를 프로세싱 챔버로 공급하도록 구성된다. 제어기는: 선택적인 금속 ALE 프로세스의 반복 동안, 표면을 개질하고, 원자 흡착 및 펄싱된 열 어닐링을 수행하는 단계; 및 표면의 개질 단계 동안, 기판의 표면의 선택적인 부분들과 반응하도록 가스를 공급하는 단계를 포함하는 선택적인 금속 ALE 프로세스를 수행하기 위해 전달 시스템 및 열원을 제어하도록 구성된다. 표면의 개질 단계는 (i) 표면의 선택적인 부분들을 바이어싱하는 단계, (ii) 미리 결정된 압력 이하의 압력으로 가스를 공급하는 단계, 또는 (iii) 프로세싱 챔버 내의 압력을 미리 결정된 압력 미만으로 유지하는 단계 중 적어도 하나를 포함한다. 원자 흡착 동안, 기판의 표면은 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나에 노출된다. 리간드 또는 유기 종 중 적어도 하나는 금속 전구체가 없고, 기판의 표면에 금속 착체를 형성하도록 선택적으로 흡착된다. 급속 열 어닐링 동안, 열원은 기판으로부터 금속 착체를 제거하도록 복수 회 펄싱 온 및 오프된다.

[0021] 다른 특징들에서, 가스는 산소 (O_2) 또는 수소 (H_2) 를 포함한다. 다른 특징들에서, 리간드는 염소 (Cl_2) 를 포함한다. 다른 특징들에서, 표면의 부분들은 (i) 기판의 중간 층의 홀의 상단 층의 하단 부분, 및 (ii) 중간 층 상에 배치된 상단 층의 상단 부분을 포함한다. 다른 특징들에서, 표면의 부분들은 홀의 측벽 상에 배치된 상단 층의 측벽 부분을 포함하지 않는다.

[0022] 본 개시의 추가 적용 가능성의 영역들은 상세한 기술, 청구항들 및 도면들로부터 명백해질 것이다. 상세한 기술 및 구체적인 예들은 단지 예시의 목적들을 위해 의도되고, 본 개시의 범위를 제한하도록 의도되지 않는다.

도면의 간단한 설명

[0023] 본 개시는 상세한 기술 및 첨부된 도면들로부터 보다 완전히 이해될 것이다.

도 1은 본 개시에 따른 금속 ALE와 금속 ALD (Atomic Layer Deposition) 동안 급속 열 펄스 동작들을 수행하기 위해, 플래시 램프 및 급속 열 펄스 제어기를 통합하는 기판 프로세싱 시스템의 예의 기능적 블록도이다.

도 2는 본 개시에 따른 금속 ALE와 금속 ALD 동안 급속 열 펄스 동작들을 수행하기 위해, 레이저, 렌즈 회로, 및 급속 열 펄스 제어기를 통합하는 기판 프로세싱 시스템의 예의 기능적 블록도이다.

도 3은 도 2의 렌즈 회로에 통합된 미러들 및 텔레센트릭 (tele-centric) 렌즈 어셈블리의 측단면도이다.

도 4는 본 개시에 따른 금속 ALE 프로세스도이다.

도 5a는 본 개시에 따른 금속 층의 부분들의 제거를 위한 급속 열 펄스 사이클들을 예시하는 그래프이다.

도 5b는 본 개시에 따른 급속 열 펄스 사이클들에 대해, 온도에 대한 반응 레이트들의 변화들을 예시하는 그래프이다.

도 6은 본 개시의 금속 ALE 프로세스에 따라 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 또는 분자 염소 (Cl_2) 가 도입될 때 상이한 산화제들에 대한 에칭 레이트들의 제 1 예시적인 그래프이다.

도 7은 본 개시의 금속 ALE 프로세스에 따른 상이한 산화제들에 대한 에칭 레이트들의 제 2 예시적인 그래프이다.

도 8은 본 개시의 실시 예에 따른 상이한 산화제들을 사용하여 제공된 산화 깊이들에 대한 산소 농도 레벨들의 예시적인 그래프이다.

도 9는 본 개시의 실시 예에 따른 도입된 산화제들의 상이한 패턴들에 대한 예시적인 에칭 깊이 선택도이다.

도 10은 금속 층들의 부분들의 제거를 위해 반복적으로 수행된 급속 열 펄스 사이클들을 예시하는 도면이다.

도 11은 본 개시에 따른 금속 ALE 방법을 예시한다.

도 12는 본 개시의 일 실시 예에 따른 음향-광학 변조기를 통합하는 기판 프로세싱 시스템의 예의 기능적 블록도이다.

도 13은 본 개시의 일 실시 예에 따른 입사각을 예시하는 미러들 및 기판의 측면도이다.

도 14는 본 개시의 일 실시 예에 따른 광학 빔 폴딩 어셈블리를 통합하는 기판 프로세싱 시스템의 예의 기능적 블록도이다.

도 15는 본 개시의 일 실시 예에 따른 원-라인 (circular-to-line) 빔 성형 광학기구 및 미러 또는 다각형 스캐너 중 적어도 하나를 통합하는 기판 프로세싱 시스템의 예의 기능적 블록도이다.

도 16은 본 개시의 일 실시 예에 따른 원형 빔 및 라인 빔의 단면도이다.

도 17은 본 개시의 일 실시 예에 따른 비급속 열 펄싱 및/또는 비펄싱된 열 어닐링을 구현하는 금속 ALE 방법을 예시한다.

도 18은 본 개시의 일 실시 예에 따른 BEOL (Back-End-Of-Line) 금속 배리어 ALE 방법을 예시한다.

도 19a는 본 개시의 실시 예에 따른 비아가 형성된 기판의 부분의 단면도이다.

도 19b는 도 18의 BEOL 금속 배리어 ALE를 사용하여 상단 층의 부분들의 제거 후 도 19a의 기판의 부분의 단면도이다.

도 19c는 비아를 형성하기 위한 홀의 충진 후 도 19a의 기판의 부분의 단면도이다.

도면들에서, 참조 번호들은 유사한 그리고/또는 동일한 엘리먼트들을 식별하기 위해 재사용될 수도 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 종래의 금속 ALE (때때로 "열 ALE"로 지칭됨) 는 속도, 에칭 레이트, 표면 흡착 커버리지, 선택도 및 기판으로부터의 특정한 금속들의 제거가 제한된다. 종래의 금속 ALE 프로세스들은 통상적으로 기판의 금속 옥사이드 표면을 개질하기 위해 기판을 예열하고 리간드와 함께 금속 전구체를 도입하는 것을 포함한다. 금속 전구체의 도입은 기판의 금속 오염을 발생시킬 수 있다. 또한, 수행된 표면 개질은 제거 효율에 부정적인 영향을 주는, 낮은 휘발성을 갖는 표면 재료들을 발생시킬 수 있다. 따라서, 종래의 금속 ALE 프로세스들은 낮은 에칭 레이트

들 (예를 들어, 0.1 Å/사이클) 을 갖는다. 또한, 리간드는 300 내지 400 ℃의 온도들에서 도입될 수도 있다. 이들 온도들에서, 흡착된 리간드의 양은 적다.

[0025] 본 명세서에 제시된 예들은 금속 착체 (complex) 층들을 제공하기 위해 금속 전구체들 없이 리간드들로서 유기 증기들을 사용하여 금속 ALE 프로세스들을 수행하는 것을 포함한다. 유기 증기들은 흡착되는 유기 증기의 양을 증가시키는 저온 (예를 들어, 금속 착체 층들의 비등점 미만의 온도들) 에서 도입된다. 펄싱된 열적 가열은 금속 착체 층들을 제거하기 위해 사용된다.

[0026] ALE 프로세스는 리간드들로 하여금 휘발성 재료들을 생성하도록 저온에서 기판의 표면 재료들 (예를 들어, 금속 옥사이드 층들) 과 반응하게 한다. 휘발성 재료들은 펄싱된 열적 가열을 사용하여 제거된다. 금속 ALE 프로세스들은 짧은 사이클 시간들을 갖고, 깊이 선택적이며, 효율적인 표면 개질 및 제거를 생성한다. 일부 예들에서, 금속 ALE는 종래의 금속 ALE 프로세스들보다 최대 100 배 빠르다. 금속 ALE 프로세스들은 저온에서 노출된 표면 재료의 리간드 소킹 (soaking) 을 포함한다. 소킹된 휘발성 표면 재료는 재증착 (부반응) 을 방지하기 위해 고온에 노출된다.

[0027] 본 명세서에 제시된 예들은 기판들의 상부 부분 및/또는 외측 부분의 온도를 급속하게 상승시키기 위해 열원들을 통해 RTP (Rapid Thermal Pulsing) 사이클들을 수행하기 위한 RTP 시스템들을 포함한다. 기판들의 베이스들 또는 벌크 부분들을 가열하지 않고 상부 부분 및/또는 외측 부분을 급속하게 가열함으로써, 기판들의 상부 부분 및/또는 외측 부분은 열원들이 비활성화된 후 온도가 급속하게 감소될 수 있다. 가열 및 냉각 사이클들은 이하에 기술된 바와 같이 매우 신속하게 수행될 수도 있다. RTP가 박형 외층을 가열하기 때문에, 열 예산 문제들이 방지된다, 즉, 기판의 하부 벌크 부분의 열적 가열은 실질적으로 감소되거나 방지된다. 예로서, 박형 외층의 가열은 수백 나노미터로 제한될 수도 있다.

[0028] RTP 동작들은 또한 열 예산 문제들에 대한 민감도로 인해 이전에 수행되지 않았던 프로세스들의 수행을 가능하게 한다. 예로서, 기판들로부터 특정한 상부 재료 층 및/또는 외측 재료 층의 등방성 및 선택적인 제거가 수행될 수도 있다. 상부 재료 층 및/또는 외측 재료 층은 금속들, 금속 옥사이드들 및/또는 금속 나이트라이드들을 포함할 수도 있는 막 재료들을 포함할 수도 있다. 에칭될 수도 있는 금속들의 일부 예들은 탄탈륨 (Ta), 루테늄 (Ru), 텅스텐 (W), 코발트 (Co), 백금 (Pt), 알루미늄 (Al), 바륨 (Ba), 칼슘 (Ca), 크롬 (Cr), 구리 (Cu), 에르븀 (Er), 네오디뮴 (Nd), 니켈 (Ni), 팔라듐 (Pd), 스트론튬 (Sr), 주석 (Sn), 이트륨 (Y), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 하프늄 (Hf) 및 티타늄 (Ti) 이다. 에칭될 수도 있는 금속 옥사이드들의 일부 예들은 알루미늄 옥사이드 (Al_2O_3), 하프늄 옥사이드 (HfO_2), 지르코늄 옥사이드 (ZrO_2), 이트륨 옥사이드 (Y_2O_3), 주석 옥사이드 (SnO_x), 및 아연 옥사이드 (ZnO) 이다. 에칭될 수도 있는 금속 나이트라이드들의 일부 예들은 티타늄 나이트라이드 (TiN), 탄탈륨 나이트라이드 (TaN), 및 알루미늄 나이트라이드 (AlN) 이다.

[0029] 이제 도 1을 참조하면, 사용될 수 있는 기판 프로세싱 시스템 (100) 의 예가 도시된다. 기판 프로세싱 시스템 (100) 이 유도 결합 플라즈마 (Inductively Coupled Plasma; ICP) 소스를 포함하지만, 다른 타입들의 프로세싱 챔버들 및/또는 플라즈마 소스들 (예컨대 리모트 플라즈마 소스들) 이 사용될 수도 있다. 리모트 플라즈마 소스가 라디칼들을 활용하기 위해 선택 가능하게 제공될 수도 있다. 또 다른 프로세싱 챔버의 예는 또 다른 프로세싱 챔버 (또는 제 2 챔버) 에 연결되는 리모트 플라즈마 소스 연결된 챔버 (또는 제 1 챔버) 이다. 기판 프로세싱 시스템 (100) 은 RTP 시스템 (106) 및 프로세싱 챔버 (108) 를 포함한다. 프로세싱 챔버 (108) 는 기판 (112) 을 지지하기 위한 기판 지지부 (110) 를 포함한다. RTP 시스템 (106) 은 기판 (112) 의 표면 및/또는 일부를 급속하게 그리고 반복적으로 가열한다. 일부 예들에서, 기판 지지부 (110) 는 정전 척 또는 진공 척을 포함한다. 일부 예들에서, 기판 지지부 (110) 는 온도 제어된다. 예를 들어, 기판 지지부 (110) 는 하나 이상의 존들 내에 배치될 수도 있는, 유체 채널들 (114) 및/또는 가열기들 (116) 을 포함할 수도 있다. 기판 지지부 (110) 는 전극 (118) 을 더 포함할 수도 있다.

[0030] 온도 및/또는 압력 센서들과 같은 하나 이상의 센서들 (119) 이 각각 온도 및/또는 압력을 센싱하도록 프로세싱 챔버 (108) 내에 배치될 수도 있다. 밸브 (122) 및 펌프 (124) 가 프로세싱 챔버 (108) 내의 압력을 제어하도록 그리고/또는 프로세싱 챔버 (108) 로부터 반응물질들을 배기시키도록 사용될 수도 있다.

[0031] RTP 시스템 (106) 은 기판 (112) 의 급속 열 어닐링을 수행하는 열원 (126) 을 포함한다. 이는 플래시 램프들 (128) 을 통한 RTP를 포함한다. 레이저 기반인 또 다른 RTP 시스템의 예가 도 2에 도시된다. 윈도우 어셈블리 (130) 가 열원 (126) 과 프로세싱 챔버 (108) 사이에 배치될 수도 있다. 윈도우 어셈블리 (130) 는 제 1 (또는 유전체) 윈도우 (132), 반사기 (134), 커플링 부재 (136) 및 제 2 윈도우 (138) 를 포함한다. 제 1 윈도우

(132) 는 석영 윈도우일 수도 있다. 반사기 (134) 는 스테인리스 스틸로 형성될 수도 있고, 플래시 램프들 (128) 에 의해 생성된 열 에너지를 기판 (112) 을 향해 지향시키기 위해 원뿔-형상일 수도 있다. 제 2 윈도우 (138) 는 사파이어 윈도우일 수도 있다. 커플링 부재 (136) 는 프로세싱 챔버 (108) 에 반사기 (134) 를 연결한다. 일 실시 예에서, 반사기 (134) 는 포함되지 않고, 제 1 윈도우 (132) 는 커플링 부재 (136) 에 부착된다. 플래시 램프들 (128) 은 원통형-형상일 수도 있고, 물 및/또는 다른 냉각 유체가 이를 통해 플래시 램프들 (128) 을 냉각시키도록 순환될 수도 있는, 각각의 냉각 재킷들 (140) 을 포함할 수도 있다. 포물선형 반사 부분들 (144) 을 갖는 반사기 (142) 가 제 1 윈도우 (132) 상에 배치될 수도 있다. 반사기 (142) 는 알루미늄으로 형성될 수도 있다. 플래시 램프들 (128) 은 반사기 (142) 와 제 1 윈도우 (132) 사이의 포물선형 반사 부분들 (144) 에 각각 배치된다.

[0032] 온도 제어 시스템 (150) 이 기판 지지부 (110) 및 기판 (112) 의 온도를 제어하도록 사용될 수도 있다. 온도 제어 시스템 (150) 은 유체 채널들 (114) 에 연결되는 펌프 (154) 를 통해 유체 소스 (152) 로부터의 유체의 공급을 제어할 수도 있다. 온도 제어 시스템 (150) 은 또한 가열기들 (116) 의 동작을 제어할 수도 있다. 온도 제어 시스템 (150) 은 기판 지지부 (110) 의 하나 이상의 위치들 또는 존들의 온도들을 센싱하기 위해 하나 이상의 온도 센서들 (156) 을 포함할 수도 있다.

[0033] 전달 시스템 (160) 이 하나 이상의 소스들 (164), 하나 이상의 밸브들 (170), 하나 이상의 질량 유량 제어기들 (Mass Flow controllers; MFCs) (168) 및 혼합 매니폴드를 포함한다. 가스 전달 시스템 (160) 은 전처리, 도핑, 패시베이션 (passivation), 표면 개질, 원자 흡착, 어닐링 및/또는 퍼징 (purging) 동안 가스들, 증기들, 액체들, 화학 물질들, 플라즈마 가스 혼합물들, 캐리어 가스 및/또는 불활성 가스, 및/또는 퍼지 가스 혼합물들을 프로세싱 챔버 (108) 로 선택적으로 공급한다.

[0034] RF 생성기 (120-1) 가 RF 소스 (123) 및 프로세싱 챔버 (108) 의 외측 벽을 둘러싸는, 코일 (127) 에 RF 전력을 출력하는 매칭 네트워크 (125) 를 포함한다. RF 생성기 (120-1) 는 플라즈마를 스트라이킹하는 프로세싱 챔버 (108) 내에 자기장을 생성한다. 또 다른 RF 생성기 (120-2) 는 기판 지지부 (110) 내의 전극 (118) 에 RF 바이어스를 공급하기 위해 사용될 수도 있다. 수행될 프로세스를 제어하기 위해, 제어기 (180) 가 하나 이상의 센서들 (119), 밸브 (122) 및 펌프 (124), 온도 제어 시스템 (150), 열원 (126), RF 생성기들 (120-1 및/또는 120-2), 및 전달 시스템 (160) 과 통신한다.

[0035] 제어기 (180) 는 플래시 램프들 (128) 을 펄싱하기 위해 용량성 방전 회로 (184) 를 제어하는, RTP 제어기 (182) 를 포함할 수도 있다. 용량성 방전 회로 (184) 는 전력 소스 (186) 로부터 전력을 수신할 수도 있고, RTP 제어기 (182) 로부터 제어 신호를 수신할 수도 있다. 용량성 방전 회로 (184) 는 유휴 모드에 있을 때 커패시터들 (박스 (187) 로 나타냄) 을 충전할 수도 있고, RTP 제어기 (182) 로부터 방전 신호를 수신할 때 커패시터들을 방전시킬 수도 있다. RTP 제어기 (182) 는 금속 ALE 및/또는 금속 ALD 프로세스들 동안 RTP 동작들을 수행할 수도 있다.

[0036] 도 2는 레이저 (204), 렌즈 회로 (206) 및 RTP 제어기 (210) 를 갖는 제어기 (208) 를 포함하는 RTP 시스템 (202) 을 통합하는, 기판 프로세싱 시스템 (200) 의 예를 도시한다. 기판 프로세싱 시스템 (200) 은 도 1의 기판 프로세싱 시스템 (100) 과 유사하게 동작할 수도 있고, 도 2에 도시되지 않은 기판 프로세싱 시스템 (100) 의 부분들을 포함할 수도 있다. 기판 프로세싱 시스템 (200) 은 열원 (126), 제어기 (180), 및 용량성 방전 회로 (184) 대신 레이저 (204), 렌즈 회로 (206), 및 제어기 (208) 를 포함한다. 레이저 (204) 는 RTP 제어기 (210) 로부터 수신된 제어 신호에 기반하여 RTP 동작들 동안 RTP 제어기 (210) 에 의해 펄싱될 (또는 변조될) 수도 있는 열원이다. 이는 금속 ALE 및 금속 ALD 프로세스들 동안 발생할 수도 있다.

[0037] 렌즈 회로 (206) 는 빔 성형 광학기구 (212), 제 1 미러 (214) 및 제 2 미러 (216) 를 포함하는 Galvano 미러 회로 (213), 및 텔레센트릭 (tele-centric) 렌즈 어셈블리 (218) 를 포함한다. 빔 성형 광학기구 (212) 는 플랫-탑 (flat-top) (또는 제 1 빔 성형) 광학기구 (220) 및 회절 (또는 제 2 빔 성형) 광학기구 (222) 를 포함할 수도 있다. 플랫-탑 광학기구 (220) 는 레이저 빔이 Gaussian 분포를 갖는 레이저 (204) 로부터 수신된 레이저 빔을 플랫-탑 빔으로 (예를 들어, 2 센티미터 (㎝) x 2 ㎝ 플랫-탑 빔) 변환하도록 사용된다. 레이저 빔의 온도 프로파일은 또한 Gaussian이다. 플랫-탑 광학기구의 일 예는 "플라이휠 (flywheel)" 광학기구이다.

[0038] 회절 광학기구 (222) 는 플랫-탑 광학기구 (220) 로부터 나오는 플랫-탑 원형 빔을 정사각형 빔으로 변환한다. 정사각형 빔은 기판 상에 대응하는 균일한 온도 분포를 갖는다. 이는 정사각형 빔에 노출된 기판 (예를 들어, 기판 (112)) 의 부분에 걸쳐 균일한 열 반응 및/또는 에칭 레이트를 허용한다. 정사각형 빔을 제공하는 것은 또한 가열되는 다이의 형상을 매칭하는 형상을 갖는 빔을 제공한다. 정사각형 빔은 선택된 다이의 표면 또는

상부 부분을 균일하게 가열할 수도 있다. 기판 (112) 은 프로세싱 챔버 (108) 내의 기판 지지부 상에 배치될 수도 있다.

[0039] 빔 사이즈 조정 디바이스 (226) 가 빔 성형 광학기구 (212) 와 제 1 미러 (214) 사이에 배치될 수도 있다. 빔 사이즈 조정 디바이스 (226) 는 기판 (112) 상의 다이의 사이즈 이상이도록 정사각형 빔의 사이즈를 조정할 수도 있다. 빔 사이즈 조정 디바이스 (226) 는 모터로 작동할 (motorized) 수도 있고, 빔 확장기 (227) 를 포함할 수도 있다. 빔 확장기 (227) 는 확대를 수행할 수도 있고, 레이저 빔의 사이즈를 증가시킬 수도 있다.

[0040] RTP 제어기 (210) 및 Galvano 미러 회로 (213) 는 X-Y 갈바노미터 (galvanometer) 스캐닝 시스템으로서 동작할 수도 있다. 제 1 미러 (214) 는 제 1 (또는 X) 방향으로 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 레이저 빔을 이동시키도록 사용될 수도 있다. 제 2 미러 (216) 는 제 2 (또는 Y) 방향으로 기판의 표면에 걸쳐 레이저 빔을 이동시키도록 사용될 수도 있다. 제어기 (208) 및/또는 RTP 제어기 (210) 는 모터들 (230, 232) 을 통해 미러들 (214, 216) 을 이동시킬 수도 있다.

[0041] 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (218) 는 시준 어셈블리로 지칭될 수도 있고, 일련의 평철 (plano-convex) 렌즈들 (240, 242, 244, 246) 을 포함한다. 특정한 수의 평철 렌즈들이 도시되지만, 상이한 수의 평철 렌즈들이 포함될 수도 있다. 평철 렌즈들 (240, 242, 244, 246) 의 직경은: 렌즈 (242) 의 직경이 렌즈 (240) 의 직경보다 크고; 렌즈 (244) 의 직경이 렌즈 (242) 의 직경보다 크고; 그리고 렌즈 (246) 의 직경이 렌즈 (244) 의 직경보다 크도록, 평철 렌즈들이 윈도우 어셈블리 (130) 에 보다 가까울수록 증가한다. 평철 렌즈들 (240, 242, 244, 246) 은 공통 중심선 (248) 을 갖도록 수직으로 정렬된다. 평철 렌즈들 (240, 242, 244, 246) 은 몰드 (250) 내에서 고정된 관계로 홀딩된다. 평철 렌즈들 (240, 242, 244, 246) 은 제 2 미러 (216) 로부터 수신된 레이저 빔을 기판 (112) 의 표면에 직교하도록 지향시킨다. 레이저 빔이 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 이동되기 때문에, 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (218) 는 기판 (112) 의 표면과 직교하는 관계로 레이저 빔을 유지한다.

[0042] 예로서, 레이저 (204) 에 의해 생성된 레이저 빔은 직경이 355 ㎚일 수도 있고, 80 피코초 (ps) 마다 펄싱될 수도 있다. RTP 제어기 (210) 는 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 150 헤르츠 (Hz) 스캔을 수행하도록 미러들 (214, 216) 을 이동시킬 수도 있다.

[0043] 기판 프로세싱 시스템 (200) 은 기판 지지부 (110) 및 기판 (112) 의 온도를 제어하기 위해 사용될 수도 있는, 온도 제어 시스템 (150) 을 포함할 수도 있다. 온도 제어 시스템 (150) 은 기판 지지부 (110) 의 하나 이상의 위치들 또는 존들의 온도들을 센싱하기 위해 하나 이상의 온도 센서들 (156) 을 포함할 수도 있다.

[0044] 도 3은 도 2의 미러들 (214, 216) 및 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (218) 의 측단면도를 도시한다. 미러들 (214, 216) 이 도시되고, 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (218) 를 통해 레이저 빔 (300) 을 지향시킨다. 레이저 빔 (300) 은 가장 작은 렌즈 (240) 로부터 가장 큰 렌즈 (246) 로 렌즈들 (240, 242, 244, 246) 을 통과한다. 레이저 빔 (300) 이 라운드이고 도 2의 빔 성형 광학기구 (212) 를 통과하지 않을 때, 레이저 빔은 기판 (112) 의 상 평면 (image plane) (304) 또는 표면 상의 곡선 (302) 에 의해 나타낸 바와 같이 Gaussian 분포를 갖는다. 레이저 빔 (300) 이 빔 성형 광학기구 (212) 를 통과할 때, 레이저 빔은 정사각형 형상이고, 측면들 S를 갖는 스팟을 갖는다.

[0045] 도 2의 Galvano 미러 회로 (213) 는 전체 FOV (Field-Of-View) 를 스캐닝하기 위한 2 개의 미러들을 포함하는 시스템을 제공한다. 예로서, FOV는 300 ㎜ x 300 ㎜보다 클 수도 있다. 일 실시 예에서, 렌즈들 (240, 242, 244, 246) 은 집합적으로 적은 수의 애퍼처 (aperture) (미리 결정된 수의 애퍼처보다 적음) 및 상 평면 (304) 에 대해 수직인 미리 결정된 범위 내의 초점 칼럼 파라미터 (focal column parameter) (또는 빔 수직도 파라미터) 를 갖는다. 레이저 빔은 빔 균일성과 강도가 유지되는 동안 상 평면에서 빔 왜곡 없이 상 평면에 수직으로 제공된다. 레이저 빔은 상 평면 (304) 에 포커싱될 수도 있다. 일 실시 예에서, 동공 (pupil) 애퍼처 또는 빔 스팟의 측면 S의 사이즈는 10 내지 12 ㎜로 제한된다. 도 2의 빔 사이즈 조정 디바이스 (226) 는 S가 20 내지 22 ㎜이도록, 빔 스팟의 사이즈를 증가시킬 수도 있다.

[0046] FFL (Flange Focal Length) 및 BFL (Back Focal Length) 이 도시된다. FFL은 (i) 플랜지 (flange) (305) 의 단부 및/또는 렌즈 (246) 가 상 평면 (304) 을 향해 외측으로 커브되고 돌출되기 시작하는 지점 (307) 으로부터 (ii) 상 평면 (304) 의 거리일 수도 있다. BFL은 (i) 상 평면 (304) 에 가장 가까운 렌즈 (246) 상의 지점 (309) 으로부터 (ii) 상 평면 (304) 의 거리를 지칭할 수도 있다.

[0047] 상기 기술된 도 1 내지 도 3의 예들은 플래시 램프 예 및 레이저 빔 예를 제공한다. 플래시 램프들은 미리 결정된 수의 마이크로초마다 (예를 들어, 300 ㎲마다) 변조될 (또는 펄싱될) 수도 있고, 레이저 빔은 미리 결정된

수의 피코초마다 (예를 들어, 80 ps마다) 변조될 (또는 펄싱될) 수도 있다. 이 예들은 순차적 열 금속 ALE 또는 금속 ALD 프로세스를 수행하는 것을 허용한다. 예로서, 100 μs 펄싱된 광원은 1 Hz 사이클로 제곱 센티미터 (cm^2) 당 8 줄 (J) 의 램프 전력을 제공하는데 사용될 수도 있다. 단일 프로세싱 챔버 내에서 단일 레시피에 대해 50 사이클들보다 많이 수행될 수도 있다. 재료의 원자적 (atomistic) 및 등방성 제거를 포함하는 금속 ALE 프로세스가 수행될 수도 있다. 이들 프로세스들은 열 예산 문제들 없이 기판 온도들을 제어하는 동안 효과적으로 수행된다.

[0048] 도 4는 금속 ALE 프로세스를 예시하는 금속 ALE 프로세스도를 도시한다. 금속 ALE 프로세스는 금속, 금속 옥사이드, 금속 나이트라이드 및/또는 금속을 포함하는 다른 재료를 에칭하는 것을 포함한다. 금속 ALE 프로세스는 금속 전구체의 사용 없이 원자 흡착을 수행하는 것을 포함하는 금속-프리 리간드 프로세스이다. 금속 ALE 프로세스는: (i) 제 1 표면 개질 (또는 전처리) 동작; (ii) 금속-프리 리간드 및/또는 유기 증기를 포함하는 제 2 표면 개질 (또는 원자 흡착) 동작; (iii) RTP (또는 열적 제거) 동작; 및 (iv) 표면 리프레시 (또는 퍼지) 동작을 반복적으로 수행하는 것을 포함할 수도 있다. 금속-프리 리간드 원자 흡착 동작은 표면 개질 동작들의 수행 결과로서 형성된 금속 착체 재료들의 비등점 미만의 온도들에서 수행될 수도 있다. RTP는 종래의 연속파 (Continuous Wave; CW) 가열 접근법들과 비교하여, 열 예산 문제들 없이 원자적으로 그리고 등방성으로 막들을 제거하도록 사용될 수도 있다. 일 실시 예에서, 열 펄스 지속 기간들은 3 ms 미만의 지속 기간이고, 열 예산 문제들을 방지하기 위해 대략 500 ℃로 표면 기판 온도들을 상승시킨다.

[0049] 전처리 (또는 제 1 표면 개질 동작) 동안, 분자 산소 (O_2) 플라즈마, 오존 (O_3), 과산화수소 (H_2O_2), 수증기 플라즈마, 분자 수소 (H2) 플라즈마, 분자 염소 (Cl_2) 플라즈마, 암모니아 (NH_3) 플라즈마, 및/또는 다른 가스가 공급될 수도 있다. 전처리 동안, 기판의 표면 및/또는 일부를 개질하기 위해 플라즈마가 제공될 수도 있다.

[0050] 제 2 표면 개질 동작 동안, 유기 가스 또는 증기 형태의 금속-프리 리간드가 도입된다. 금속-프리 리간드는 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 및/또는 아세틸아세톤 (Hacac) 과 같은 반응성 자유 리간드 (reactive free ligand), 및/또는 기판의 표면 및/또는 일부에 흡착될 다른 유기 가스, 증기 및/또는 반응 물질을 포함할 수도 있다. 금속-프리 리간드는 분자 염소 (Cl_2), 에탄올 (EtOH), 또는 다른 유기 증기를 포함할 수도 있다. 사용될 수도 있는 다른 예시적인 리간드들은 트리플루오로아세트산, 아세트산, 아세토니트릴, 디메틸포름아미드, 테트라메틸에틸렌디아민, tert-부틸이소시아나이드, tert-부틸아민, 디메틸아민, tert-부틸 알코올, 및 tert-부틸 티올이다. 예를 들어, 탄소 (C), 불소 (F), 수소 (H), 산소 (O), 황 (S), 질소 (N), 인 (P), 셀레늄 (Se) 및 비소 (As) 원소들 중 2 개 이상을 포함하는 다양한 화합물들을 포함하는, Hacac의 상이한 변형들이 사용될 수도 있다. 사용될 수도 있는 Hacac의 다른 예시적인 변형들은: 아세틸아세톤; 트리플루오로아세틸아세톤; 헥사플루오로아세틸아세톤; 디피발로일메탄 (dipivaloylmethane); 피발로일트리플루오로아세톤 (dibenzoylmethane); 디벤조일메탄 (dibenzoylmethane); 4,4,4-트리플루오로-1-페닐-1,3-부탄디온 (4, 4, 4-trifluoro-1-phenyl-1,3-butanedione); 4,4-디플루오로-1-페닐-1,3-부탄디온 (4,4-difluoro-1-phenyl-1,3-butanedione); 4,4,4-트리플루오로-1-(2-티에닐)-1,3-부탄디온 (4,4,4-trifluoro-1-(2-thienyl)-1,3-butanedione); 및 4,4,4-트리플루오로-1-(2-푸릴)-1,3-부탄디온 (4,4,4-trifluoro-1-(2-furyl)-1,3-butanedione) 이다.

[0051] 원자 흡착을 겪는 기판의 일부는 금속, 금속 옥사이드, 또는 금속 나이트라이드로 형성될 수도 있다. 에칭될 수도 있는 금속들의 일부 예들은 탄탈룸 (Ta), 루테늄 (Ru), 텅스텐 (W), 코발트 (Co), 백금 (Pt), 알루미늄 (Al), 바륨 (Ba), 칼슘 (Ca), 크롬 (Cr), 구리 (Cu), 에르븀 (Er), 네오디뮴 (Nd), 니켈 (Ni), 팔라듐 (Pd), 스트론튬 (Sr), 주석 (Sn), 이트륨 (Y), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 하프늄 (Hf) 및 티타늄 (Ti) 이다. 에칭될 수도 있는 금속 옥사이드들 (MOx) 의 일부 예들은 알루미늄 옥사이드 (Al_2O_3), 하프늄 옥사이드 (HfO_2), 지르코늄 옥사이드 (ZrO_2), 이트륨 옥사이드 (Y_2O_3), 주석 옥사이드 (SnO_x), 및 아연 옥사이드 (ZnO) 이다. 에칭될 수도 있는 금속 나이트라이드들의 일부 예들은 티타늄 나이트라이드 (TiN), 탄탈륨 나이트라이드 (TaN), 및 알루미늄 나이트라이드 (AlN) 이다.

[0052] 원자 흡착에 후속하여, 제거될 부분은 예를 들어: 금속 및 리간드, 물, 수소, 트리메틸실릴클로라이드, 및/또는 다른 휘발성 및 개질된 재료들 및/또는 물질들을 포함하는 금속 착체일 수도 있다.

[0053] 일 실시 예에서, 미리 결정된 수의 사이클들이 기판의 하나 이상의 층들의 미리 결정된 양을 제거하기 위해 수행된다. 예로서, 기판의 최상부의 단층 (monolayer) 은 금속 ALE 프로세스의 사이클마다 제거될 수도 있다. 금속 열 동작 동안, 플래시 램프 어셈블리 또는 레이저가 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이 그리고/또는 이하에

기술된 바와 같이 사용될 수도 있다.

[0054] 기판들은 기판 리프레시 동작들 동안 냉각될 수도 있다. 표면 리프레시 동작은 아르곤 (Ar) 가스의 도입을 포함할 수도 있다. 일 실시 예에서, 기판들을 극저온으로 (cryogenically) 냉각하도록 능동 냉각이 제공된다. 이는 기판들을 냉각하는 시간의 양을 단축시키고, 보다 많은 사이클들이 단축된 시간 기간에 수행되게 한다. 능동 냉각은 기판들의 베이스 (또는 벌크) 부분에 부정적인 영향을 주지 않고 신속한 복구를 제공한다.

[0055] 도 5a는 예시적인 급속 열 펄스들을 예시하는 시간에 따른 예시적인 온도 프로파일을 도시한다. 도 5a에서, 저온 펄스들 및 고온 펄스들이 예시를 위해 도시된다. 급속 열 펄스는 저온들에서 흡착을 개선하기 위해 독립적인 동작들 동안 격리된 가열을 제공한다. 이는 기판의 표면 온도들로 하여금 ALE 프로세스의 대응하는 부분 동안 제어되게 한다. 급속 열 펄싱 동안의 에칭 레이트는 표면 개질 깊이에 기초하여 튜닝 가능하다.

[0056] 예로서, 저온 펄스들은 기판의 일부의 온도들을 사이클 당 80 ℃로 상승시키도록 제공될 수도 있다. 고온 펄스들은 기판의 일부의 온도들을 사이클 당 600 ℃로 상승시킬 수도 있다. 일 실시 예에서, 저온 펄스들은 기판의 일부의 온도들을 20 내지 80 ℃로 상승시킨다. 일 실시 예에서, 고온 펄스들은 기판의 일부의 온도들을 100 내지 600 ℃로 상승시킨다. 또 다른 실시 예에서, 저온 펄스들은 제공되지 않는다. 가열된 기판의 부분은 예를 들어 저온 펄스들 및/또는 고온 펄스들의 연속 쌍 각각 사이의 기준 온도 (예를 들어, 20 ℃) 로 냉각된다. 복수의 저온 펄스들 및/또는 고온 펄스들이 제공될 수도 있고, 가열되는 기판의 일부는 미리 결정된 수의 초 (x 초로 도시됨) 에 걸쳐 펄스들의 순차적인 펄스들 사이에서 냉각될 수도 있다. 예로서, 복수의 저온 펄스들 및 고온 펄스들은 3 내지 10 초 길이 기간 동안 제공될 수도 있다.

[0057] 본 명세서에 기술된 RTP는 기판 표면 온도들을 가열하고 제어하게 된다. 가열은 원자적 반응 제어를 제공하는 동안 제어되고 튜닝 가능한 방식으로 기판의 미리 결정된 깊이들로 제공된다. 이는 생성되는 광 (예를 들어, 플래시 램프 또는 레이저) 펄스들의 수, 길이, 강도, 및 주파수를 제어함으로써 달성될 수도 있다. 일 실시 예에서, 일련의 고온 펄스들이 제공된다. 다른 실시 예에서, 일련의 저온 펄스들이 제공된다. 또 다른 실시 예에서, 저온 펄스들 및 고온 펄스들의 조합이 제공되고, 기판의 표면의 적어도 일부에 걸쳐 온도 깊이 프로파일을 제공하도록 펄스들의 지속 기간들, 강도들 (또는 전력 레벨들) 및 주파수들이 제어된다. 도 1의 실시 예에서와 같이 복수의 플래시 램프들을 가짐으로써, 상이한 온도 존들은 플래시 램프들을 상이하게 동작시킴으로써 생성될 수도 있다. 예를 들어, 제 1 하나 이상의 플래시 램프들은 제 1 세트의 하나 이상의 지속 기간들, 하나 이상의 강도 레벨들 (또는 전력 레벨들) 및 하나 이상의 주파수들을 갖는 제 1 일련의 펄스들을 제공하도록 동작될 수도 있고, 제 2 하나 이상의 플래시 램프들은 제 2 세트의 하나 이상의 지속 기간들, 하나 이상의 강도 레벨들 (또는 전력 레벨들) 및 하나 이상의 주파수들을 갖는 제 2 일련의 펄스들을 제공하도록 동작될 수도 있다.

[0058] 도 5b는 도 5a에 도시된 것과 유사한 급속 열 펄스들에 대해, 온도에 대한 반응 레이트를 도시한다. 예시적인 흡착 곡선 (500) 및 예시적인 탈착 (또는 에칭) 곡선 (502) 이 도시된다. 예를 들어, 금속-프리 리간드의 원자 흡착 동안, 대응하는 금속 층은 저온 펄스를 수용할 수도 있고 그리고/또는 냉각될 수도 있다. 지속 기간이 1 초 미만일 수도 있는 예시적인 시간 기간 T1이 저온 펄스에 대해 도시된다. T1은 저온 펄스의 지속 기간일 수도 있다. 지속 기간이 1 밀리초 미만인 예시적인 시간 기간 T2가 고온 펄스에 대해 도시된다. T2는 고온 펄스의 지속 기간일 수도 있다. 표면 온도는 저온과 고온 사이에서 신속하게 변화할 수도 있다 (예를 들어, 가열할 때 1 밀리초 미만 그리고 냉각할 때 1 초 미만).

[0059] 이하의 도 6 및 도 7의 예들은 티타늄 나이트라이드 (TiN) 의 상부 PVD (Physical Vapor Deposition) 층을 갖는 기판에 대해 제공된다. 도 6은 금속 ALE 프로세스에 따라 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 또는 분자 염소 (Cl_2) 가 도입될 때 상이한 산화제들에 대한 에칭 레이트들의 제 1 예시적인 그래프를 도시한다. 3 개의 예시적인 에칭 범위들이 각각 리간드 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 을 갖는 오존 (O_3); 클로라이드를 갖는 과산화수소 (H_2O_2); 및 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 을 갖는 산소 (O_2) 플라즈마에 대해 도시된다. 이 플롯은 에칭 레이트가 선택된 산화제의 타입에 기초하여 제어될 수 있다는 것을 예시한다. 일 실시 예에서, 에칭 레이트는 주로 산화제의 도입에 의해 제공된 산화 깊이를 제어함으로써 제어된다. 도시된 바와 같이, 산소 (O_2) 의 도입은 Hhfac을 사용할 때 보다 높은 에칭 레이트에 대해 보다 깊은 산화를 제공할 수도 있다.

[0060] 도 7은 금속 ALE 프로세스에 따른 상이한 산화제들에 대한 에칭 레이트들의 제 2 예시적인 그래프를 도시한다. 도 7은 에칭 레이트들이 사용된 산화제의 타입에 기초하여 조정될 수 있는 또 다른 예이다. 3 개의 예시적인 에칭 범위들이 각각 리간드 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 을 갖는 오존 (O_3), 리간드 헥사플루오로아세틸

아세톤 (Hhfac) 을 갖는 과산화수소 (H_2O_2), 및 헥사플루오로아세틸아세톤 (Hhfac) 을 갖는 분자 산소 (O_2) 플라즈마에 대해 도시된다. 3 개의 예시적인 에칭 범위들은 모두 동일한 리간드에 대한 것이지만, 상이한 산화제 전처리를 사용한다. 도 7의 그래프와 연관된 기판의 온도들은 도 6의 그래프에 대한 기판의 온도들과 상이하다. 온도는 에칭 레이트를 변화시키기 위해 조정될 수도 있는 몇몇 파라미터들 중 하나이다. 에칭 레이트들은 또한 급속 열 어닐링 동안 사용된 RTP 에너지 레벨들을 조정함으로써 조정될 수도 있다.

[0061] 도 8은 도 4의 금속 ALE 프로세스 및 도 11의 방법에서 수행된 바와 같은 전처리에 대해, 산화 깊이들에 대한 산소 농도 레벨들의 예시적인 그래프를 도시한다. 도 8은: 작은 백분율의 산소를 포함하는, 실내 공기에 대한 노출로 인한 천연 산화가 거의 없는 기판의 프로세싱되지 않은 티타늄 나이트라이드 (TiN) 층에 대한 플롯 (800); 오존 (O_3) 에 대한 4 개의 플롯들 (802) (4 개의 플롯들 각각은 상이한 양의 가열과 연관됨); 과산화수소 (H_2O_2) 에 대한 2 개의 플롯들 (804) (2 개의 플롯들 각각은 상이한 양의 가열과 연관됨); 및 분자 산소 (O_2) 에 대한 3 개의 플롯들 (806) (3 개의 플롯들 각각의 플라즈마는 상이한 양의 가열과 연관됨) 을 도시한다. 알 수 있는 바와 같이, 산소 흡착의 양 및/또는 깊이는 또한 사용된 산화제의 선택을 제어함으로써 선택적으로 제어될 수도 있다. 산화 깊이를 튜닝함으로써, 에칭 레이트가 또한 조정된다. 에칭 레이트는 산화 깊이와 관련된다. 산화 깊이가 증가함에 따라, 에칭 레이트 또한 상승한다. 도시된 예에서, 과산화수소 (H_2O_2) 의 산화 깊이는 분자 산소 (O_2) 플라즈마에 대한 산화 깊이보다 작은, 오존 (O_3) 에 대한 산화 깊이보다 작다. 또한, 보다 많이 가열 (또는 예열) 할수록, 기판의 온도가 보다 높아지고 산화가 보다 깊어진다. 온도는 주위 온도 (ambient temperature) 와 200 ℃ 사이이다. 곡선들에 의해 알 수 있는 바와 같이, 산소 농도는 피크까지 상승하고, 그 후 깊이가 증가함에 따라 감소한다.

[0062] 도 9는 도입된 산화제들의 상이한 패턴들에 대한 예시적인 에칭 깊이 선택도 도면을 도시한다. 상이한 패턴들의 산화제들이 에칭 깊이들 및 에칭 레이트들을 제어하기 위해 도입될 수도 있다. 복수의 사이클들의 도 4의 금속 ALE 프로세스가 수행될 수도 있고, 사이클 각각은 표면 개질을 수행하기 위해 하나 이상의 표면 개질 재료들을 도입하는 것을 포함한다. 2 행들의 상이한 패턴들이 에칭될 상이한 재료들에 대한 예들로서 도시된다. 제 1 행은 RTP를 사용하여 대응하는 재료들의 에칭을 허용하는 예시적인 패턴들을 제공한다. 제 2 행은 RTP를 사용하여 대응하는 재료들에 대해 에칭이 수행될 수 없는 패턴들의 예들을 제공한다. 예시적인 도면은 또한 에칭될 4 개의 재료들에 대해 4 개의 열들을 포함하고, 제 1 재료는 티타늄 나이트라이드 TiN을 포함하고, 제 2 재료는 루테늄 Ru를 포함하고, 제 3 재료는 텅스텐 W를 포함하고, 그리고 제 4 재료는 탄탈룸 Ta를 포함한다.

[0063] 행들 및 열들은 셀들을 제공하고, 셀 각각은 특정한 순서로 0 개, 1 개, 2 개, 또는 3 개의 심볼들을 포함한다. 심볼들은 원, 사각형 및 삼각형을 포함한다. 원은 분자 산소 (O_2) 플라즈마 및 리간드 Hhfac 도입에 이어서 플래시 램프 가열을 지칭한다. 삼각형은 오존 O_3 가스 도입에 이어서 플래시 램프 가열을 지칭한다. 사각형은 분자 산소 (O_2) 플라즈마 및 분자 염소 (Cl_2) 도입에 이어서 플래시 램프 가열을 지칭한다. 도 9가 특정한 가스들, 플라즈마들, 및 리간드들의 사용을 도시하지만, 본 명세서에 개시된 임의의 타입들의 가스들, 플라즈마들, 리간드들 및/또는 다른 유기 가스들 및/또는 증기들이 사용될 수도 있다. 유사하게, 특정한 타입들의 가열 및 특정한 사이클들의 특정한 패턴들이 도시되지만, 본 명세서에 개시된 다른 타입들의 가열 및 임의의 수의 사이클들은 다양한 순서들로 수행될 수도 있다.

[0064] 도 10은 기판의 일부로부터 금속 층의 부분들의 제거를 위해 반복적으로 수행된 급속 열 펄스 사이클들을 예시하는 도면을 도시한다. 사이클 각각 동안 부분들이 제거되는 층들의 스택 (1000) 이 도시된다. 도 10은 예시적인 목적들로만 도시된다. 상단 층들이 개질되고 제거되는 것으로 도시되지만, 상단 층들의 측면들이 또한 제거될 수도 있다. 금속 층들의 측면들은 마스크가 금속 층들 상에 배치될 때, 상단 층들을 개질 및 제거하지 않고 개질되고 제거될 수도 있다. 층들의 스택 (1000) 은 하나 이상의 층들을 포함할 수도 있는, 상부 금속 층 (1002) 및 베이스 층 (1004) 을 포함한다. 상부 금속 층 (1002) 은 RTP를 사용하여 제거되는 것으로 본 명세서에 기술된, 개질된 금속, 금속 옥사이드 또는 금속 나이트라이드를 포함하는, 개질된 표면 층 (또는 상부 단층) (1006) 을 포함한다. 개질된 표면 층 (1006) 은 대응하는 RTP 프로세스의 사이클 각각 동안 제거된다. 예를 들어, 제 1 사이클 동안, 개질된 표면 층 (1006) 은 금속 층 (1002') 을 제공하기 위해 금속 층 (1002) 으로부터 제거된다. 제 2 사이클 동안, 개질된 표면 층 (1006') 은 금속 층 (1002'') 을 제공하기 위해 금속 층 (1002') 으로부터 제거된다.

[0065] 본 명세서에 개시된 시스템들은 수많은 방법들을 사용하여 동작될 수도 있고, 예시적인 방법들이 도 11, 도 17, 및 도 18에 예시된다. 도 11은 본 명세서에 기술된 바와 같은 RTP를 구현하는 금속 ALE 방법을 도시한다. 금

속 ALE 방법은 반복적으로 수행될 수도 있는 도 4의 금속 ALE 프로세스를 포함할 수도 있고, 반복 각각은 사이클로 지칭된다. 이하의 동작들은 도 1, 도 2, 및 도 4의 구현 예들에 대해 주로 기술되지만, 동작들은 본 개시의 다른 구현 예들에 적용되도록 용이하게 수정될 수도 있다. 동작들은 반복적으로 수행될 수도 있다. 도 11에 점선들로 도시된 특정한 동작들은 현재 사이클 동안 수행되지 않을 수도 있고 또는 스킵될 수도 있다.

[0066] 방법은 1100에서 시작될 수도 있다. 1102에서, 기판 (예를 들어, 도 1 및 도 2의 기판 (112) 및/또는 300 ㎜ 직경 기판) 이 프로세싱 챔버 내에 배치된다. 1104에서, 기판 지지부 온도들, 챔버 압력들, RF 전력 및 바이어스 전력 레벨들, 가스 플로우 레이트들과 같은 챔버 동작 파라미터들이 설정된다. 동작 1104 동안, 이어지는 동작 1108, 동작 1110 동안 도입될 타입들의 가스들, 증기들, 액체들, 리간드들, 유기 증기들, 등. 동작 1104 동안, 동작 1108, 동작 1110 동안 도입된 가스들, 증기들, 액체들, 리간드들, 유기 증기들, 등의 체적들, 플로우 레이트들, 및/또는 압력들이 또한 결정될 수도 있다. 동작 1114를 위한 에너지 레벨들이 또한 선택될 수도 있다. 언급된 동작 파라미터들은 수행될 금속 ALE 프로세스의 사이클 당 에칭 레이트들을 조정하도록 선택되고 그리고/또는 조정될 수도 있다. 에칭 레이트들은 튜닝 가능하다. 일 실시 예에서, 표면 개질 동작들을 수행하도록 사용된 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들, 및/또는 화학 물질들이 선택되고, 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들 및/또는 화학 물질들의 플로우의 대응하는 체적들, 양들, 압력들, 플로우 레이트들 및 시작, 종료 및/또는 지속 기간 시간들이 결정된다. 이는 플로우가 중단되는 동안의 지속 기간들; 기판이 하나 이상의 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들 및/또는 화학 물질들에 노출되는 지속 기간들; 퍼지 시간들; 및/또는 다른 관련된 타이밍을 포함할 수도 있다. 온도 레벨들과 RTP 에너지 레벨들 및 대응하는 타이밍이 또한 결정될 수도 있다. 언급된 정보는 수행되는 사이클 각각에 대해 결정될 수도 있다.

[0067] 1106에서, 기판의 표면이 세정된다. 예로서 기판은 베이스 층 상에 배치되는 상부 (또는 상단) 층을 포함할 수도 있다. 상부 층은 금속, 금속 옥사이드 또는 금속 나이트라이드를 포함하거나 이로 구성될 수도 있다. 상부 층의 상부 표면은 세정될 수도 있다.

[0068] 1108에서, 예를 들어, 분자 산소 (O_2) 플라즈마, 오존 (O_3), 과산화수소 (H_2O_2), 수증기 플라즈마, 수소 (H_2) 플라즈마, 분자 염소 (Cl_2) 플라즈마, 하이드라진 (N_2H_4), 암모니아 (NH_3) 플라즈마, 및/또는 다른 가스에 금속, 금속 옥사이드, 또는 금속 나이트라이드를 포함하는 기판의 하나 이상의 표면들 및/또는 층들을 노출하는 것을 포함하는 전처리가 수행될 수도 있다. 표면 개질은 화학 물질, 과산화수소 (H_2O_2) 증기, 수 (H_2O) 증기, 하이드라진 (N_2H_4), 및/또는 다른 화학 반응 물질의 플로우와 같은 비플라즈마 프로세스를 포함할 수도 있다. 또 다른 실시 예에서, 표면 개질은 분자 산소 (O_2) 플라즈마, 분자 수소 (H_2) 플라즈마, 암모니아 (NH_3) 플라즈마, 물 (H_2O) 플라즈마, 및/또는 다른 플라즈마의 플로우와 같은 플라즈마 프로세스를 포함한다. 예로서, 이는 실온에서 또는 다른 온도들에서 발생할 수도 있는, TiN (Ti^{3+}) 을 TiO2 (Ti^{4+}) 로 변환하기 위해 O_2 플라즈마를 공급하는 것을 포함할 수도 있다. 동작 1108은 금속을 금속 옥사이드 또는 금속 할라이드로 변환하도록 수행될 수도 있다. 이 동작은 탈염소 및 표면 활성화를 위해 수행될 수도 있다. 예로서, 수소 (H_2) 가스 또는 암모니아 (NH_3) 가스 종을 포함하는 플라즈마 가스 혼합물이 프로세싱 챔버에 공급된다. 일 실시 예에서, 표면 개질이 플라즈마 없이 수행되지만, 미리 선택된 화학 물질을 갖는 가스들을 사용하여 수행된다.

[0069] 1109에서, 기판은 선택 가능하게 예열된다. 이는 상기 기술된 바와 같이 기판 지지부의 온도 및/또는 대응하는 프로세싱 챔버 내의 온도를 상승시키는 것을 포함할 수도 있다. 예로서, 기판, 기판 지지부, 및/또는 프로세싱 챔버의 내부의 온도는 미리 결정된 온도 (예를 들어, 200 ℃) 로 상승될 수도 있다. 일 실시 예에서, 동작 1109가 수행되지 않고, 기판은 실온으로 유지된다. 일 실시 예에서, 기판, 기판 지지부 및/또는 프로세싱 챔버의 내부의 온도는 실온 이상이고, 이어지는 동작 1110을 수행한 것의 결과로서 형성될 착체 금속의 비등점 미만이다.

[0070] 1110에서, 하나 이상의 반응성 자유 리간드, 예컨대 헥사플루오로아세틸아세톤 Hhfac 및/또는 아세틸아세톤 Hacac의 도입, 및/또는 기판으로 흡착될 하나 이상의 다른 유기 가스들, 증기들 및/또는 반응 물질들의 도입을 포함하는 원자 흡착이 수행된다. 금속-프리 리간드는 분자 염소 (Cl_2), 에탄올 (EtOH), 및/또는 다른 유기 증기를 포함할 수도 있다. 일 실시 예에서, 금속-프리 리간드는 Cl_2이다. 이 동작은 1108에서 개질된 기판의 하나 이상의 상부 표면들/층들 및/또는 외측 표면들/층들을 금속 착체를 갖는 층으로 변환하는 것을 포함한다. 동작 1110은 예를 들어, 실온 (또는 주위 온도) 이상이고 금속 착체의 비등점 미만의 온도들에서 발생할 수도

있다. 도입된 하나 이상의 리간드들은 에칭될 금속, 금속 옥사이드, 및/또는 금속 나이트라이드, 수행된 전처리, 에칭될 표면/층의 온도, 에칭에 사용된 에너지 레벨, 등에 기초하여 선택될 수도 있다. 이는 상이한 금속들 및/또는 금속 화합물들을 갖는 표면들에 대한 선택적인 에칭 깊이들 및 에칭 레이트들을 포함하는, 정밀하고 매우 선택적인 에칭을 가능하게 한다.

[0071] 1112에서, 대응하는 프로세스 챔버는 가스들이 퍼지된다. 1114에서, 펄싱된 급속 열 어닐링이 예를 들어, 플래시 램프들, 레이저 또는 본 명세서에 기술된 바와 같이 급속하게 펄싱될 수 있는 다른 적합한 램프들 (예를 들어, 적외선 램프들) 을 사용하여 수행된다. 일 실시 예에서, 미리 결정된 양의 열 에너지 (예를 들어, 7 줄 (J) 또는 11 J) 를 제공하는 플래시 램프들이 활용된다. 또 다른 실시 예에서, 펄싱된 레이저가 활용된다.

[0072] 기판의 표면 또는 상부 부분 온도들을 조절하는 것을 포함하여, 적어도 동작 1108 내지 동작 1115가 반복적으로 수행될 수도 있다. 표면 또는 상부 부분의 온도는 1 초에 복수 회 조절될 수도 있다. 펄싱된 급속 열 어닐링은 탈착/제거 목적들을 위해 1114에서 수행된다. 이는 기판의 개질된 부분을 가열하기 위해 하나 이상의 열 에너지 펄스들을 생성하는 것을 포함할 수도 있다. 온도들은 특정한 분자들을 증발시키기 위해 상승될 수도 있다. 급속 열 펄싱은 기판의 표면에서 세정 반응 (clean reaction) 을 인에이블하고, 이는 기판으로부터 금속 착체를 제거한다 (free).

[0073] 예로서, 기판은 에칭될 하프늄 옥사이드를 포함하는 금속 옥사이드 층을 가질 수도 있다. 1108에서, HfO_2를 $HfCl_4$로 변환하기 위해 클로라이드 플라즈마 및/또는 가스를 도입하는 것을 포함하여 염소화가 수행될 수도 있다. 이어서 1110에서, 유기 가스, 화합물, 및/또는 리간드, 예컨대 N, N-디메틸트리메틸실릴아민 (TMSDMA) 또는 Hhfac이 도입될 수도 있다. 1114에서, TMSDMA 등이 1110에서 도입되었다면, 금속 디메틸아미도들 (dimethylamidos) (예를 들어, 금속-디메틸아민 ($Hf(DMA)_4$)) 및 매우 휘발성인 액체 (예를 들어, 트리메틸실릴 클로라이드 TMSCl) 가 제거될 수도 있다. $Hf(DMA)_4$ 및 TMSCl은 TMSDMA가 1110에서 도입되었다면 제거될 수도 있다. 금속 디메틸아미도들은 휘발성이고, 증기 전구체로서 사용될 수도 있다. 기술된 방법은 고 비등점 금속 할라이드를 휘발성 유기금속 화합물들 및 유기실리콘 화합물 (또는 휘발성 액체) 로 변환함으로써 $HfCl_4$ (또는 금속 클로라이드) 와 같은 고 비등점 할라이드들을 제거하기 위해 수행될 수도 있다. 1114에서, Hhfac이 1110에서 도입되었다면 $Hf(hfac)_4$ 및 HCl이 제거될 수도 있다.

[0074] 또 다른 예로서, 기판은 에칭될 하프늄 층 또는 하프늄 옥사이드 층과 같은, 금속 층 또는 금속 옥사이드 층을 가질 수도 있다. 1108에서, 산소 플라즈마가 도입될 수도 있고, 1110에서 Hhfac의 도입이 이어질 수도 있다. 1114에서, $Hf(hfac)_4$ 및 H_2O가 제거될 수도 있다.

[0075] 또 다른 예로서, 기판은 에칭될 하프늄 층 또는 하프늄 옥사이드 층과 같은, 금속 층 또는 금속 옥사이드 층을 가질 수도 있다. 1108에서, 수소 플라즈마 및 선택 가능하게 산소 플라즈마가 도입될 수도 있고, 1110에서 Hhfac의 도입이 이어질 수도 있다. 1114에서, $Hf(hfac)_4$, H_2O 및 H_2가 제거될 수도 있다.

[0076] 상기 언급된 동작들을 수행할 때 무기 염 또는 부가적인 금속 착체는 생성되지 않는다. 예를 들어, 금속 전구체가 도입될 때 부가적인 금속 착체가 생성될 수 있다. 상기 동작들은 금속 전구체의 도입을 포함하지 않는다. 불완전한 유기 잔여물은 1115에서와 같은 표면 리프레시 동작에서 수소 플라즈마 또는 산소 플라즈마를 도입함으로써 용이하게 세정될 수도 있다.

[0077] 기판의 베이스 및/또는 벌크는 동작 1114 동안 미리 결정된 온도 이하 (예를 들어, 20 ℃ 이하) 로 유지된다. RTP는 일 프로세싱 챔버 구성을 고 쓰루풋 (throughput) 으로 사용되게 한다. 복수의 프로세싱 동작들이 단일 프로세싱 챔버에서 수행될 수도 있다. 또 다른 예로서, 펄스들 각각은 길이가 0.1 밀리초 (ms) 일 수도 있고, 기판의 표면 및/또는 일부의 온도는 1000 ℃까지 상승될 수도 있다.

[0078] 일부 예들에서, 플래시 램프 펄스들 각각은 5 J/cm^2 내지 80 J/cm^2 (즉, 기판의 단위면적 당 에너지) 를 제공한다. 일부 예들에서, 레이저 펄스들 각각은 5 mJ/cm^2 내지 80 mJ/cm^2를 제공한다. 일부 예들에서, 어닐링은 0.1 ms 내지 20 ms 범위의 미리 결정된 기간 동안 수행된다. 일 실시 예에서, 기판의 표면 또는 상부 부분을 최초 온도로부터 500 ℃보다 높게 가열하고 이어서 1 초 (s) 미만 내에 최초 온도로 다시 냉각시키기 위해, 플래시 램프는 1 ms의 펄스 지속 기간으로 사용되거나, 레이저는 1 피코초 (ps) 의 펄스 지속 기간으로 사용된다.

[0079] 동작들 (1108, 1110, 1114) 은 동작들 (1108 및 1110) 동안 개질된 기판의 표면 및/또는 상부 층의 원자 제거에

의해 제어 가능한 원자를 허용한다. 1114에서 수행된 급속 가열은 플라즈마를 사용하지 않고 등방성 반응을 제공한다. 또한, 청구된 가열은 급속 냉각을 허용하고, 이는 또한 열 예산 문제들을 방지한다.

[0080] 1115에서, 기판의 표면은 이온 충격을 수행하고 기판의 개질된 부분(들)을 제거하기 위해, 퍼지 가스 (예를 들어, 아르곤 (Ar) 가스) 로 프로세스 챔버를 퍼징함으로써 리프레시될 수도 있다. 일 실시 예에서, 프로세싱 챔버는 제공된 급속 열 펄스들의 하나 이상의 연속 쌍들 사이에 퍼지된다. 일 실시 예에서, 가스들은 펄스들의 연속 쌍 각각 사이에 프로세싱 챔버로부터 퍼지된다. 이는 프로세싱 챔버 내에서 복수의 플라즈마 및/또는 가스상 (gas phase) 프로세스들의 수행을 가능하게 한다. 일 실시 예에서, 기판 지지부 냉각은 펄싱된 급속 열 어닐링 동안 기판의 베이스 및/또는 벌크의 온도들을 유지하는 것을 돕도록, 그리고 펄싱된 급속 열 어닐링 수행에 후속하여 기판의 급속 냉각을 돕도록 펄싱된 급속 열 어닐링 동안 그리고/또는 펄싱된 급속 열 어닐링에 후속하여 제공된다.

[0081] 1116에서, 제어기 (180 또는 208) 및/또는 급속 열 펄스 제어기 (182 또는 210) 가 N 회의 사이클들이 완료되었는지 여부를 결정하고, 여기서 N은 1 이상의 정수이다. N 회의 사이클들이 완료되었다면, 동작 1118이 수행되고, 그렇지 않으면 동작 1108이 수행된다. 1118에서, 제어기 (180 또는 210) 는 제 2 (또는 포스트 (post)) 어닐링 동작을 선택 가능하게 수행할 수도 있다. 1119에서, 제어기 (180 또는 210) 는 현재 다이에 대해, 또 다른 프로세스를 수행할지 여부 및/또는 현재 프로세스를 변경 및/또는 반복할지 여부를 결정할 수도 있다. 또 다른 프로세스가 수행될 경우, 동작 1104가 수행될 수도 있고, 그렇지 않으면 도 2의 실시 예에서와 같이 레이저 및 렌즈 회로가 활용될 때 동작 1120이 수행될 수도 있다. 도 1의 실시 예에서와 같이 플래시 램프들이 사용된다면, 방법은 또 다른 프로세스 또는 현재 프로세스의 변화가 수행되지 않을 때 1122에서 종료될 수도 있다. 프로세스가 또 다른 다이에서 수행될 경우, 동작 1124가 수행되고, 그렇지 않으면 방법은 1122에서 종료될 수도 있다.

[0082] 1124에서, 제어기 (208) 는 기판 (112) 의 상이한 다이 위에 있도록 레이저 빔의 상 평면 위치를 변경하기 위해 미러들 (214, 216) 을 이동시킨다. 예로서, 2 cm x 2 cm 레이저 빔이 제 1 다이 위인 것으로부터 제 2 다이 위인 것으로 이동할 수도 있다. 기술된 방법은 기판 상의 수십 내지 수백 개의 다이들에 걸쳐 레이저 빔을 스캔하기 위해 반복적으로 수행될 수도 있다. 미러들 (214, 216) 의 이동은 다이 당 하나 이상의 샷들을 제공하기 위해 레이저 (204) 의 펄싱 반복 레이트들과 동기화될 수도 있다.

[0083] 상기 기술된 동작들은 예시적인 예들을 의미한다. 동작들은 적용 예에 따라 순차적으로, 동기하여, 동시에, 연속적으로, 오버랩핑 시간 기간들 동안 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 또한, 임의의 동작들이 구현 예 및/또는 이벤트들의 시퀀스에 따라 수행되지 않거나 스킵될 수도 있다.

[0084] 도 11의 방법은 도 1 및 도 2의 시스템들을 사용하여 금속 ALE를 수행하는 것으로 기술되었지만, 도 1 및 도 2의 시스템들은 금속 ALD를 수행하도록 사용될 수도 있다. 플래시 램프들 및 레이저와 같은 열원들은, 기판들 상에 단층들을 성장시키도록 사용될 수도 있다. 예를 들어, RTP는 증착 동작들 전 그리고/또는 증착 동작들 동안 제공될 수도 있고, 재료는 제거되기보다는 증착될 (또는 성장할) 수도 있다. 상이한 가스들이 단층들의 성장을 허용하도록 금속 ALD 동안 대응하는 프로세싱 챔버에 제공되고 유지될 수도 있다.

[0085] 도 12는 레이저 (1204), 렌즈 회로 (1206) 및 RTP 제어기 (1210) 를 갖는 제어기 (1208) 를 포함하는 RTP 시스템 (1202) 을 통합하는 기판 프로세싱 시스템 (1200) 의 예를 도시한다. 기판 프로세싱 시스템 (1200) 은 도 2의 기판 프로세싱 시스템 (200) 과 유사하게 동작할 수도 있다. 레이저 (1204) 는 RTP 제어기 (1210) 로부터 수신된 제어 신호에 기반하여 RTP 동작들 동안 RTP 제어기 (1210) 에 의해 펄싱될 (또는 변조될) 수도 있는 열원이다. 이는 금속 ALE 및 금속 ALD 프로세스들 동안 발생할 수도 있다.

[0086] 렌즈 회로 (1206) 는 빔 성형 광학기구 (1212), 제 1 미러 (1214) 및 제 2 미러 (1216) 를 포함하는 Galvano 미러 회로 (1213), 및 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (1218) 를 포함한다. 빔 성형 광학기구 (1212) 는 플랫-탑 (또는 제 1 빔 성형) 광학기구 (1220) 및 회절 (또는 제 2 빔 성형) 광학기구 (1222) 를 포함할 수도 있다. 플랫-탑 광학기구 (1220) 는 레이저 빔이 Gaussian 분포를 갖는 레이저 (1204) 로부터 수신된 레이저 빔을 플랫-탑 빔으로 (예를 들어, 2 센티미터 (cm) x 2 cm 플랫-탑 빔) 변환하도록 사용된다. 레이저 빔의 온도 프로파일은 또한 Gaussian이다. 회절 광학기구 (1222) 는 플랫-탑 광학기구 (1220) 로부터 나오는 플랫-탑 원형 빔을 정사각형 빔으로 변환한다. 정사각형 빔은 기판 상에 대응하는 균일한 온도 분포를 갖는다. 기판 (112) 은 기판 지지부 (예를 들어, 도 1의 기판 지지부 (110)) 상에 배치될 수도 있다.

[0087] 레이저 (1204) 는 펄스 모드 또는 연속파 (CW) 모드로 동작될 수도 있다. 펄스 모드 동안, 빔 성형 광학기구

(1212) 의 출력은 빔 사이즈 조정 디바이스 (1226) 에 바로 제공될 수도 있다. 펄스 모드 동안, RTP 제어기 (1210) 는 펄스 지속 기간이 피코초 또는 나노초 범위 내이도록, 레이저 빔의 펄스 레이트를 제어한다. 음향-광학 변조기 (1223) 는 레이저 (1204) 가 CW 모드에서 동작될 때 포함될 수도 있고, RTP 제어기 (1210) 에 의해 제어될 수도 있다. 일 실시 예에서, RTP 제어기 (1210) 는 음향-광학 변조기 (1223) 에 제공되는 무선 주파수 (Radio Frequency; RF) 제어 신호를 생성한다. RF 제어 신호는 음향-광학 변조기 (1223) 의 결정의 굴절률 변화를 제어하도록 제공된다. 결정의 굴절률은 RF 제어 신호의 주파수에 기초하여 변화한다. 빔 성형 광학기구 (1212) 로부터 음향-광학 변조기 (1223) 로 제공된 레이저 빔은 RF 신호의 주파수에 기초하여 결정에 의해 편향된다. 결정은 레이저 빔의 빔 사이즈 조정 디바이스 (1226) 및/또는 제 1 미러 (1214) 로의 통과를 허용하거나 방지하는 레이저 셔터로서 수행된다. 일 실시 예에서, RTP 제어기 (1210) 는 빔 성형 광학기구 (1212) 로부터 나오는 연속파 레이저 빔이 음향-광학 변조기 (1223) 에 의해 효과적으로 펄싱 (또는 변조) 되도록, RF 제어 신호의 주파수를 제어한다. 레이저 빔은 펄스 각각의 기간이 마이크로초 또는 밀리초 범위 내이도록 펄싱된다. 결과로서, 음향-광학 변조기 (1223) 의 사용은 펄스 당 증가된 가열을 위해 보다 긴 지속 기간 펄스들을 갖는 펄싱된 레이저 빔 생성을 허용한다.

[0088] 빔 사이즈 조정 디바이스 (1226) 는 빔 성형 광학기구 (1212) 와 제 1 미러 (1214) 사이에 배치될 수도 있다. 일 실시 예에서, 빔 사이즈 조정 디바이스 (1226) 는 기판 (112) 상의 다이의 사이즈 이상이도록 사각형 빔의 사이즈를 조정한다. 빔 사이즈 조정 디바이스 (1226) 는 모터로 작동할 수도 있고, 빔 확장기 (1227) 를 포함할 수도 있다.

[0089] RTP 제어기 (1210) 및 Galvano 미러 회로 (1213) 는 X-Y 갈바노미터 스캐닝 시스템으로서 동작할 수도 있다. 제 1 미러 (1214) 는 제 1 (또는 X) 방향으로 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 레이저 빔을 이동시키도록 사용될 수도 있다. 제 2 미러 (1216) 는 제 2 (또는 Y) 방향으로 기판의 표면에 걸쳐 레이저 빔을 이동시키도록 사용될 수도 있다. 제어기 (1208) 및/또는 RTP 제어기 (1210) 는 모터들 (1230, 1232) 을 통해 미러들 (1214, 1216) 을 이동시킬 수도 있다.

[0090] 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (1218) 는 일련의 평철 렌즈들 (1240, 1242, 1244, 1246) 을 포함할 수도 있다. 특정한 수의 평철 렌즈들이 도시되지만, 상이한 수의 평철 렌즈들이 포함될 수도 있다. 평철 렌즈들 (1240, 1242, 1244, 1246) 의 직경은: 렌즈 (1242) 의 직경이 렌즈 (1240) 의 직경보다 크고; 렌즈 (1244) 의 직경이 렌즈 (1242) 의 직경보다 크고; 그리고 렌즈 (1246) 의 직경이 렌즈 (1244) 의 직경보다 크도록, 평철 렌즈들이 윈도우 어셈블리 (130) 에 보다 가까울수록 증가한다. 평철 렌즈들 (1240, 1242, 1244, 1246) 은 공통 중심선 (1248) 을 갖도록 수직으로 정렬된다. 평철 렌즈들 (1240, 1242, 1244, 1246) 은 몰드 (1250) 내에 고정된 관계로 홀딩된다. 평철 렌즈들 (1240, 1242, 1244, 1246) 은 제 2 미러 (1216) 로부터 수신된 레이저 빔을 기판 (112) 의 표면에 직교하도록 지향시킨다. 레이저 빔이 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 이동되기 때문에, 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (1218) 는 기판 (112) 의 표면과 직교하는 관계로 레이저 빔을 유지한다.

[0091] 예로서, 빔 성형 광학기구 (1212), 음향-광학 변조기 (1223) 및/또는 빔 사이즈 조정 디바이스 (1226) 로부터 나오는 레이저 빔은 제 2 미러 (1216) 의 중심 (1252) 에 포커싱될 수도 있고, 이어서 레이저 빔이 기판 (112) 에 시준되고 제공되는 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (1218) 를 통해 지향될 수도 있다. 제 2 미러 (또는 렌즈) (1216) 의 입력 동공에 레이저를 포커싱하는 것은 기판 (112) 의 상향 대면 표면에 시준된 빔을 제공하는 것을 돕는다.

[0092] 예로서, 레이저 (1204) 에 의해 생성된 레이저 빔은 직경이 355 ㎚일 수도 있다. 레이저 (1204) 는 펄스 모드 또는 CW 모드에서 동작할 수도 있다. 빔 성형 광학기구 (1212), 빔 사이즈 조정 디바이스 (1226) 및 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (1218) 는 기판 (112) 에서 수신되는 2 ㎝ x 2 ㎝ 사각형 빔을 생성할 수도 있다. RTP 제어기 (1210) 는 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 200 ㎐ 스캔을 수행하도록 미러들 (1214, 1216) 을 이동시킬 수도 있다. RTP 제어기 (1210) 는 1 초 시간의 기간 내에 모든 다이들 및/또는 상향 대면 표면적 (예를 들어, 300 ㎜ 직경 기판에 대해, 기판의 2.83×10^5 ㎟ 상향 대면 표면적) 에 걸쳐 스캔할 수도 있다. 이는 예를 들어, 1 초 내에 기판의 160 개의 다이들에 걸친 스캐닝을 포함할 수도 있다. 스캐닝은 레이저 빔을 다이에서 다이로 이동시키는 것 및 미리 결정된 시간 기간 (예를 들어, 레이저 빔의 하나 이상의 펄스들의 전체 기간) 동안 다이 각각을 가열하는 것을 포함한다.

[0093] 기판 프로세싱 시스템 (1200) 은 기판 지지부 (110) 및 기판 (112) 의 온도를 제어하기 위해 사용될 수도 있는, 온도 제어 시스템 (150) 을 포함할 수도 있다. 온도 제어 시스템 (150) 은 기판 지지부 (110) 의 하나 이상의 위치들 또는 존들의 온도들을 센싱하기 위해 하나 이상의 온도 센서들 (156) 을 포함할 수도 있다.

[0094] 도 3에 도시된 바와 같은 텔레센트릭 렌즈 어셈블리를 구현하는데 비용이 많이 들 수 있다. 텔레센트릭 렌즈 어셈블리를 사용하지 않고 레이저 빔이 시준될 수 있다. 예로서 그리고 도 3 및 도 13을 참조하면, 도 3의 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 (218) 는 제거될 수도 있고, 미러 (216) 는 레이저 빔을 시준하기 위해 상 평면 (304) 으로부터 멀리 이동된다. 레이저 빔을 시준하고 광선들이 기판 (112) 으로 지향되는 각도들 (또는 상 평면 (304) 에 직교하는 방향으로부터 멀어지는 각도) 을 최소화하기 위해, 미러 (216) 와 상 평면 (304) 사이의 투과 거리 TD는 최대화되고 그리고/또는 미리 결정된 최소 거리 이상으로 설정된다. 광선들이 상 평면 (304) 에 직교하는 방향으로 지향되면, 기판 (112) 의 표면에 걸친 에칭 레이트 균일성을 위한 이상적인 레이저 빔 조건이 존재한다. 광선들이 직교되는 것의 미리 결정된 작은 범위 내의 각도들 (예를 들어, 90° ± 3° 로 지향되면, 레이저 빔은 미리 결정된 최소 균일성 레벨 이상의 표면 에칭 균일성을 제공하도록 충분히 시준된다. 광선들의 각도들이 미리 결정된 범위 내에 있도록 레이저 빔의 광선들을 지향시키기 위해, 거리 TD는 미리 결정된 길이 (예를 들어, 3 m) 이상으로 설정된다. 거리 TD가 보다 크면, 각도가 보다 작아지고 따라서 레이저 빔이 보다 많이 시준된다. 도 13은 (i) 레이저 빔이 기판 (112) 의 중심으로 지향되고, 그리고 (ii) 레이저 빔이 기판 (112) 의 에지를 향해 지향될 때를 도시한다. 이들 두 투과들 사이의 입사각 (1300) 은 미러 (216) 가 상 평면 (304) 으로부터 멀수록 감소한다.

[0095] 미러 (216) 사이의 거리를 감소시키고 동시에 레이저 빔을 시준하기 위해, 광학 빔 폴딩 어셈블리가 미러 (216) 와 상 평면 (304) 사이에 통합될 수도 있다. 광학 빔 폴딩 어셈블리는 텔레센트릭성 (tele-centricity) 을 개선한다. 이의 예가 도 14에 도시된다. 도 14는 레이저 (1404), 렌즈 회로 (1406) 및 RTP 제어기 (1410) 를 갖는 제어기 (1408) 를 포함하는 RTP 시스템 (1402) 을 통합하는 기판 프로세싱 시스템 (1400) 의 예를 도시한다. 기판 프로세싱 시스템 (1400) 은 도 2의 기판 프로세싱 시스템 (200) 및 도 12의 기판 프로세싱 시스템 (1200) 과 유사하게 동작할 수도 있다. 레이저 (1404) 는 RTP 제어기 (1410) 로부터 수신된 제어 신호에 기초하여 RTP 동작들 동안 RTP 제어기 (1410) 에 의해 펄싱될 (또는 변조될) 수도 있는 열원이다. 이는 ALE 및 ALD 프로세스들 동안 발생할 수도 있다.

[0096] 렌즈 회로 (1406) 는 빔 성형 광학기구 (1412), 제 1 미러 (1414) 및 제 2 미러 (1416) 를 포함하는 Galvano 미러 회로 (1413), 및 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 를 포함한다. 빔 성형 광학기구 (1412) 는 플랫-탑 (또는 제 1 빔 성형) 광학기구 (1420) 및 회절 (또는 제 2 빔 성형) 광학기구 (1422) 를 포함할 수도 있다. 플랫-탑 광학기구 (1420) 는 레이저 빔이 Gaussian 분포를 갖는 레이저 (1404) 로부터 수신된 레이저 빔을 플랫-탑 빔으로 (예를 들어, 2 센티미터 (cm) x 2 cm 플랫-탑 빔) 변환하도록 사용된다. 레이저 빔의 온도 프로파일은 또한 Gaussian이다. 회절 광학기구 (1422) 는 플랫-탑 광학기구 (1420) 로부터 나오는 플랫-탑 원형 빔을 정사각형 빔으로 변환한다. 사각형 빔은 기판 (112) 상에 대응하는 균일한 온도 분포를 갖는다. 기판 (112) 은 프로세싱 챔버 (108) 내의 기판 지지부 상에 배치될 수도 있다.

[0097] 레이저 (1404) 는 펄스 모드 또는 연속파 (CW) 모드로 동작될 수도 있다. 펄스 모드 동안, 빔 성형 광학기구 (1412) 의 출력은 빔 사이즈 조정 디바이스 (1426) 에 바로 제공될 수도 있다. 펄스 모드 동안, RTP 제어기 (1410) 는 펄스 지속 기간이 피코초 또는 나노초 범위 내이도록, 레이저 빔의 펄스 레이트를 제어할 수도 있다. 음향-광학 변조기 (1423) 는 레이저 (1404) 가 CW 모드로 동작될 때 포함될 수도 있다. 음향-광학 변조기 (1423) 는 RTP 제어기 (1410) 에 의해 제어될 수도 있다. 일 실시 예에서, RTP 제어기 (1410) 는 음향-광학 변조기 (1423) 에 제공되는 RF 제어 신호를 생성한다. RF 제어 신호는 음향-광학 변조기 (1423) 의 결정의 굴절률 변화를 제어하도록 제공된다. 결정의 굴절률은 RF 제어 신호의 주파수에 기초하여 변화한다. 빔 성형 광학기구 (1412) 로부터 음향-광학 변조기 (1423) 로 제공된 레이저 빔은 RF 신호의 주파수에 기초하여 결정에 의해 편향된다. 결정은 레이저 빔의 빔 사이즈 조정 디바이스 (1426) 및/또는 제 1 미러 (1414) 로의 통과를 허용하거나 방지하는 레이저 셔터로서 수행된다. 일 실시 예에서, RTP 제어기 (1410) 는 빔 성형 광학기구 (1412) 로부터 나오는 연속파 레이저 빔이 음향-광학 변조기 (1423) 에 의해 효과적으로 펄싱 (또는 변조) 되도록, RF 제어 신호의 주파수를 제어한다. 레이저 빔은 펄스 각각의 기간이 마이크로초 또는 밀리초 범위 내이도록 펄싱된다. 결과로서, 음향-광학 변조기 (1423) 의 사용은 펄스 당 증가된 가열을 위해 보다 긴 지속 기간 펄스들을 갖는 펄싱된 레이저 빔 생성을 허용한다.

[0098] 빔 사이즈 조정 디바이스 (1426) 는 빔 성형 광학기구 (1412) 와 제 1 미러 (1414) 사이에 배치될 수도 있다. 빔 사이즈 조정 디바이스 (1426) 는 기판 (112) 상의 다이의 사이즈 이상이도록 정사각형 빔의 사이즈를 조정할 수도 있다. 빔 사이즈 조정 디바이스 (1426) 는 모터로 작동할 수도 있고, 빔 확장기 (1427) 를 포함할 수도 있다.

[0099] RTP 제어기 (1410) 및 Galvano 미러 회로 (1413) 는 X-Y 갈바노미터 스캐닝 시스템으로서 동작할 수도 있다.

제 1 미러 (1414) 는 제 1 (또는 X) 방향으로 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 레이저 빔을 이동시키도록 사용될 수도 있다. 제 2 미러 (1416) 는 제 2 (또는 Y) 방향으로 기판의 표면에 걸쳐 레이저 빔을 이동시키도록 사용될 수도 있다. 제어기 (1408) 및/또는 RTP 제어기 (1410) 는 모터들 (1430, 1432) 을 통해 미러들 (1414, 1416) 을 이동시킬 수도 있다.

[0100] 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 는 수신된 레이저 빔을 반사하기 위해 일 세트의 미러들을 포함할 수도 있다. 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 는 임의의 수의 미러들을 포함할 수도 있다. 예로서, 4 개의 미러들 (1452, 1454, 1456, 1458) 이 도시된다. 미러들은 상이한 사이즈들을 가질 수도 있고, 상이한 각도들로 위치될 수도 있고, 그리고 하우징 (housing) (1459) 내의 상이한 위치들에 위치될 수도 있다. 하우징 (1459) 은 레이저 빔이 통과되는 제 1 (또는 입력) 윈도우 (1460) 및 제 2 (또는 출력) 윈도우 (1461) 를 가질 수도 있다. 도시된 예에서, 3 개의 레이저 빔들 (1462, 1464, 1466) 이 도시된다; 이들 각각은 각각의 광선들을 갖는다. 3 개의 레이저 빔들은 각각의 시간들로 그리고 미러들 (1414, 1416) 을 각각의 위치들로 이동시킴으로써 제공된다. 임의의 수의 레이저 빔들이 생성될 수도 있다. 일 실시 예에서, Galvano 미러 회로는 하우징 (1459) 내에 포함된다. 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 와 조합된 Galvano 미러 회로 (1413) 또는 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 단독으로 시준 어셈블리로 지칭될 수도 있다.

[0101] 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 는 제 2 미러 (1416) 와 기판 (112) 사이의 거리를 최소화하는 동안 레이저 빔이 제 2 미러 (1416) 로부터 기판 (112) 으로 이동하는 거리를 증가시킨다. 증가된 이동 거리는 기판에 수신되기 전 레이저 빔을 시준한다. 이는 콤팩트 (compact) 설계를 제공한다. 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 는 또한 텔레센트릭 렌즈 어셈블리보다 제조 비용이 저렴하다.

[0102] 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 의 미러들의 세트는 제 2 미러 (1416) 로부터 수신된 레이저 빔이 기판 (112) 의 표면에 대해 직교하도록 (또는 90° 의 미리 결정된 각도 내로) 지향시키기 위해 위치되고 배향된다. 레이저 빔이 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 이동되기 때문에, 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 는 기판 (112) 의 표면과 직교하거나 반-직교하는 (semi-orthogonal) 관계로 레이저 빔을 유지한다.

[0103] 예로서, 빔 성형 광학기구 (1412), 음향-광학 변조기 (1423) 및/또는 빔 사이즈 조정 디바이스 (1426) 로부터 나오는 레이저 빔은 제 2 미러 (1416) 의 중심에 포커싱될 수도 있고, 이어서 레이저 빔이 기판 (112) 에 시준되고 제공되는 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 를 통해 지향될 수도 있다. 제 2 미러 (또는 렌즈) (1416) 의 입력 동공에 레이저를 포커싱하는 것은 기판 (112) 의 상향 대면 표면에 시준된 빔을 제공하는 것을 돕는다.

[0104] 예로서, 레이저 (1404) 에 의해 생성된 레이저 빔은 직경이 355 ㎚일 수도 있다. 레이저 (1404) 는 펄스 모드 또는 CW 모드에서 동작할 수도 있다. 빔 성형 광학기구 (1412), 빔 사이즈 조정 디바이스 (1426) 및 광학 빔 폴딩 어셈블리 (1418) 는 기판 (112) 에서 수신되는 2 ㎝ x 2 ㎝ 사각형 빔을 생성할 수도 있다. RTP 제어기 (1410) 는 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 200 ㎐ 스캔을 수행하도록 미러들 (1414, 1416) 을 이동시킬 수도 있다. RTP 제어기 (1410) 는 1 초 시간의 기간 내에 모든 다이들 및/또는 상향 대면 표면적 (예를 들어, 300 ㎜ 직경 기판에 대해, 기판의 2.83×10^5 $㎜^2$ 상향 대면 표면적) 에 걸쳐 스캔할 수도 있다. 이는 예를 들어, 1 초 내에 기판의 160 개의 다이들에 걸친 스캐닝을 포함할 수도 있다. 스캐닝은 레이저 빔을 다이에서 다이로 이동시키는 것 및 미리 결정된 시간 기간 (예를 들어, 레이저 빔의 하나 이상의 펄스들의 전체 기간) 동안 다이 각각을 가열하는 것을 포함한다.

[0105] 기판 프로세싱 시스템 (1400) 은 기판 지지부 (110) 및 기판 (112) 의 온도를 제어하기 위해 사용될 수도 있는, 온도 제어 시스템 (150) 을 포함할 수도 있다. 온도 제어 시스템 (150) 은 기판 지지부 (110) 의 하나 이상의 위치들 또는 존들의 온도들을 센싱하기 위해 하나 이상의 온도 센서들 (156) 을 포함할 수도 있다.

[0106] ALD 및 ALE의 프로세스들은 펌프/퍼지 동작이 동작 A와 동작 B 사이에 수행되는 것과 함께 제 1 동작 A 이어서 제 2 동작 B를 반복적으로 수행하는 것에 따른다. 이는 활용되는 열원의 타입에 관계 없이 참이다. 예를 들어, 전체 웨이퍼 표면이 포화된 단층을 형성하도록 제 1 가스로 도징될 (dose) 수도 있다. 제 1 가스의 모든 잔여량은 나중에 대응하는 프로세스 챔버로부터 펌핑될 수도 있다. 전체 웨이퍼 표면은 이어서 제 2 가스 및/또는 에너지 소스 (예를 들어, 에너지 이온들 또는 자외선 광자들) 에 노출될 수도 있고, 이어서 생성물 (또는 남아있는) 가스들이 펌핑 아웃된다. 이들 동작들은 이어서 미리 결정된 증착된 막 두께가 획득되거나, 미리 결정된 에칭된 깊이에 도달될 때까지 반복될 수도 있다.

[0107] 레이저 기반 기판 프로세싱을 위해, 미리 결정된 온도로 표면을 가열하기 위해 레이저 빔은 기판의 상향 대면 표면적 (예를 들어, 대략 2800 $㎠$의 상향 대면 표면적을 갖는 직경 300 ㎜의 기판) 보다 훨씬 보다 작은 면적

에 포커싱된다. 또한, 펄싱된 레이저 어닐링을 수행하기 위한 시간의 양 (미리 결정된 수의 피코초 또는 나노초) 은 (i) 전체 웨이퍼의 하나 이상의 상부 표면/외측 표면에 도징하거나, (ii) 프로세싱 챔버의 가스들을 펌핑 아웃하기 위해 통상적으로 필요한 몇 초보다 몇 자릿수 작다.

[0108] 따라서, 상기 개시된 구현 예들을 사용함으로써, 레이저 빔은 기판의 칩 (또는 다이) 사이즈로 포커싱될 수도 있고, 레이저 빔은 이어서 기판의 표면에 걸쳐 스텝핑되고 (stepped), 레이저 빔을 재위치시키기 위해 수반된 시간의 양으로 펄스 동기화된다. 따라서, 레이저 빔은 칩 위에 있을 때 ON되고, 다음 칩으로 전환되는 동안 OFF된다.

[0109] 예를 들어, 칩이 1 ㎝ x 1 ㎝의 상향 대면 표면적을 가지면, 생성된 레이저 빔의 사이즈는 또한 1 ㎝ x 1 ㎝이다. 예로서, 기판의 표면적은 도징될 수도 있고 이어서 가스들이 펌핑 아웃되고, 이후 레이저 빔은 본 명세서에 개시된 기판 프로세싱 시스템들 중 하나를 사용하여 일 칩으로부터 다음 칩으로 스텝핑될 수도 있다. 레이저 빔은 연속으로 칩들 각각에 대해 펄싱 ON될 수도 있다. 기판의 칩들 각각에 대한 레이저 펄싱 ON에 후속하여, 기판은 이어서 다시 도징될 수도 있고, 이 프로세스는 다이 각각에 대해 미리 결정된 에칭 깊이 또는 미리 결정된 증착된 두께에 도달될 때까지 반복될 수도 있다. 레이저 빔은 1 내지 3 초 미만 내에 기판의 모든 칩들에 대해 스텝핑될 수도 있고, 이는 가스 도징 및 가스 퍼징 동작들과 연관된 시간의 양과 유사하다. 따라서, 레이저 어닐링 시간은 감소되고, 기판 쓰루풋은 높고 비용이 많이 들지 않는다. 이는 또한 레이저의 ON 시간, 및 대응하는 도징 및 퍼징과 연관된 시간의 양에 대해 기판의 칩들 상에서 어닐링 프로세스를 수행하는 시간의 비를 감소시킨다.

[0110] 일 실시 예에서, 레이저의 듀티 사이클 (duty cycle) 은 연관된 레이저 빔을 다이에서 다이로 향하게 하는 (steer) 시간과 동기화된다. 예를 들어, 기판 상에 160 개의 2 ㎝ x 2 ㎝의 다이들이 있으면, 레이저 빔의 중심이 레이저 펄스 각각 사이에서 대략 2 ㎝보다 약간 긴 거리 (또는 다이의 폭 + 인접한 다이들 사이의 갭) 로 재위치된다. 전체 기판이 1 초의 시간 기간으로 스캐닝되면, 레이저 펄스 사이클 각각과 연관된 시간은 1/160 초이다.

[0111] 예로서, 전체 기판이 도징될 수도 있고, 가스들은 대응하는 프로세싱 챔버로부터 펌핑되고, 그리고 레이저는 연속으로 다이 각각에 대해 일 다이로부터 펄싱 ON하는 다음 다이로 스텝핑된다. 기판은 이어서 다시 도징될 수도 있고, 프로세스는 반복된다. 이는 신속한 어닐링 프로세스를 제공한다. 전체 기판 표면의 레이저 어닐링이 긴 시간 (예를 들어, 10 분) 이 소요되면, 기판 쓰루풋은 낮고 비용이 많이 들 것이다. 짧은 시간 기간 (예를 들어, 1 초) 에 전체 기판 표면이 스캔되는 레이저 어닐링 프로세스를 제공함으로써, 시간 게이팅 (gating) 항목들은 레이저 어닐링이 아니라 기판 도징 및 가스 퍼징이다.

[0112] 도 15는 레이저 (1504), 렌즈 회로 (1506) 및 RTP 제어기 (1510) 를 갖는 제어기 (1508) 를 포함하는 RTP 시스템 (1502) 을 통합하는 기판 프로세싱 시스템 (1500) 을 도시한다. 기판 프로세싱 시스템 (1500) 은 도 2의 기판 프로세싱 시스템 (200), 도 12의 기판 프로세싱 시스템 (1200) 및/또는 도 14의 기판 프로세싱 시스템 (1400) 과 유사하게 동작할 수도 있다. 레이저 (1504) 는 RTP 제어기 (1510) 로부터 수신된 제어 신호에 기반하여 RTP 동작들 동안 RTP 제어기 (1510) 에 의해 펄싱될 (또는 변조될) 수도 있는 열원이다. 이는 ALE 및 ALD 프로세스들 동안 발생할 수도 있다.

[0113] 렌즈 회로 (1506) 는 빔 성형 광학기구 (1512) 및 미러 (1514) 와 다각형 스캐너 (1516) 중 적어도 하나를 포함한다. 일 실시 예에서, 미러 (1514) 는 포함되고, 다각형 스캐너 (1516) 는 포함되지 않는다. 또 다른 실시 예에서, 미러 (1514) 는 다각형 스캐너 (1516) 의 일 측면으로 구현된다. 다각형 스캐너 (1516) 는 하나 이상의 미러들을 가질 수도 있다. 일 실시 예에서 다각형 스캐너 (1516) 의 측표면 각각은 미러를 갖는다. 도시된 예에서, 다각형 스캐너는 6 개의 측표면들 및 2 개의 단부 표면들을 갖는다. 다각형 스캐너는 임의의 수의 측면들을 가질 수도 있다. 일 실시 예에서, 미러 (1514) 는 도 2, 도 12, 도 14의 모터들 중 하나와 같은 모터를 통해 회전된다. 또 다른 실시 예에서, 다각형 스캐너 (1516) 는 모터를 통해 회전된다.

[0114] 모터는 모터의 샤프트 (shaft) 가 순방향 및 역방향으로 구동될 수도 있도록, 단방향 또는 양방향일 수도 있다. 모터는 레이저 빔이 더 이상 제 1 미러의 제 1 부분으로부터 반사되지 않고, 대신 제 1 미러의 제 2 부분으로부터 반사되도록, 미러 및/또는 다각형 스캐너들을 회전시킬 수도 있다. 모터의 샤프트는 이어서 레이저 빔이 제 1 미러의 제 1 부분으로부터 반사되도록 초기 위치로 돌아갈 수도 있고, 또는 레이저 빔이 상이한 미러로부터 반사되도록 회전될 수도 있다. 일 실시 예에서, 모터는 단방향이고, 따라서 모터의 샤프트는 동일한 방향으로 회전된다. 기판을 재스캐닝할 때 샤프트를 역방향으로 회전시키고 초기 위치로 돌아가는 대신, 다각형 스캐너는 레이저 빔이 다각형 스캐너 상의 다음 인접 미러로부터 반사되도록 회전될 수도 있다. 이는 초기 위치로 돌

아가는 것과 동일한 효과를 가질 수 있다.

[0115] 빔 성형 광학기구 (1512) 는 플랫-탑 (또는 제 1 빔 성형) 광학기구 (1520) 및 제 2 빔 성형 광학기구 (1522) 를 포함할 수도 있다. 플랫-탑 광학기구 (1520) 는 레이저 빔이 Gauss 분포를 갖는 레이저 (1504) 로부터 수신된 레이저 빔을 플랫-탑 빔으로 변환하도록 사용된다. 레이저 빔의 온도 프로파일은 또한 Gaussian이다. 제 2 빔 성형 광학기구 (1522) 는 플랫-탑 광학기구 (1520) 로부터의 플랫-탑 원형 빔을 도 16에 도시된 바와 같이 타원-형상 단면을 갖는 라인 빔 (1524) 으로 변환한다. 라인 빔 (1524) 은 제 1 (또는 x) 방향으로의 Gaussian 강도 및/또는 온도 분포 및 제 2 (또는 y) 방향으로의 실질적으로 "플랫-탑 (flat-top)" 또는 균일한 강도 및/또는 온도 분포를 가질 수도 있다. 라인 빔 (1524) 의 y 방향 단면의 길이 L1은 기판 (112) 의 직경보다 클 수도 있다. 예로서, 길이 L1은 320 ㎜일 수도 있고, 기판의 직경은 300 ㎜일 수도 있다. 일 실시 예에서, 라인 빔 (1524) 은 (i) 라인 빔 (1524) 의 중심 부분 (1500) 에 실질적으로 "플랫-탑" 또는 균일한 강도를 갖고 기판 (112) 의 표면 위에 균일한 온도 분포를 제공하고, 그리고 (ii) 중심 부분 (1500) 으로부터 기판 (112) 의 방사상으로 최외측 에지 (1504) 까지 강도 분포가 급격히 감소하는 단부 부분들 (1502) 을 갖는다. 도 16에서, 라인 빔 (1524) 의 단면의 중심 부분 (1500) 은 기판 (112) 의 직경과 동일하거나 거의 동일한 길이 L2를 갖는다. 기판 (112) 은 기판 지지부 (예를 들어, 도 1의 기판 지지부 (110)) 상에 배치될 수도 있다.

[0116] 도 15에 도시된 예에서, 다각형 스캐너 (1516) 는 3 개의 회전된 위치들로 도시되고, 이 중 2 개는 점선 표현들 (1516' 및 1516'') 에 의해 예시된다. 표현들 (1516' 및 1516'') 이 다각형 스캐너 (1516) 의 좌측 및 우측에 도시되지만, 실제로 다각형 스캐너는 고정되고, 기판 (112) 위를 스캔하도록 단순히 회전된다. 이는 신속한 스캔 (즉, 짧은 스캔 시간) 을 위해 기판 (112) 에 걸쳐 라인 빔의 1 차원 이동을 제공한다. 텔레센트릭 렌즈 어셈블리 및/또는 광학 빔 폴딩 어셈블리는 도 15의 실시 예에 활용되지 않는다.

[0117] 레이저 (1504) 는 펄스 모드 또는 연속파 (CW) 모드로 동작될 수도 있다. 펄스 모드 동안, 빔 성형 광학기구 (1512) 의 출력은 빔 사이즈 조정 디바이스 (1526) 에 바로 제공될 수도 있다. 펄스 모드 동안, RTP 제어기 (1510) 는 펄스 지속 기간이 피코초 또는 나노초 범위 내이도록, 레이저 빔의 펄스 레이트를 제어할 수도 있다. 음향-광학 변조기 (1523) 는 레이저 (1504) 가 CW 모드로 동작될 때 포함될 수도 있다. 음향-광학 변조기 (1523) 는 RTP 제어기 (1510) 에 의해 제어될 수도 있다. 일 실시 예에서, RTP 제어기 (1510) 는 음향-광학 변조기 (1523) 에 제공되는 RF 제어 신호를 생성한다. RF 제어 신호는 음향-광학 변조기 (1523) 의 결정의 굴절률 변화를 제어하도록 제공된다. 결정의 굴절률은 RF 제어 신호의 주파수에 기초하여 변화한다. 빔 성형 광학기구 (1512) 로부터 음향-광학 변조기 (1523) 로 제공된 레이저 빔은 RF 신호의 주파수에 기초하여 결정에 의해 편향된다. 결정은 빔 사이즈 조정 디바이스 (1526), 미러 (1514) 및/또는 다각형 스캐너 (1516) 로의 레이저 빔의 통과를 허용하거나 방지하는 레이저 셔터로서 수행된다. 일 실시 예에서, RTP 제어기 (1510) 는 빔 성형 광학기구 (1512) 로부터 나오는 연속파 레이저 빔이 음향-광학 변조기 (1523) 에 의해 효과적으로 펄싱 (또는 변조) 되도록, RF 제어 신호의 주파수를 제어한다. 레이저 빔은 펄스 각각의 기간이 마이크로초 또는 밀리초 범위 내이도록 펄싱된다. 결과로서, 음향-광학 변조기 (1523) 의 사용은 펄스 당 증가된 가열을 위해 보다 긴 지속 기간 펄스들을 갖는 펄싱된 레이저 빔 생성을 허용한다.

[0118] 빔 사이즈 조정 디바이스 (1526) 는 빔 성형 광학기구 (1512) 와 미러 (1514) 및/또는 다각형 스캐너 (1516) 사이에 배치될 수도 있다. 빔 사이즈 조정 디바이스 (1526) 는 기판 (112) 의 직경보다 크도록 라인 빔의 사이즈를 조정할 수도 있다. 빔 사이즈 조정 디바이스 (1526) 는 모터로 작동할 수도 있고, 빔 확장기 (1527) 를 포함할 수도 있다.

[0119] RTP 제어기 (1510), 미러 (1514) 및/또는 다각형 스캐너 (1516) 는 1 차원 스캐닝 시스템으로 동작할 수도 있다. 미러 (1514) 및/또는 다각형 스캐너 (1516) 는 예를 들어, 제 1 (또는 X) 방향으로 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 레이저/라인 빔 (1524) 을 이동시키도록 회전될 수도 있다. 제어기 (1508) 및/또는 RTP 제어기 (1510) 는 기판 (112) 의 표면에 걸쳐 스캔하기 위해 상기 기술된 바와 같이, 대응하는 모터를 통해 미러 (1514) 및/또는 다각형 스캐너 (1516) 를 회전시킬 수도 있다. 기판의 표면 상의 라인 빔의 위치 각각에서, 라인 빔은 y 방향으로 기판 (112) 의 다이들의 부분들을 가열한다. 라인 빔의 위치 각각에서 하나 이상의 펄스들이 생성될 수도 있다. 라인 빔은 기판 (112) 으로부터 재료의 미리 결정된 두께 (또는 두께들) 를 제거하기 위해 복수 회 표면에 걸쳐 순환될 수도 있다.

[0120] 도 16은 원형 빔 (1610) 및 라인 빔 (1624) 의 단면도들을 도시한다. 빔 성형 광학기구 (1512) 는 도 15의 레이저 (1504) 로부터 출력될 수도 있는 원형 빔 (1610) 을 라인 빔 (1524) 으로 변환한다. 라인 빔은 타원-형상 단면을 갖고, x 방향으로 Gaussian 분포 및 y 방향으로 실질적으로 균일한 분포를 가질 수도 있다. 예로서, 라

인 빔이 기판 (112) 의 중심으로 지향될 때와 라인 빔이 기판 (112) 의 방사상으로 최외곽 에지 근방의 지점으로 지향될 때 사이의 입사각은 8.53° 일 수도 있다. 중심 위치에서 라인 빔의 정상 에너지 밀도는 1일 수도 있고, 방사상으로 최외곽 에지 위치에서 0.989일 수도 있다. 두 위치들 사이의 빔 사이즈 편차는 1.12 ㎛일 수도 있다.

[0121] 도 17은 본 명세서에 기술된 바와 같이 비급속 열 펄싱 및/또는 비펄싱된 (일정한) 열 어닐링을 구현하는 금속 ALE 방법을 도시한다. 금속 ALE 방법은 반복적으로 수행될 수도 있는 도 4의 금속 ALE 프로세스를 포함할 수도 있고, 반복 각각은 사이클로 지칭된다. 이하의 동작들은 도 1, 도 2, 및 도 4의 구현 예들에 대해 주로 기술되지만, 동작들은 본 개시의 다른 구현 예들에 적용되도록 용이하게 수정될 수도 있다. 동작들은 반복적으로 수행될 수도 있다. 도 17에서 점선들로 도시된 특정한 동작들은 현재 사이클 동안 수행되지 않을 수도 있고 또는 스킵될 수도 있다.

[0122] 방법은 1700에서 시작될 수도 있다. 1702에서, 기판 (예를 들어, 도 1 및 도 2의 기판 (112) 및/또는 300 ㎜ 직경 기판) 이 프로세싱 챔버 내에 배치된다. 1704에서, 기판 지지부 온도들, 챔버 압력들, RF 전력 및 바이어스 전력 레벨들, 및 가스 플로우 레이트들과 같은 챔버 동작 파라미터들이 설정된다. 동작 1704 동안, 다음의 동작 1708, 동작 1710 동안 도입될 타입들의 가스들, 증기들, 액체들, 리간드들, 유기 증기들, 등. 동작 1704 동안, 동작 1708, 동작 1710 동안 도입된 가스들, 증기들, 액체들, 리간드들, 유기 증기들, 등의 체적들, 플로우 레이트들, 및/또는 압력들이 또한 결정될 수도 있다. 동작 1714를 위한 에너지 레벨들이 또한 선택될 수도 있다. 언급된 동작 파라미터들은 수행될 금속 ALE 프로세스의 사이클 당 에칭 레이트들을 조정하도록 선택되고 그리고/또는 조정될 수도 있다. 에칭 레이트들은 튜닝 가능하다. 일 실시 예에서, 표면 개질 동작들을 수행하도록 사용된 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들, 및/또는 화학 물질들이 선택되고, 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들 및/또는 화학 물질들의 플로우의 대응하는 체적들, 양들, 압력들, 플로우 레이트들 및 시작, 종료 및/또는 지속 기간 시간들이 결정된다. 이는 플로우가 중단되는 동안의 지속 기간들; 기판이 하나 이상의 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들 및/또는 화학 물질들에 노출되는 지속 기간들; 퍼지 시간들; 및/또는 다른 관련된 타이밍을 포함할 수도 있다. 온도 레벨들과 RTP 에너지 레벨들 및 대응하는 타이밍이 또한 결정될 수도 있다. 언급된 정보는 수행되는 사이클 각각에 대해 결정될 수도 있다.

[0123] 1706에서, 기판의 표면이 세정된다. 예로서 기판은 베이스 층 상에 배치되는 상부 (또는 상단) 층을 포함할 수도 있다. 상부 층은 금속, 금속 옥사이드 또는 금속 나이트라이드를 포함하거나 이로 구성될 수도 있다. 상부 층의 상부 표면은 세정될 수도 있다.

[0124] 1708에서, 예를 들어, 분자 산소 (O_2) 플라즈마, 오존 (O_3), 과산화수소 (H_2O_2), 수증기 플라즈마, 수소 (H_2) 플라즈마, 분자 염소 (Cl_2) 플라즈마, 하이드라진 (N_2H_4), 암모니아 (NH_3) 플라즈마, 및/또는 다른 가스에 금속, 금속 옥사이드, 또는 금속 나이트라이드를 포함하는 기판의 하나 이상의 표면들 및/또는 층들을 노출하는 것을 포함하는 전처리가 수행된다. 표면 개질은 화학 물질, 과산화수소 (H_2O_2) 증기, 수 (H_2O) 증기, 하이드라진 (N_2H_4), 및/또는 다른 화학 반응 물질의 플로우와 같은 비플라즈마 프로세스를 포함할 수도 있다. 또 다른 실시 예에서, 표면 개질은 분자 산소 (O_2) 플라즈마, 분자 수소 (H_2) 플라즈마, 암모니아 (NH_3) 플라즈마, 물 (H_2O) 플라즈마, 및/또는 다른 플라즈마의 플로우와 같은 플라즈마 프로세스를 포함한다. 동작 1708은 금속을 금속 옥사이드 또는 금속 할라이드로 변환하도록 수행될 수도 있다. 예로서, 이는 실온에서 또는 다른 온도들에서 발생할 수도 있는, TiN (Ti^{3+}) 을 TiO_2 (Ti^{4+}) 로 변환하기 위해 O_2 플라즈마를 공급하는 것을 포함할 수도 있다. 이 동작은 탈염소 및 표면 활성화를 위해 수행될 수도 있다. 예로서, 수소 (H_2) 가스 또는 암모니아 (NH_3) 가스 종을 포함하는 플라즈마 가스 혼합물이 프로세싱 챔버에 공급된다. 일 실시 예에서, 표면 개질이 플라즈마 없이 수행되지만, 미리 선택된 화학 물질을 갖는 가스들을 사용하여 수행된다.

[0125] 1709에서, 기판은 선택 가능하게 예열된다. 이는 상기 기술된 바와 같이 기판 지지부 (또는 이의 플레이트) 의 온도 및/또는 대응하는 프로세싱 챔버 내의 온도를 상승시키는 것을 포함할 수도 있다. 예로서, 기판, 기판 지지부, 및/또는 프로세싱 챔버의 내부의 온도는 미리 결정된 온도 (예를 들어, 200 ℃) 로 상승될 수도 있다. 일 실시 예에서, 동작 1709가 수행되지 않고, 기판은 실온으로 유지된다. 일 실시 예에서, 기판, 기판 지지부 및/또는 프로세싱 챔버의 내부의 온도는 실온 이상이고, 이어지는 동작 1710을 수행한 것의 결과로서 형성될 착체 금속의 비등점 미만이다.

[0126] 1710에서, 하나 이상의 반응성 자유 리간드, 예컨대 헥사플루오로아세틸아세톤 Hhfac 및/또는 아세틸아세톤

Hacac의 도입, 및/또는 기판으로 흡착될 하나 이상의 다른 유기 가스들, 증기들 및/또는 반응 물질들의 도입을 포함하는 원자 흡착이 수행된다. 금속-프리 리간드는 분자 염소 (Cl_2), 에탄올 (EtOH), 및/또는 다른 유기 증기를 포함할 수도 있다. 일 실시 예에서, 금속-프리 리간드는 Cl_2이다. 이 동작은 1708에서 개질된 기판의 하나 이상의 상부 표면들/층들 및/또는 외측 표면들/층들을 금속 착체를 갖는 층으로 변환하는 것을 포함한다. 동작 1710은 예를 들어, 실온 (또는 주위 온도) 이상이고 금속 착체의 비등점 미만의 온도들에서 발생할 수도 있다. 도입된 하나 이상의 리간드들은 에칭될 금속, 금속 옥사이드, 및/또는 금속 나이트라이드, 수행된 전처리, 에칭될 표면/층의 온도, 에칭에 사용된 에너지 레벨, 등에 기초하여 선택될 수도 있다. 이는 상이한 금속들 및/또는 금속 화합물들을 갖는 표면들에 대한 선택적인 에칭 깊이들 및 에칭 레이트들을 포함하는, 정밀하고 매우 선택적인 에칭을 가능하게 한다.

[0127] 1712에서, 대응하는 프로세스 챔버는 가스들이 퍼지된다. 1714에서, 연장된 (또는 긴) 펄싱되거나 비펄싱된 열 어닐링이 수행된다. 이는 예를 들어, 기판 지지부를 가열하고 그리고/또는 플래시 램프들, 레이저 또는 연장된 길이 가열 펄스들을 제공할 수 있는 다른 적합한 램프들 (예를 들어, 적외선 램프들) 을 사용하는 것을 포함할 수도 있다. 기판 지지부는 예를 들어, 250 ℃ 내지 400 ℃의 온도로 가열될 수도 있다. Cl_2는 400 ℃보다 높은 온도들에서 기판의 표면과 반응하지 않을 수도 있다. 연장된 길이 가열 펄스들은 미리 결정된 길이보다 길고, 예를 들어, 펄스들은 각각 플래시 램프가 사용될 때 20 ms보다 길 수도 있고 레이저가 사용될 때 20 ps보다 길 수도 있다. 가열은 미리 결정된 시간 기간 동안 제공될 수도 있고, 이어서 제거될 수도 있다. 일 실시 예에서, 가열 펄스들이 제공되지 않고, 기판 지지부 및/또는 프로세싱 챔버가 가열된다.

[0128] 기판의 표면 (또는 상부 부분) 온도들을 조절하는 것을 포함하여, 적어도 동작 1708 내지 동작 1715가 반복적으로 수행될 수도 있다. 열 어닐링은 탈착/제거 목적들을 위해 1714에서 수행된다. 온도들은 특정한 분자들을 증발시키기 위해 상승될 수도 있다.

[0129] 상기 언급된 동작들을 수행할 때 무기 염 또는 부가적인 금속 착체는 생성되지 않는다. 예를 들어, 금속 전구체가 도입될 때 부가적인 금속 착체가 생성될 수 있다. 상기 동작들은 금속 전구체의 도입을 포함하지 않는다. 불완전한 유기 잔여물은 1715에서와 같은 표면 리프레시 동작에서 수소 플라즈마 또는 산소 플라즈마를 도입함으로써 용이하게 세정될 수도 있다.

[0130] 1715에서, 기판의 표면은 이온 충격을 수행하고 기판의 개질된 부분(들)을 제거하기 위해, 퍼지 가스 (예를 들어, 아르곤 (Ar) 가스) 로 프로세스 챔버를 퍼징함으로써 리프레시될 수도 있다. 일 실시 예에서, 프로세싱 챔버는 제공된 급속 열 펄스들의 하나 이상의 연속 쌍들 사이에 퍼지된다. 일 실시 예에서, 가스들은 펄스들의 연속 쌍 각각 사이에 프로세싱 챔버로부터 퍼지된다. 이는 프로세싱 챔버 내에서 복수의 플라즈마 및/또는 가스상 프로세스들의 수행을 가능하게 한다. 일 실시 예에서, 기판 지지부 냉각은 펄싱된 급속 열 어닐링 동안 기판의 베이스 및/또는 벌크의 온도들을 유지하는 것을 돕도록, 그리고 펄싱된 급속 열 어닐링 수행에 후속하여 기판의 급속 냉각을 돕도록 펄싱된 급속 열 어닐링 동안 그리고/또는 펄싱된 급속 열 어닐링에 후속하여 제공된다.

[0131] 1716에서, 제어기 (180 또는 208) 는 N 회의 사이클들이 완료되었는지 여부를 결정하고, 여기서 N은 1 이상의 정수이다. N 회의 사이클들이 완료되었다면, 동작 1718이 수행되고, 그렇지 않으면 동작 1708이 수행된다. 1718에서, 제어기 (180 또는 210) 는 제 2 (또는 포스트) 어닐링 동작을 선택 가능하게 수행할 수도 있다. 1719에서, 제어기 (180 또는 210) 는 현재 다이에 대해, 또 다른 프로세스를 수행할지 여부 및/또는 현재 프로세스를 변경 및/또는 반복할지 여부를 결정할 수도 있다. 또 다른 프로세스가 수행될 경우, 동작 1704가 수행될 수도 있고, 그렇지 않으면 도 2의 실시 예에서와 같이 레이저 및 렌즈 회로가 활용될 때 동작 1720이 수행될 수도 있다. 도 1의 실시 예에서와 같이 플래시 램프들이 사용된다면, 방법은 또 다른 프로세스 또는 현재 프로세스의 변화가 수행되지 않을 때 1722에서 종료될 수도 있다. 프로세스가 또 다른 다이에서 수행될 경우, 동작 1724가 수행되고, 그렇지 않으면 방법은 1722에서 종료될 수도 있다.

[0132] 1724에서, 제어기 (208) 는 기판 (112) 의 상이한 다이 위에 있도록 레이저 빔의 상 평면 위치를 변경하기 위해 미러들 (214, 216) 을 이동시킨다. 예로서, 2 ㎝ x 2 ㎝ 레이저 빔이 제 1 다이 위인 것으로부터 제 2 다이 위인 것으로 이동할 수도 있다. 기술된 방법은 기판 상의 수십 내지 수백 개의 다이들에 걸쳐 레이저 빔을 스캔하기 위해 반복적으로 수행될 수도 있다. 미러들 (214, 216) 의 이동은 다이 당 하나 이상의 샷들을 제공하기 위해 레이저 (204) 의 펄싱 반복 레이트들과 동기화될 수도 있다.

[0133] 상기 기술된 동작들은 예시적인 예들을 의미한다. 동작들은 적용 예에 따라 순차적으로, 동기하여, 동시에, 연

속적으로, 오버랩핑 시간 기간들 동안 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 또한, 임의의 동작들이 구현 예 및/또는 이벤트들의 시퀀스에 따라 수행되지 않거나 스킵될 수도 있다.

[0134] 상기 기술된 방법은 플라즈마 에칭 동안 제공된 것보다 개선된 ALE 두께 제어로 고 쓰루풋을 갖는 매우 선택적인 ALE를 제공한다. 예들은 자기-제한 프로세스를 제공하고, TiO_2를 공격하고 TiN과 반응하지 않는, Cl_2를 도입하는 것을 포함한다. Ti를 산화된 상태로 변환하기 위한 O_2 플라즈마의 도입은 효과적이고 빠른 프로세스이고, TiO_2를 제거하기 위한 Cl_2의 도입은 잔여물을 남기지 않는다. 또한, Cl_2는 SiO_2와 반응하지 않는다.

[0135] 비아의 충진 부분은 BEOL (Back-End-Of-Line) 프로세스에서 대부분의 저항에 기여할 수 있다. 이 저항을 감소시키기 위해, 비아의 하단 부분은 도 18의 다음의 방법을 사용하여 제거될 수도 있고, 이는 금속 열 펄싱을 사용하여 지향된 이방성 BEOL 배리어 제거 방법으로 지칭될 수도 있다. 이는 금속 나이트라이드 층의 부분들의 선택적인 제거를 위해 사용될 수도 있는 이 직접적인 리간드 프로세스이다. 부분들은 하부층에 대한 손상 없이 제거된다. 전도성 라인 (예를 들어, 구리 (Cu) 라인) 의 포함으로 인한 열 예산 문제 또한 없다. 예로서, 비아의 하단부의 상단 층은 비아의 측벽들을 남기면서 제거될 수도 있다. 비아 외부의 상단 층이 또한 제거될 수도 있다. 이는 도 18의 방법에 대해 이하에 더 기술된다.

[0136] 도 18은 저 챔버 압력 및/또는 플라즈마 압력 제어, 바이어스 전력 제어, 및 RTP 열 어닐링을 구현하는 BEOL 금속 배리어 ALE 방법을 도시한다. 이 방법은 금속 나이트라이드 층의 부분들이 제거될 때 금속 나이트라이드 ALE 방법으로 지칭될 수도 있고, 도 4의 금속 ALE 프로세스를 포함할 수도 있다. 이 방법은 반복적으로 수행될 수도 있고, 여기서 반복 각각은 사이클로 지칭된다. 이하의 동작들은 도 1, 도 2, 도 4, 및 도 19의 구현 예들에 대해 주로 기술되지만, 동작들은 본 개시의 다른 구현 예들에 적용되도록 용이하게 수정될 수도 있다. 도 18에서 점선들로 도시된 특정한 동작들은 현재 사이클 동안 수행되지 않을 수도 있고 또는 스킵될 수도 있다.

[0137] 방법은 1800에서 시작될 수도 있다. 1802에서, 기판 (예를 들어, 도 1 및 도 2의 기판 (112) 및/또는 300 ㎜ 직경 기판) 이 프로세싱 챔버 내에 배치된다. 1804에서, 기판 지지부 온도들, 챔버 압력들, RF 전력 및 바이어스 전력 레벨들, 및 가스 플로우 레이트들과 같은 챔버 동작 파라미터들이 설정된다. 동작 1804 동안, 다음의 동작 1808, 동작 1810 동안 도입될 타입들의 가스들, 증기들, 액체들, 리간드들, 유기 증기들, 등. 동작 1804 동안, 동작 1808, 동작 1810 동안 도입된 가스들, 증기들, 액체들, 리간드들, 유기 증기들, 등의 체적들, 플로우 레이트들, 및/또는 압력들이 또한 결정될 수도 있다. 동작 1814를 위한 에너지 레벨들이 또한 선택될 수도 있다. 언급된 동작 파라미터들은 수행될 금속 ALE 프로세스의 사이클 당 에칭 레이트들을 조정하도록 선택되고 그리고/또는 조정될 수도 있다. 에칭 레이트들은 튜닝 가능하다. 일 실시 예에서, 표면 개질 동작들을 수행하도록 사용된 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들, 및/또는 화학 물질들이 선택되고, 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들 및/또는 화학 물질들의 플로우의 대응하는 체적들, 양들, 압력들, 플로우 레이트들 및 시작, 종료 및/또는 지속 기간 시간들이 결정된다. 이는 플로우가 중단되는 동안의 지속 기간들; 기판이 하나 이상의 가스들, 증기들, 액체들, 플라즈마들 및/또는 화학 물질들에 노출되는 지속 기간들; 퍼지 시간들; 및/또는 다른 관련된 타이밍을 포함할 수도 있다. 온도 레벨들과 RTP 에너지 레벨들 및 대응하는 타이밍이 또한 결정될 수도 있다. 언급된 정보는 수행되는 사이클 각각에 대해 결정될 수도 있다.

[0138] 1806에서, 기판의 표면이 세정된다. 예로서 기판은 베이스 층 상에 배치되는 상부 (또는 상단) 층을 포함할 수도 있다. 상부 층은 금속, 금속 옥사이드 또는 금속 나이트라이드를 포함하거나 이로 구성될 수도 있다. 상부 층의 상부 표면은 세정될 수도 있다.

[0139] 1808에서, 예를 들어, 분자 산소 (O_2) 플라즈마, 오존 (O_3), 과산화수소 (H_2O_2), 수증기 플라즈마, 수소 (H_2) 플라즈마, 분자 염소 (Cl_2) 플라즈마, 하이드라진 (N_2H_4), 암모니아 (NH_3) 플라즈마, 및/또는 다른 가스에 금속, 금속 옥사이드, 또는 금속 나이트라이드를 포함하는 기판의 하나 이상의 표면들 및/또는 층들을 노출하는 것을 포함하는 전처리가 수행된다. 일 실시 예에서, O_2 플라즈마가 도입된다. 또 다른 실시 예에서 H_2 플라즈마가 도입된다. 표면 개질은 화학 물질, 과산화수소 (H_2O_2) 증기, 수 (H_2O) 증기, 하이드라진 (N_2H_4), 및/또는 다른 화학 반응 물질의 플로우와 같은 비플라즈마 프로세스를 포함할 수도 있다. 또 다른 실시 예에서, 표면 개질은 분자 산소 (O_2) 플라즈마, 분자 수소 (H_2) 플라즈마, 암모니아 (NH_3) 플라즈마, 물 (H_2O) 플라즈마, 및/또는 다른 플라즈마의 플로우와 같은 플라즈마 프로세스를 포함한다.

[0140] 이 동작 동안, 플라즈마 챔버 압력 및/또는 내부에 포함된 플라즈마의 압력은 저압 (예를 들어, 미리 결정된 압력보다 낮은 압력) 으로 유지된다. 기판 지지부를 통해 기판을 바이어싱하기 위해 예를 들어, 도 1의 RF 생성

기 (120-2) 를 통해 바이어스 전력 (바이어스 전류 및/또는 전압) 이 공급된다. 예로서, 바이어스 전류 및/또는 전압은 미리 결정된 바이어스 전류 및/또는 전압보다 클 수도 있다. 예로서, 기판의 하나 이상의 부분들이 바이어싱될 수도 있다. 동작 1808은 금속 나이트라이드 층의 선택적인 부분들을 개질하도록 수행될 수도 있다. 기판의 저압들 및 선택적인 바이어싱은 상단 또는 금속 나이트라이드 층에 대한 선택적인 개질을 허용한다. 이제 또한 도 19a를 참조하면, 비아 (1902) 가 형성되는 기판의 부분 (1900) 을 도시한다. 기판은 전도성 하부층 (1904), 중간 층 (1906), 및 상단 층 (1908) 을 포함한다. 중간 층 (1906) 은 유전체 층일 수도 있고, 유전체 재료로 형성될 수도 있다. 중간 층 (1906) 은 홀 (1910) 을 포함한다. TaN 또는 TiN과 같은 금속 나이트라이드로 형성될 수도 있는 상단 층 (1908) 은 중간 층 (1906) 의 상단 표면과 콘택트하고 이를 가로질러 배치되고, 그리고 홀 (1910) 의 일부를 충진한다. 상단 층 (1908) 은 홀 (1910) 의 측벽들 (1912) 및 하단부 (1914) (또는 홀 (1910) 내의 전도성 층 (1904) 의 상단 부분) 상에 있다. 중간 층 (1906) 은 전도성 하부층 (1904) 과 콘택트하고 상부에 배치된다. 전도성 하부층 (1904) 은 구리 (Cu), 코발트 (Co) 및/또는 하나 이상의 다른 적합한 전도성 재료들로 형성될 수도 있다.

[0141] 동작 1808 동안, 중간 층 (1906) 의 상단 표면과 콘택트하는 상단 층 (1908) 의 부분 (1920) 및 홀 (1910) 내에 있는 전도성 하부층 (1904) 의 상단 표면의 부분 (1922) 은 동작 1814 동안 제거를 위해 개질된다. 상단 층 (1908) 의 측벽 부분 (1930) 은 홀 (1910) 내에 남는다. 동작 1808 및 동작 1814의 결과가 도 19b에 도시된다. 도 18의 방법에 후속하여, 측벽 (1930) 을 갖는 홀 (1910) 은 도 19c에 도시된 바와 같이 비아 (1902) 를 형성하도록 전도성 재료 (1940) 로 충진될 수도 있다. 전도성 재료는 Cu, Co 및/또는 다른 적합한 전도성 재료일 수도 있다.

[0142] 동작 1808 동안 그리고 일 실시 예에서, 기판에 공급된 바이어스 전력 및 저 프로세스 챔버 압력을 갖는 O_2 플라즈마가 제공될 수도 있다. 플라즈마로부터 산화 이온들이 추출될 수도 있고, 기판은 산화 이온들의 방향성 충격을 제공하도록 충분히 고 전압으로 바이어싱될 수도 있다. 또 다른 실시 예에서, 과산화수소 (H_2O_2) 및/또는 오존 (O_3) 이 저압으로 제공된다. O_2는 O_3와 비교하여 상승된 에칭 레이트를 제공할 수도 있다. 또 다른 실시 예에서, 제공된 플라즈마, 프로세스 챔버, 및/또는 공급된 하나 이상의 가스들은 저압이다. 일 실시 예에서, 바이어스 전력이 제공되지 않는다. 일 실시 예에서, 하단 부분 (1922) 은 산화되거나 수소화되고, 측벽 부분 (1930) 은 산화되거나 수소화되지 않는다. 산화되거나 수소화된 영역들은 Cl_2 및/또는 금속-프리 리간드들에 대해 반응성이고, 급속 열 펄싱에 의해 제거될 휘발성 종으로 변환될 수 있다.

[0143] 1809에서, 기판은 선택 가능하게 예열된다. 이는 상기 기술된 바와 같이 기판 지지부의 온도 및/또는 대응하는 프로세싱 챔버 내의 온도를 상승시키는 것을 포함할 수도 있다. 예로서, 기판, 기판 지지부, 및/또는 프로세싱 챔버의 내부의 온도는 미리 결정된 온도 (예를 들어, 200 ℃) 로 상승될 수도 있다. 일 실시 예에서, 동작 1809가 수행되지 않고, 기판은 실온으로 유지된다. 일 실시 예에서, 기판, 기판 지지부 및/또는 프로세싱 챔버의 내부의 온도는 실온 이상이고, 이어지는 동작 1810을 수행한 것의 결과로서 형성될 착체 금속의 비등점 미만이다.

[0144] 1810에서, 하나 이상의 반응성 자유 리간드, 예컨대 헥사플루오로아세틸아세톤 Hhfac 및/또는 아세틸아세톤 Hacac의 도입, 및/또는 기판 내로 흡착될 하나 이상의 다른 유기 가스들, 증기들 및/또는 반응 물질들의 도입을 포함하는 원자 흡착이 수행된다. 금속-프리 리간드는 분자 염소 (Cl_2), 에탄올 (EtOH), 및/또는 다른 유기 증기를 포함할 수도 있다. 일 실시 예에서, 금속-프리 리간드는 Cl_2이다. 이 동작은 1808에서 개질된 기판의 하나 이상의 상부 표면들/층들 및/또는 외측 표면들/층들을 금속 착체를 갖는 층으로 변환하는 것을 포함한다. 동작 1810은 예를 들어, 실온 (또는 주위 온도) 이상이고 금속 착체의 비등점 미만의 온도들에서 발생할 수도 있다. 도입된 하나 이상의 리간드들은 에칭될 금속, 금속 옥사이드, 및/또는 금속 나이트라이드, 수행된 전처리, 에칭될 표면/층의 온도, 에칭에 사용된 에너지 레벨, 등에 기초하여 선택될 수도 있다. 이는 부분들 (1920, 1922) 의 정밀하고 매우 선택적인 에칭을 가능하게 한다.

[0145] 1812에서, 대응하는 프로세스 챔버는 가스들이 퍼지된다. 1814에서, 펄싱된 급속 열 어닐링은 예를 들어, 플래시 램프들, 레이저 또는 본 명세서에 기술된 바와 같이 급속하게 펄싱될 수 있는 다른 적합한 램프들 (예를 들어, 적외선 램프들) 을 사용하여 수행된다. 일 실시 예에서, 미리 결정된 양의 열 에너지 (예를 들어, 7 줄 (J) 또는 11 J) 를 제공하는 플래시 램프들이 활용된다. 또 다른 실시 예에서, 펄싱된 레이저가 활용된다.

[0146] 기판의 표면 (또는 상부 부분) 온도들을 조절하는 것을 포함하여, 적어도 동작 1808 내지 동작 1815가 반복적으로 수행될 수도 있다. 표면 또는 상부 부분의 온도는 1 초에 복수 회 조절될 수도 있다. 펄싱된 급속 열 어닐

링은 탈착/제거 목적들을 위해 1814에서 수행된다. 이는 기판의 개질된 부분을 가열하기 위해 하나 이상의 열 에너지 펄스들을 생성하는 것을 포함할 수도 있다. 온도들은 특정한 분자들을 증발시키기 위해 상승될 수도 있다. 급속 열 펄싱은 기판의 표면에서 세정 반응을 인에이블하고, 이는 기판으로부터 금속 착체를 제거한다.

[0147] 상기 언급된 동작들을 수행할 때 무기 염 또는 부가적인 금속 착체는 생성되지 않는다. 예를 들어, 금속 전구체가 도입될 때 부가적인 금속 착체가 생성될 수 있다. 상기 동작들은 금속 전구체의 도입을 포함하지 않는다. 불완전한 유기 잔여물은 1815에서와 같은 표면 리프레시 동작에서 수소 플라즈마 또는 산소 플라즈마를 도입함으로써 용이하게 세정될 수도 있다.

[0148] 기판의 베이스 및/또는 벌크는 동작 1814 동안 미리 결정된 온도 이하 (예를 들어, 20 ℃ 이하) 로 유지된다. RTP는 일 프로세싱 챔버 구성을 고 쓰루풋 (throughput) 으로 사용되게 한다. 복수의 프로세싱 동작들이 단일 프로세싱 챔버에서 수행될 수도 있다. 또 다른 예로서, 펄스들 각각은 길이가 0.1 밀리초 (ms) 일 수도 있고, 기판의 표면 및/또는 일부의 온도는 1000 ℃까지 상승될 수도 있다.

[0149] 일부 예들에서, 플래시 램프 펄스들 각각은 5 J/cm^2 내지 80 J/cm^2 (즉, 기판의 단위면적 당 에너지) 를 제공한다. 일부 예들에서, 레이저 펄스들 각각은 5 mJ/cm^2 내지 80 mJ/cm^2를 제공한다. 일부 예들에서, 어닐링은 0.1 ms 내지 20 ms 범위의 미리 결정된 기간 동안 수행된다. 일 실시 예에서, 기판의 표면 또는 상부 부분을 최초 온도로부터 500 ℃보다 높게 가열하고 이어서 1 초 (s) 미만 내에 최초 온도로 다시 냉각시키기 위해, 플래시 램프는 1 ms의 펄스 지속 기간으로 사용되거나, 레이저는 1 피코초 (ps) 의 펄스 지속 기간으로 사용된다.

[0150] 동작들 (1808, 1810, 1814) 은 동작들 (1808 및 1810) 동안 개질된 기판의 표면 및/또는 상부 층의 선택적인 부분들의 원자 제거에 의해 제어 가능한 원자를 허용한다. 1814에서 수행된 급속 가열은 플라즈마를 사용하지 않고 등방성 반응을 제공한다. 또한, 청구된 가열은 급속 냉각을 허용하고, 이는 또한 열 예산 문제들을 방지한다.

[0151] 1815에서, 기판의 표면은 이온 충격을 수행하고 기판의 개질된 부분(들)을 제거하기 위해, 퍼지 가스 (예를 들어, 아르곤 (Ar) 가스) 로 프로세스 챔버를 퍼징함으로써 리프레시될 수도 있다. 일 실시 예에서, 프로세싱 챔버는 제공된 급속 열 펄스들의 하나 이상의 연속 쌍들 사이에 퍼지된다. 일 실시 예에서, 가스들은 펄스들의 연속 쌍 각각 사이에 프로세싱 챔버로부터 퍼지된다. 이는 프로세싱 챔버 내에서 복수의 플라즈마 및/또는 가스상 프로세스들의 수행을 가능하게 한다. 일 실시 예에서, 기판 지지부 냉각은 펄싱된 급속 열 어닐링 동안 기판의 베이스 및/또는 벌크의 온도들을 유지하는 것을 돕도록, 그리고 펄싱된 급속 열 어닐링 수행에 후속하여 기판의 급속 냉각을 돕도록 펄싱된 급속 열 어닐링 동안 그리고/또는 펄싱된 급속 열 어닐링에 후속하여 제공된다.

[0152] 1816에서, 제어기 (180 또는 208) 및/또는 급속 열 펄스 제어기 (182 또는 210) 가 N 회의 사이클들이 완료되었는지 여부를 결정하고, 여기서 N은 1 이상의 정수이다. N 회의 사이클들이 완료되었다면, 동작 1818이 수행되고, 그렇지 않으면 동작 1808이 수행된다. 1818에서, 제어기 (180 또는 210) 는 제 2 (또는 포스트) 어닐링 동작을 선택 가능하게 수행할 수도 있다. 1819에서, 제어기 (180 또는 210) 는 현재 다이에 대해, 또 다른 프로세스를 수행할지 여부 및/또는 현재 프로세스를 변경 및/또는 반복할지 여부를 결정할 수도 있다. 또 다른 프로세스가 수행될 경우, 동작 1804가 수행될 수도 있고, 그렇지 않으면 도 2의 실시 예에서와 같이 레이저 및 렌즈 회로가 활용될 때 동작 1820이 수행될 수도 있다. 도 1의 실시 예에서와 같이 플래시 램프들이 사용된다면, 방법은 또 다른 프로세스 또는 현재 프로세스의 변화가 수행되지 않을 때 1822에서 종료될 수도 있다. 프로세스가 또 다른 다이에서 수행될 경우, 동작 1824가 수행되고, 그렇지 않으면 방법은 1822에서 종료될 수도 있다.

[0153] 1824에서, 제어기 (208) 는 기판 (112) 의 상이한 다이 위에 있도록 레이저 빔의 상 평면 위치를 변경하기 위해 미러들 (214, 216) 을 이동시킨다. 예로서, 2 cm x 2 cm 레이저 빔이 제 1 다이 위인 것으로부터 제 2 다이 위인 것으로 이동할 수도 있다. 기술된 방법은 기판 상의 수십 내지 수백 개의 다이들에 걸쳐 레이저 빔을 스캔하기 위해 반복적으로 수행될 수도 있다. 미러들 (214, 216) 의 이동은 다이 당 하나 이상의 샷들을 제공하기 위해 레이저 (204) 의 펄싱 반복 레이트들과 동기화될 수도 있다.

[0154] 상기 기술된 동작들은 예시적인 예들을 의미한다. 동작들은 적용 예에 따라 순차적으로, 동기하여, 동시에, 연속적으로, 오버랩핑 시간 기간들 동안 또는 상이한 순서로 수행될 수도 있다. 또한, 임의의 동작들이 구현 예 및/또는 이벤트들의 시퀀스에 따라 수행되지 않거나 스킵될 수도 있다.

[0155] 상기 기술된 도 18의 방법은 비아를 충진하기 위해 Cu 또는 Co 증착 전에 스퍼터 세정 프로세스를 수행하는 대

신 수행된다. RC (Resistance-Capacitance) 문제를 최소화하고 그리고/또는 제거하기 위해, 비아의 하단부에서 TaN 층의 일부가 제거된다. 이 방법은 상단 층 및 대응하는 표면들의 평평한/수평 단층 부분들의 선택적인 제거를 허용한다.

[0156] 도 18의 방법은 예를 들어, 비아들, 홀들, NAND 메모리 피처들, 등과 같은 3 차원 피처들로부터 금속 나이트라이드의 등방성 및 선택적인 제거를 위해 사용될 수도 있다. 방법은 고 종횡비 홀 내로부터 금속 나이트라이드 층의 제거를 위해 사용될 수도 있다. TiN으로 형성되고 미리 결정된 깊이를 갖는 FEOL (Front-End-Of-Line) 금속 게이트 (MG) 가 언급된 방법을 사용하여 등방성으로 제거될 수도 있다.

[0157] 전술한 기술은 본질적으로 단지 예시이고, 어떠한 방식으로도 본 개시, 이의 적용 예, 또는 사용들을 제한하도록 의도되지 않는다. 본 개시의 광범위한 교시들은 다양한 형태들로 구현될 수 있다. 따라서, 본 개시가 특정한 예들을 포함하지만, 본 개시의 진정한 범위는 다른 수정들이 도면들, 명세서, 및 이하의 청구항들의 연구 시 자명해질 것이기 때문에 이렇게 제한되지 않아야 한다. 방법의 하나 이상의 단계들은 본 개시의 원리들을 변경하지 않고 상이한 순서로 (또는 동시에) 실행될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 또한, 실시 예들 각각이 특정한 피처들을 갖는 것으로 상기 기술되었지만, 본 개시의 임의의 실시 예에 대해 기술된 이들 피처들 중 임의의 하나 이상의 피처들은, 조합이 명시적으로 기술되지 않더라도 임의의 다른 실시 예들의 피처들에서 그리고/또는 피처들과 조합하여 구현될 수 있다. 즉, 기술된 실시 예들은 상호 배타적이지 않고, 하나 이상의 실시 예들의 다른 실시 예들과의 치환들이 본 개시의 범위 내에 남는다.

[0158] 엘리먼트들 간 (예를 들어, 모듈들, 회로 엘리먼트들, 반도체 층들, 등 간) 의 공간적 및 기능적 관계들은, "연결된 (connected)", "인게이지된 (engaged)", "커플링된 (coupled)", "인접한 (adjacent)", "옆에 (next to)", "~의 상단에 (on top of)", "위에 (above)", "아래에 (below)", 및 "배치된 (disposed)"을 포함하는, 다양한 용어들을 사용하여 기술된다. "직접적 (direct)"인 것으로 명시적으로 기술되지 않는 한, 제 1 엘리먼트와 제 2 엘리먼트 간의 관계가 상기 개시에서 기술될 때, 이 관계는 제 1 엘리먼트와 제 2 엘리먼트 사이에 다른 중개하는 엘리먼트들이 존재하지 않는 직접적인 관계일 수 있지만, 또한 제 1 엘리먼트와 제 2 엘리먼트 사이에 (공간적으로 또는 기능적으로) 하나 이상의 중개하는 엘리먼트들이 존재하는 간접적인 관계일 수 있다. 본 명세서에 사용된 바와 같이, 구 A, B, 및 C 중 적어도 하나는 비배타적인 논리 OR를 사용하여, 논리적으로 (A 또는 B 또는 C) 를 의미하는 것으로 해석되어야 하고, "적어도 하나의 A, 적어도 하나의 B, 및 적어도 하나의 C"를 의미하는 것으로 해석되지 않아야 한다.

[0159] 일부 구현 예들에서, 제어기는 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 페데스탈, 가스 플로우 시스템, 등) 을 포함하는, 반도체 프로세싱 장비를 포함할 수 있다. 이들 시스템들은 반도체 웨이퍼 또는 기판의 프로세싱 이전에, 프로세싱 동안에 그리고 프로세싱 이후에 그들의 동작을 제어하기 위한 전자장치와 통합될 수도 있다. 전자장치는 시스템 또는 시스템들의 다양한 컴포넌트들 또는 하위부분들을 제어할 수도 있는 "제어기"로서 지칭될 수도 있다. 제어기는, 시스템의 프로세싱 요건들 및/또는 타입에 따라서, 프로세싱 가스들의 전달, 온도 설정사항들 (예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정사항들, 진공 설정사항들, 전력 설정사항들, 무선 주파수 (RF) 생성기 설정사항들, RF 매칭 회로 설정사항들, 주파수 설정사항들, 플로우 레이트 설정사항들, 유체 전달 설정사항들, 위치 및 동작 설정사항들, 툴 및 다른 이송 툴들 및/또는 특정 시스템과 연결되거나 인터페이싱된 로드록들 내외로의 웨이퍼 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 프로세스들 중 임의의 프로세스들을 제어하도록 프로그래밍될 수도 있다.

[0160] 일반적으로 말하면, 제어기는 인스트럭션들을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 동작을 제어하고, 세정 동작들을 가능하게 하고, 엔드포인트 측정들을 가능하게 하는, 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 (DSPs), ASICs (Application Specific Integrated Circuits) 로서 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 실시 예들에서, 동작 파라미터들은 하나 이상의 층들, 재료들, 금속들, 옥사이드들, 실리콘, 실리콘 다이옥사이드, 표면들, 회로들, 및/또는 웨이퍼의 다이들의 제조 동안에 하나 이상의 프로세싱 단계들을 달성하도록 프로세스 엔지니어들에 의해서 규정된 레시피의 일부일 수도 있다.

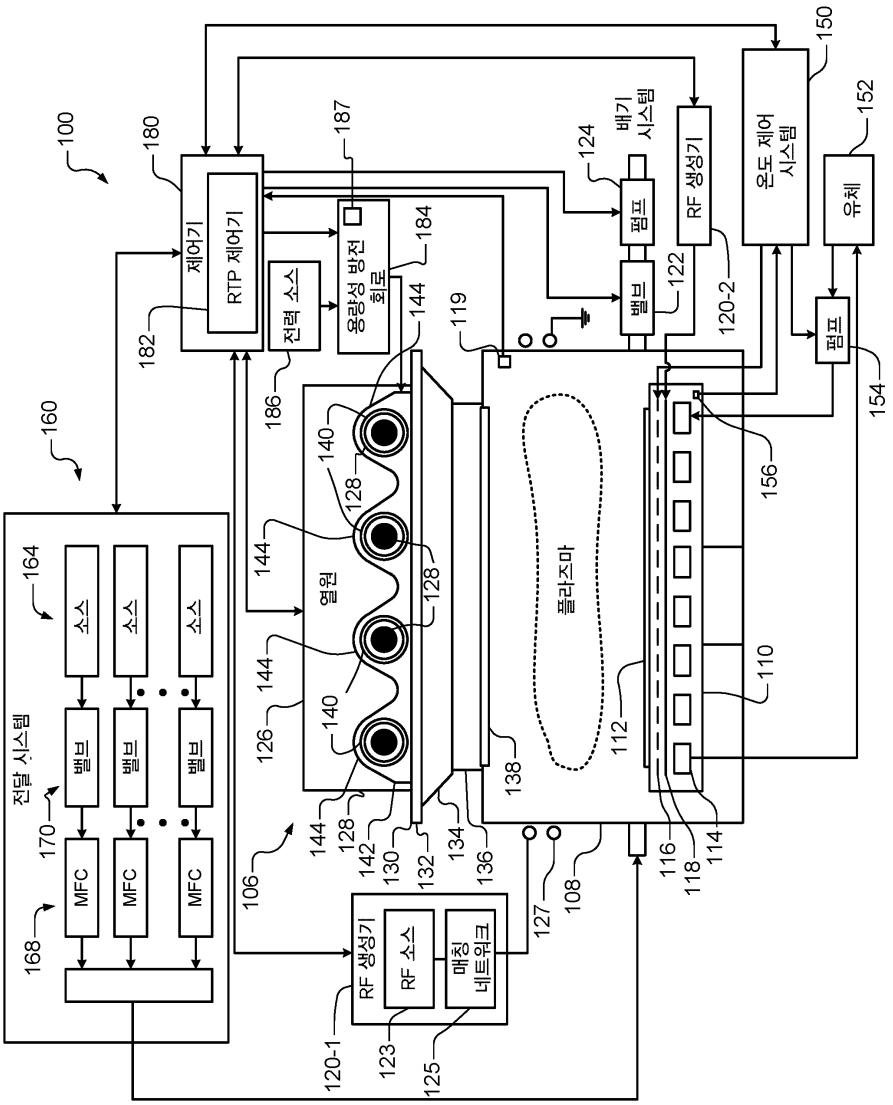
[0161] 제어기는, 일부 구현 예들에서, 시스템과 통합되거나, 시스템에 커플링되거나, 그렇지 않으면 시스템에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합으로 될 수 있는 컴퓨터에 커플링되거나 이의 일부일 수도 있다. 예를 들어, 제어기는 웨이퍼 프로세싱의 원격 액세스를 가능하게 할 수 있는 공장 (fab) 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부이거나 "클라우드" 내에 있을 수도 있다. 컴퓨터는 제조 동작들의 현 진행을 모니터링하거나, 과거 제조 동작들의 이력을 조사하거나, 복수의 제조 동작들로부터 경향들 또는 성능 계측치들을 조사하거나, 현 프로세싱의 파라미터들을 변경하거나, 현 프로세싱을 따르는 프로세싱 단계들을 설정하거나, 새로운 프로세스를 시작하기 위해서, 시스템으로의 원격 액세스를 가능하게 할 수도 있다. 일부 예들에서, 원격 컴퓨터 (예를 들어, 서버) 는 로컬 네트워크 또는 인터넷을 포함할 수도 있는 네트워크를 통해 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 동안 수행될 프로세싱 단계들 각각에 대한 파라미터들을 특정하는, 데이터의 형태의 인스트럭션들을 수신한다. 파라미터들은 제어기가 제어하거나 인터페이싱하도록 구성되는 툴의 타입 및 수행될 프로세스의 타입에 특정적일 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 따라서 상기 기술된 바와 같이, 제어기는 예컨대 본 명세서에 기술된 프로세스들 및 제어들과 같은, 공동의 목적을 향해 함께 네트워킹되고 작동하는 하나 이상의 개별 제어기들을 포함함으로써 분산될 수도 있다. 이러한 목적들을 위한 분산형 제어기의 예는 챔버 상의 프로세스를 제어하도록 조합되는 (예컨대 플랫폼 레벨에서 또는 원격 컴퓨터의 일부로서) 원격으로 위치한 하나 이상의 집적 회로들과 통신하는 챔버 상의 하나 이상의 집적 회로들일 것이다.

[0162] 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.

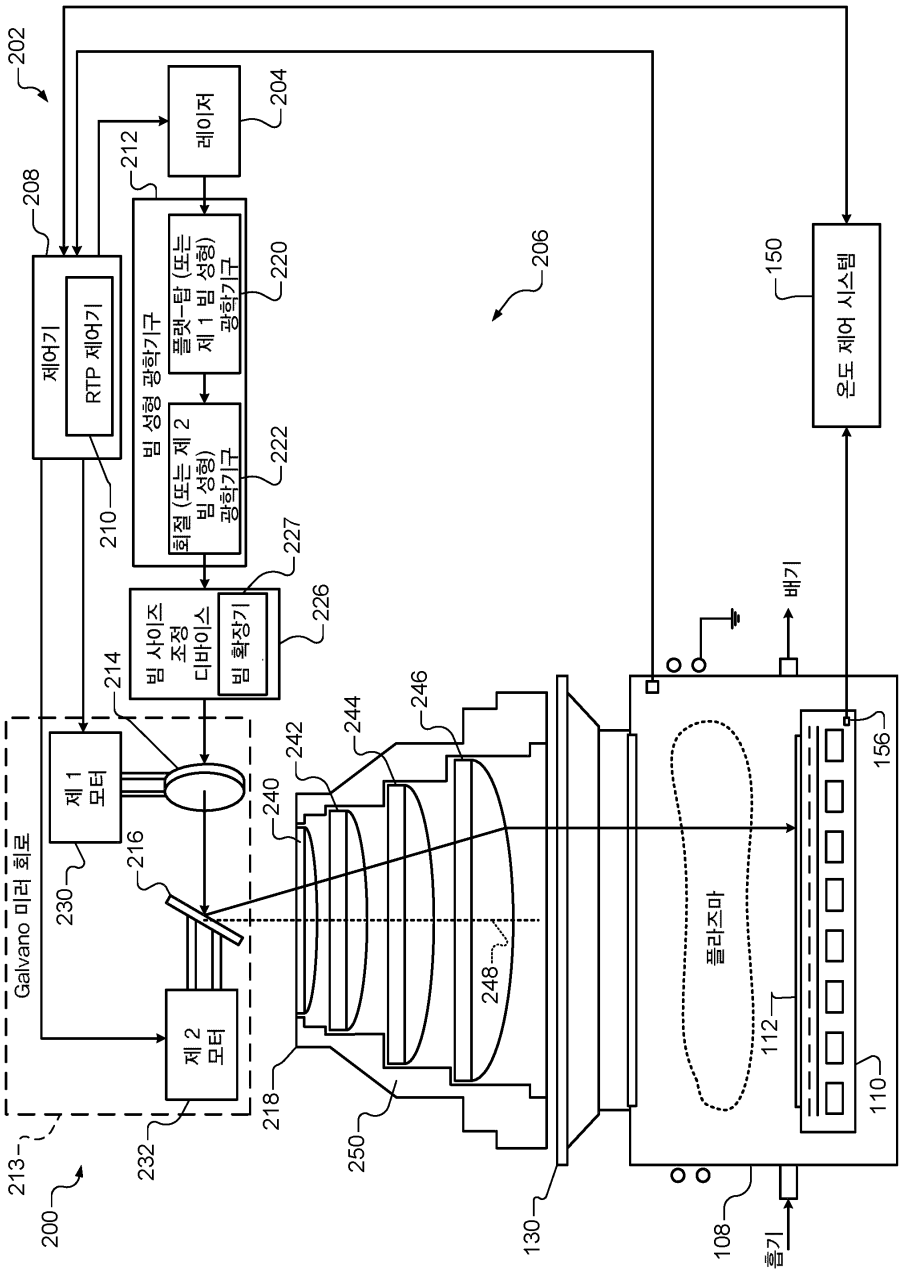
[0163] 상술한 바와 같이, 툴에 의해서 수행될 프로세스 단계 또는 단계들에 따라서, 제어기는, 반도체 제작 공장 내의 툴 위치들 및/또는 로드 포트들로부터/로드 포트들로 웨이퍼들의 컨테이너들을 이동시키는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 툴 회로들 또는 모듈들, 다른 툴 컴포넌트들, 클러스터 툴들, 다른 툴 인터페이스들, 인접 툴들, 이웃하는 툴들, 공장 도처에 위치한 툴들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기, 또는 툴들 중 하나 이상과 통신할 수도 있다.

도면

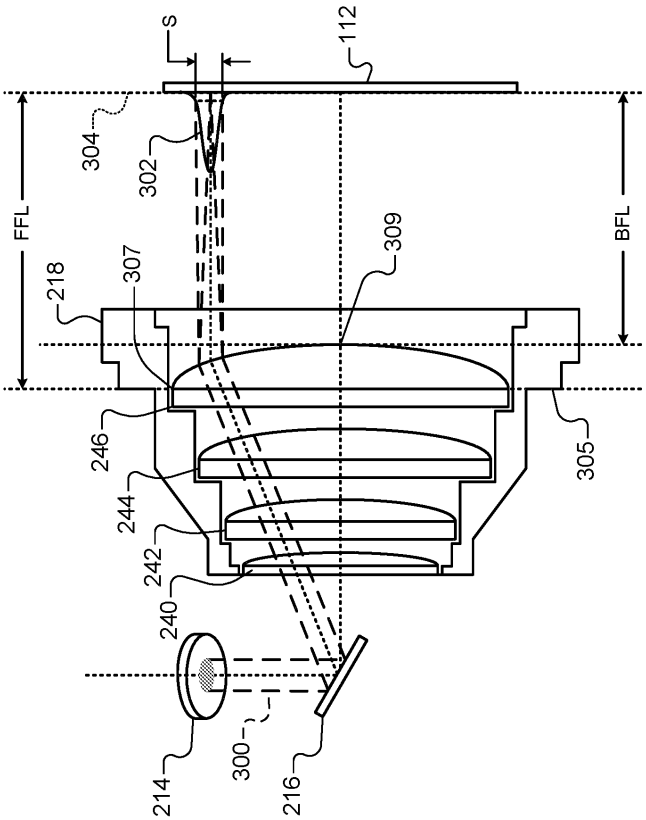
도면1


100
180
제어기
RTP 제어기
187
184
용량성 방전 회로
전력 소스
186
182
144
119
124
배기 시스템
펌프
밸브
122
RF 생성기
120-2
150
온도 제어 시스템
152
유체
펌프
154
156
160
164
전달 시스템
소스
소스
소스
밸브
밸브
밸브
170
MFC
MFC
MFC
168
106
열원
140
128
126
142
130
132
134
136
138
플라즈마
112
110
116
118
114
108
127
RF 생성기
RF 소스
매칭 네트워크
120-1
123
125

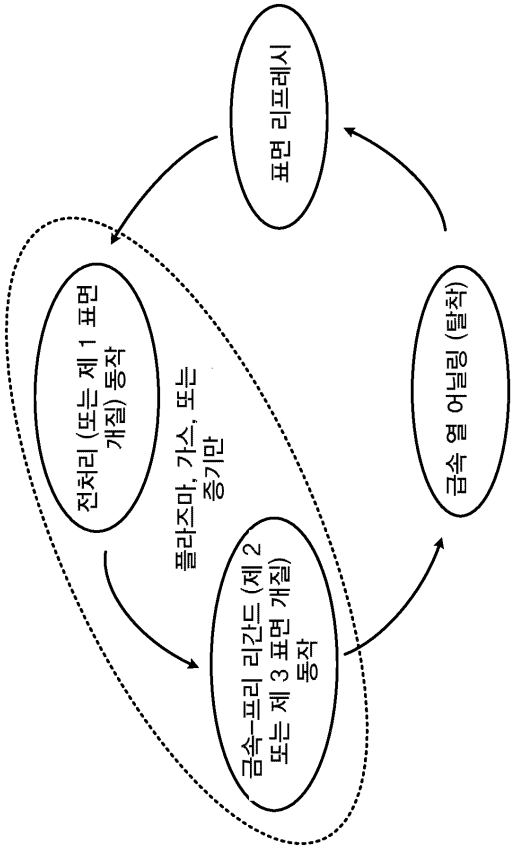
도면2


202
208
제어기
RTP 제어기
210
212
레이저
204
빔 성형 광학기구
플랫-탑 (또는 제 1 빔 성형) 광학기구
220
회절 (또는 제 2 빔 성형) 광학기구
222
227
빔 사이즈 조정 디바이스
빔 확장기
226
206
150
온도 제어 시스템
214
제 1 모터
230
216
Galvano 미러 회로
제 2 모터
232
213
200
240
242
244
246
248
218
250
130
플라즈마
112
110
156
배기
108
흡기

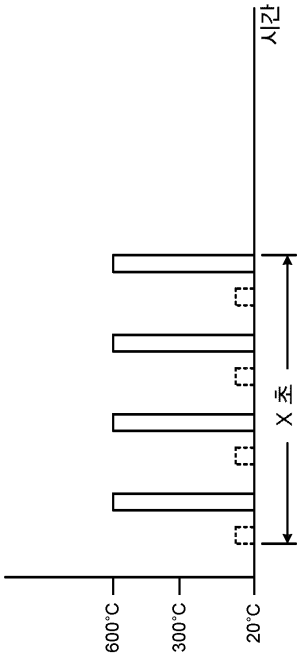
도면3



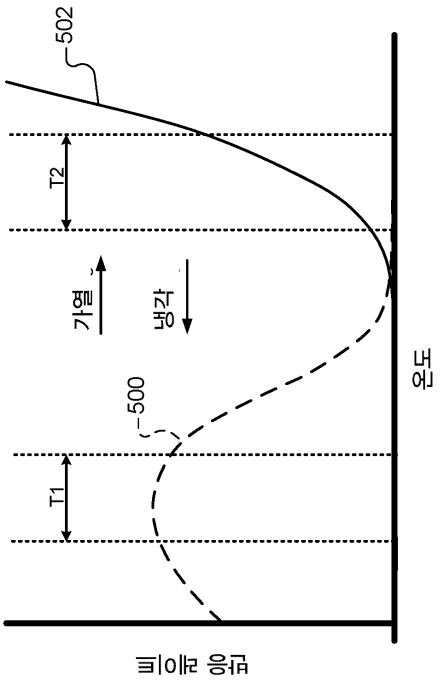
도면4


표면 리프레시
전처리 (또는 제 1 표면 개질) 동작
플라즈마, 가스, 또는 증기만
금속-프리 리간드 (제 2 또는 제 3 표면 개질) 동작
금속 열 어닐링 (탈착)

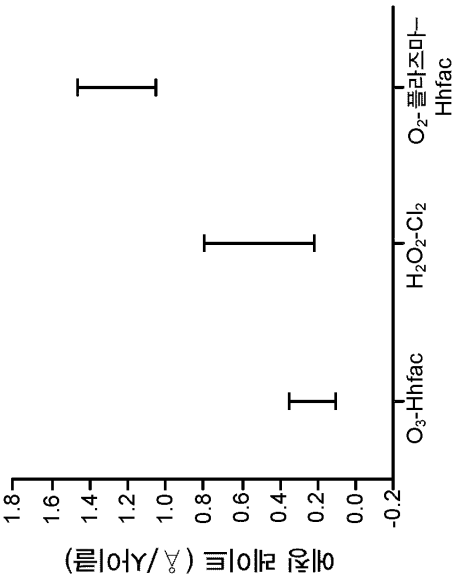
도면5a


시간
X 초
600°C
300°C
20°C

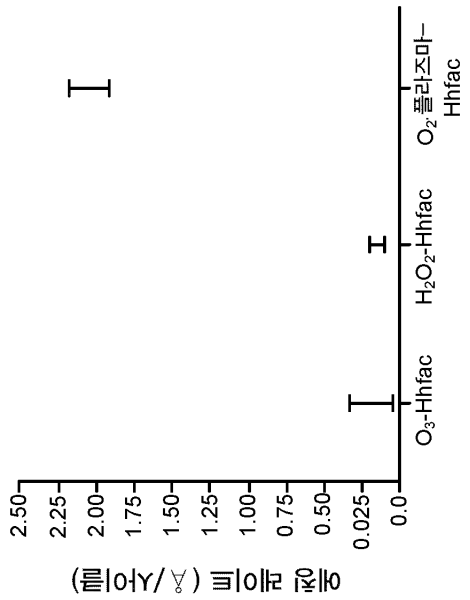
도면5b


502
T2
가열
냉각
500
T1
온도
반응 레이트

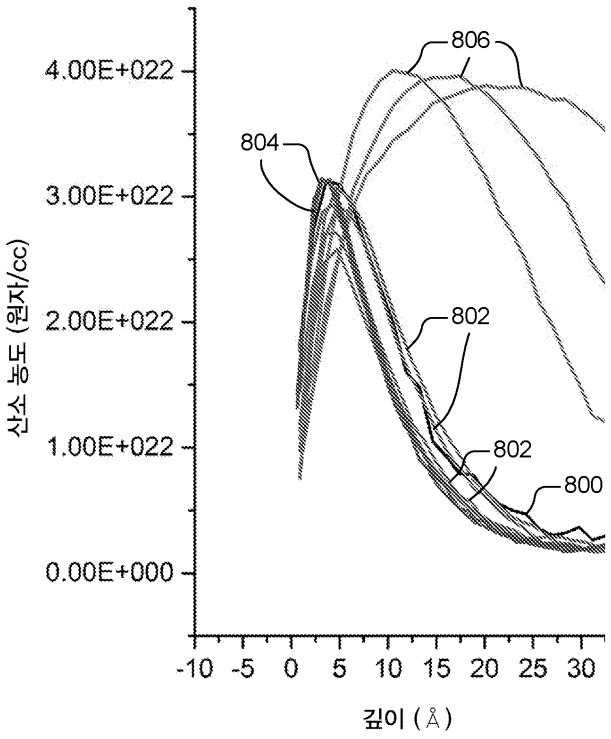
도면6


에칭 레이트 (Å/사이클)
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
-0.2
O3-Hhfac
H2O2-Cl2
O2-플라즈마-Hhfac

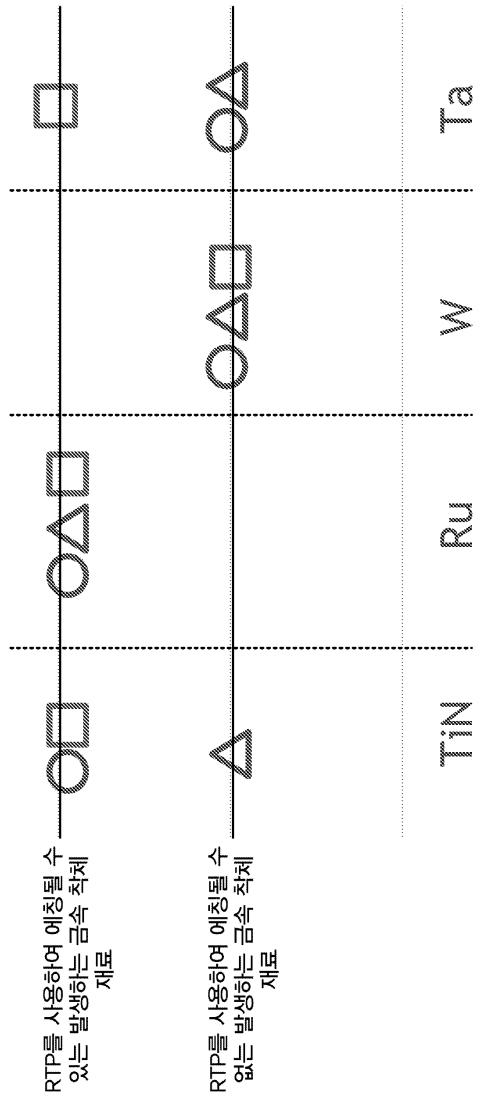
도면7


O3-Hhfac
H2O2-Hhfac
O2 플라즈마-Hhfac
0.0
0.025
0.50
0.75
1.00
1.25
1.50
1.75
2.00
2.25
2.50
에칭 레이트 (Å/사이클)

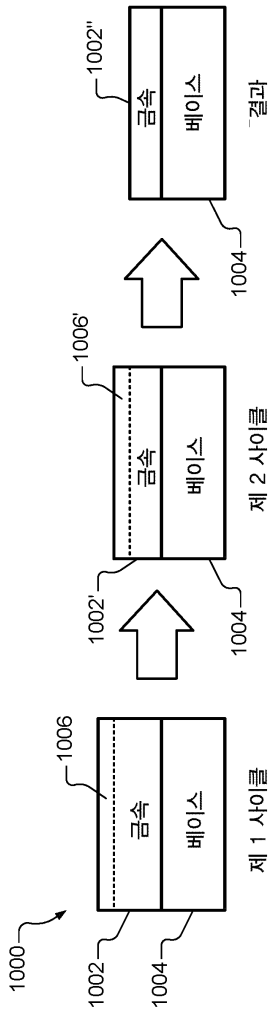
도면8


806
804
802
802
800
4.00E+022
3.00E+022
2.00E+022
1.00E+022
0.00E+000
산소 농도 (원자/cc)
-10
-5
0
5
10
15
20
25
30
깊이 (Å)

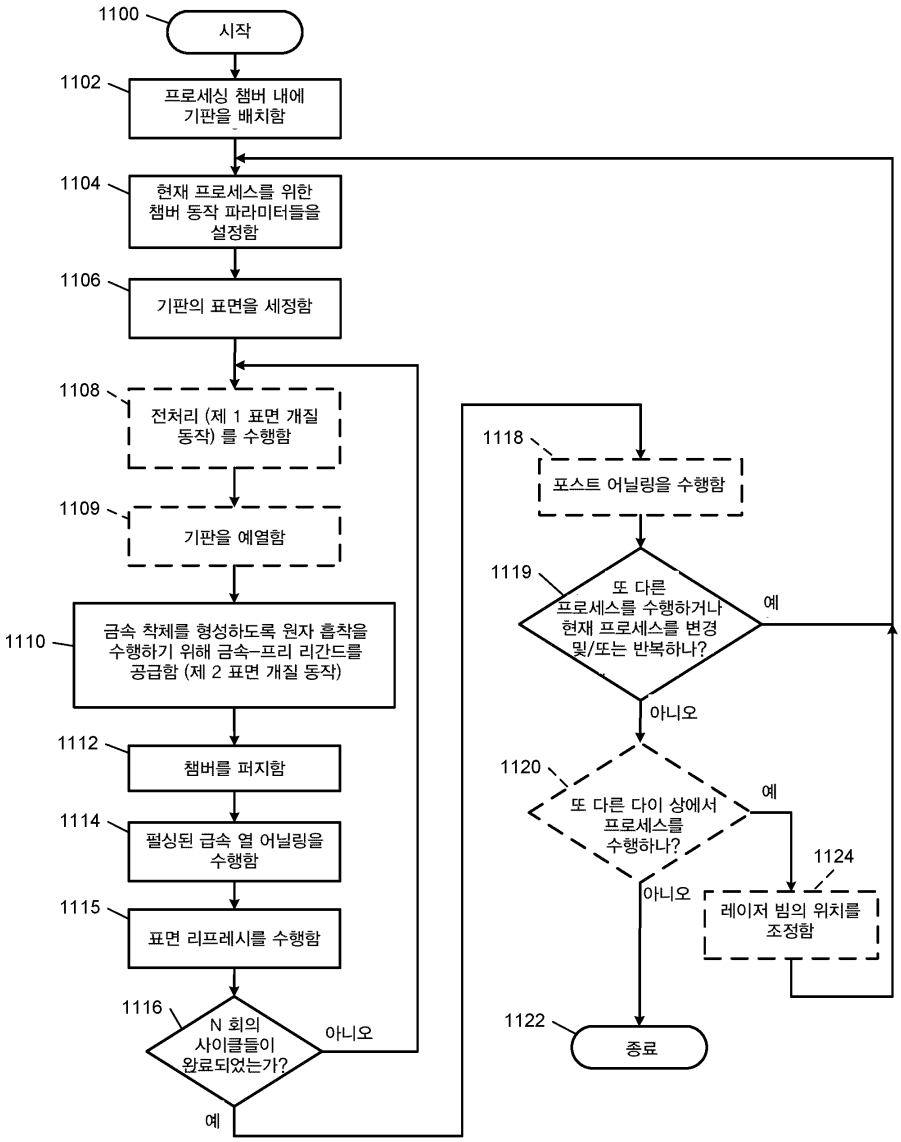
도면9


RTP를 사용하여 에칭될 수 있는 발생하는 금속 착체 재료
RTP를 사용하여 에칭될 수 없는 발생하는 금속 착체 재료
TiN
Ru
W
Ta

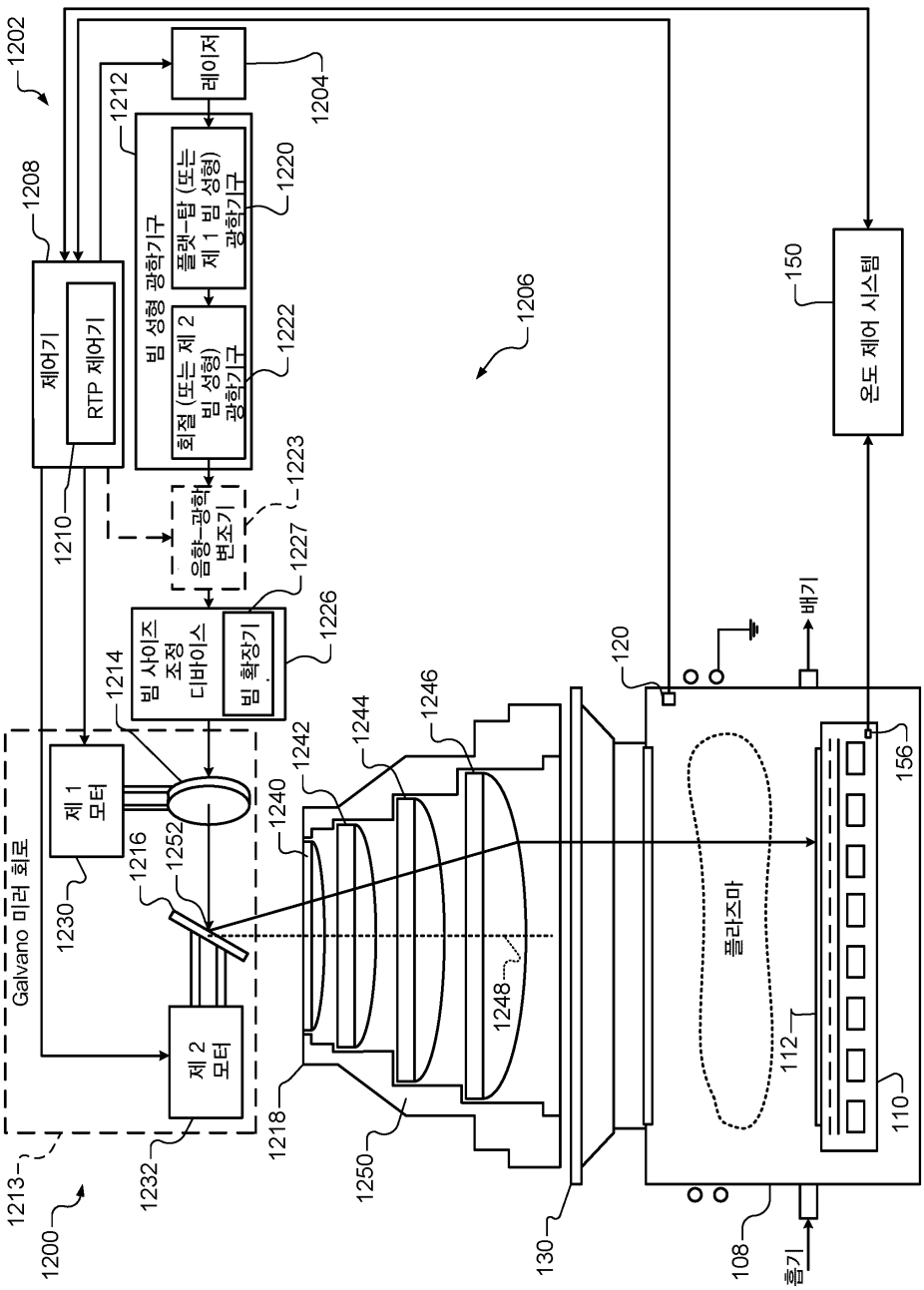
도면10


1000
1002
1004
1006
금속
베이스
제 1 사이클
1002'
1004
1006'
금속
베이스
제 2 사이클
1004
1002''
금속
베이스
결과

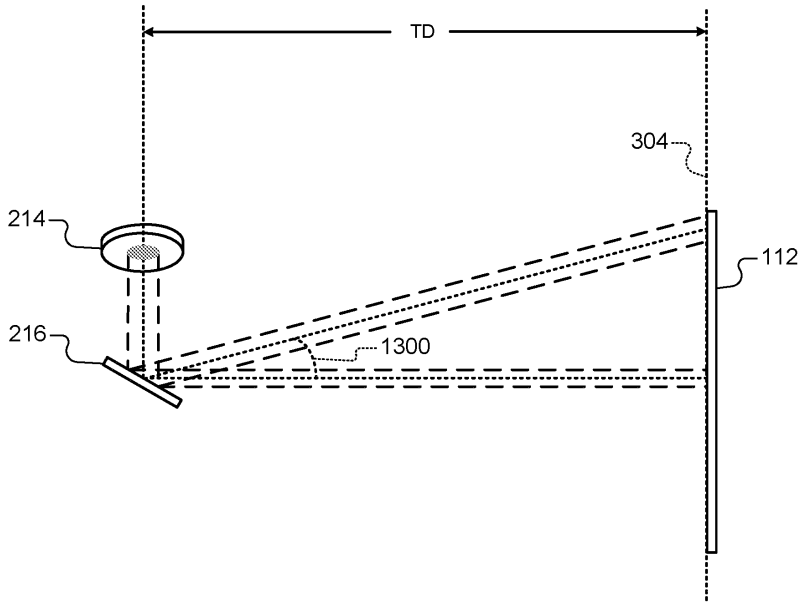
도면11


1100
시작
1102
프로세싱 챔버 내에 기판을 배치함
1104
현재 프로세스를 위한 챔버 동작 파라미터들을 설정함
1106
기판의 표면을 세정함
1108
전처리 (제 1 표면 개질 동작) 를 수행함
1109
기판을 예열함
1110
금속 착체를 형성하도록 원자 흡착을 수행하기 위해 금속-프리 리간드를 공급함 (제 2 표면 개질 동작)
1112
챔버를 퍼지함
1114
펄싱된 급속 열 어닐링을 수행함
1115
표면 리프레시를 수행함
1116
N 회의 사이클들이 완료되었는가?
아니오
예
1118
포스트 어닐링을 수행함
1119
또 다른 프로세스를 수행하거나 현재 프로세스를 변경 및/또는 반복하나?
예
아니오
1120
또 다른 다이 상에서 프로세스를 수행하나?
예
아니오
1124
레이저 빔의 위치를 조정함
1122
종료

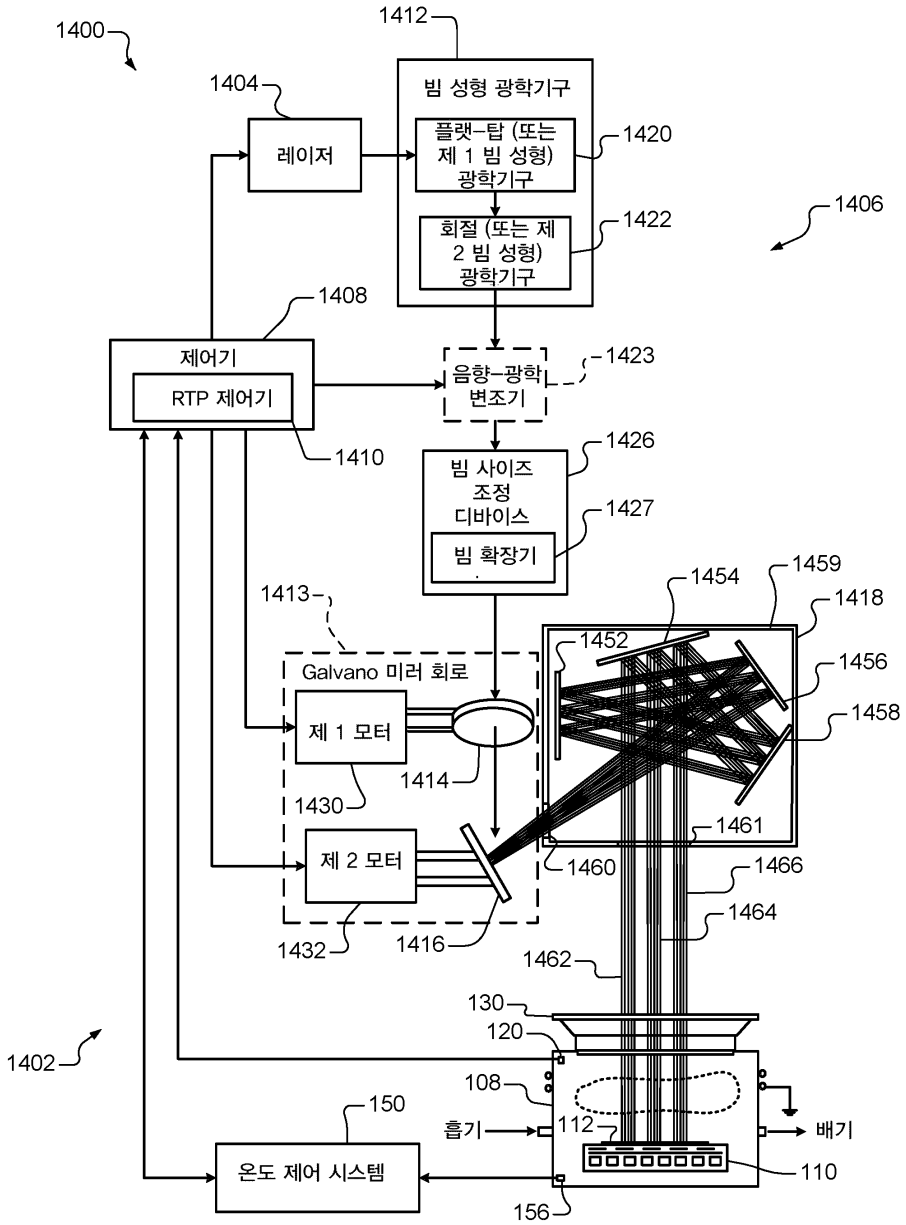
도면12


1202
레이저
1204
1212
1208
빔 성형 광학기구
플랫-탑 (또는 제 1 빔 성형) 광학기구
1220
회절 (또는 제 2 빔 성형) 광학기구
1222
제어기
RTP 제어기
1206
1210
1223
음향-광학 변조기
1227
빔 사이즈 조정 디바이스
빔 확장기
1226
1214
제 1 모터
1216
1252
1230
Galvano 미러 회로
제 2 모터
1213
1200
1232
1240
1242
1244
1246
1218
1250
1248
130
120
배기
플라즈마
112
110
156
108
흡기
150
온도 제어 시스템

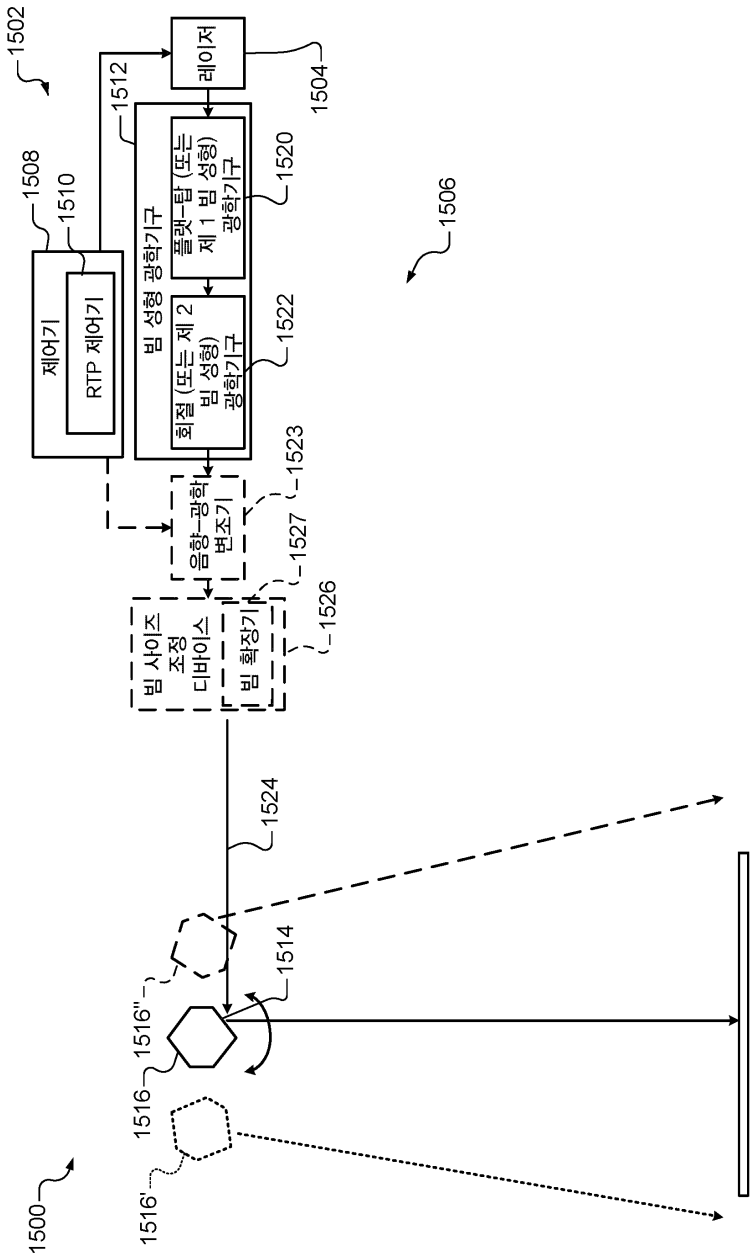
도면13



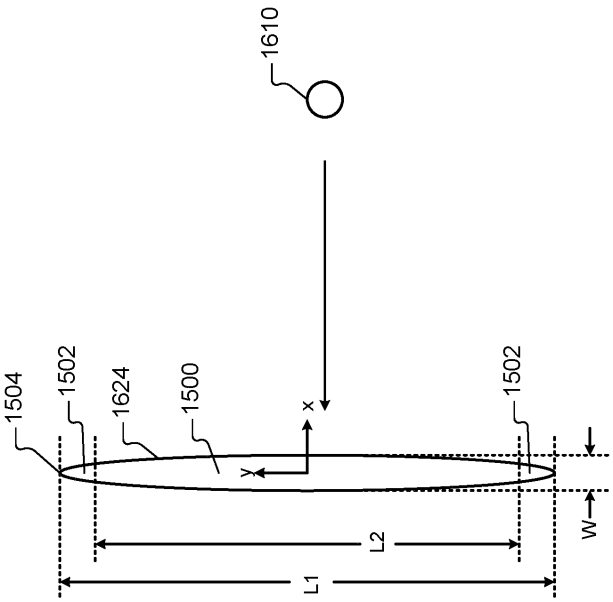
도면14


1400
1412
빔 성형 광학기구
1404
레이저
플랫-탑 (또는 제 1 빔 성형) 광학기구
1420
회절 (또는 제 2 빔 성형) 광학기구
1422
1406
1408
제어기
RTP 제어기
음향-광학 변조기
1423
1410
1426
빔 사이즈 조정 디바이스
빔 확장기
1427
1454
1459
1418
1413
1452
1456
Galvano 미러 회로
제 1 모터
1458
1414
1430
1461
제 2 모터
1460
1466
1464
1432
1416
1462
130
120
1402
108
150
흡기
112
배기
온도 제어 시스템
110
156

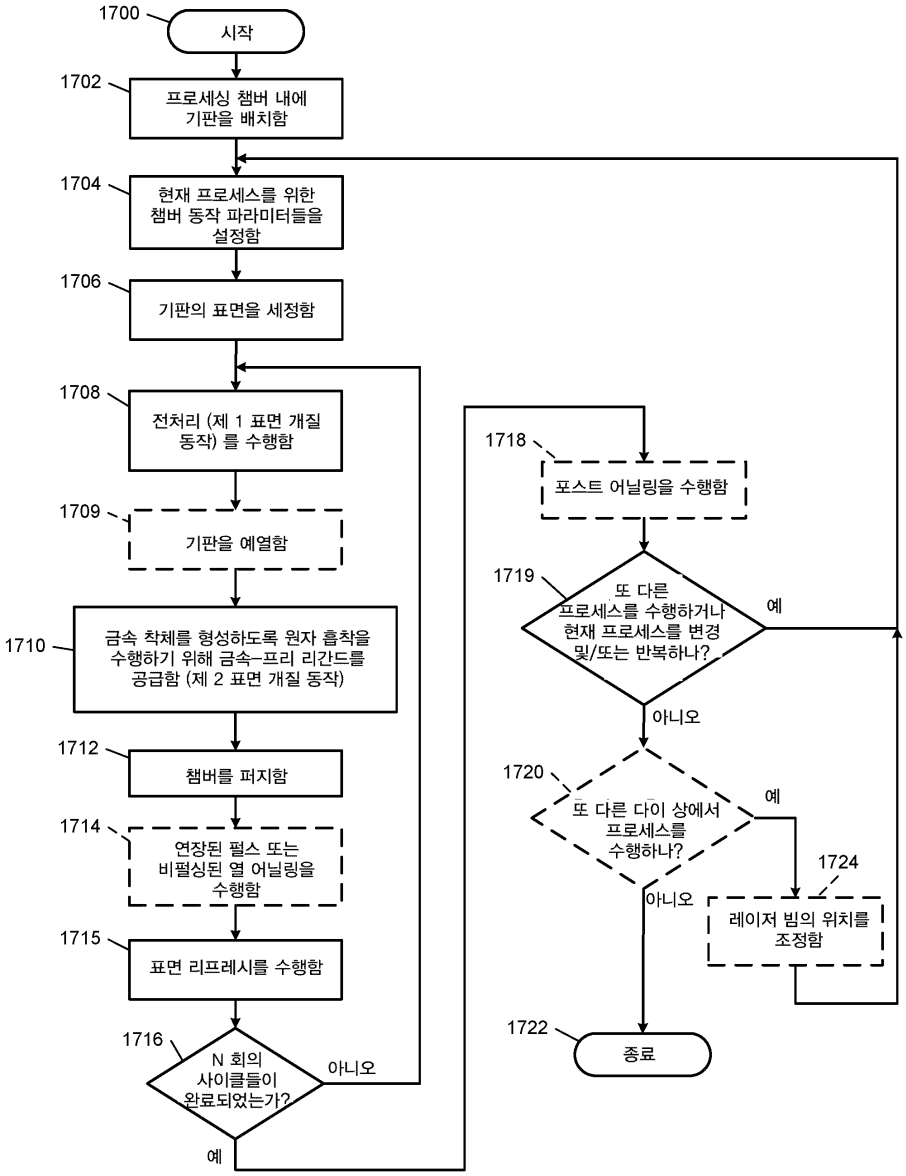
도면15


1502
1512
레이저
1504
1508
1510
1520
1506
제어기
RTP 제어기
빔 성형 광학기구
플랫-탑 (또는 제 1 빔 성형) 광학기구
1522
회절 (또는 제 2 빔 성형) 광학기구
1523
음향-광학 변조기
1527
빔 사이즈 조정 디바이스
빔 확장기
1526
1524
1514
1516''
1516
1516'
1500

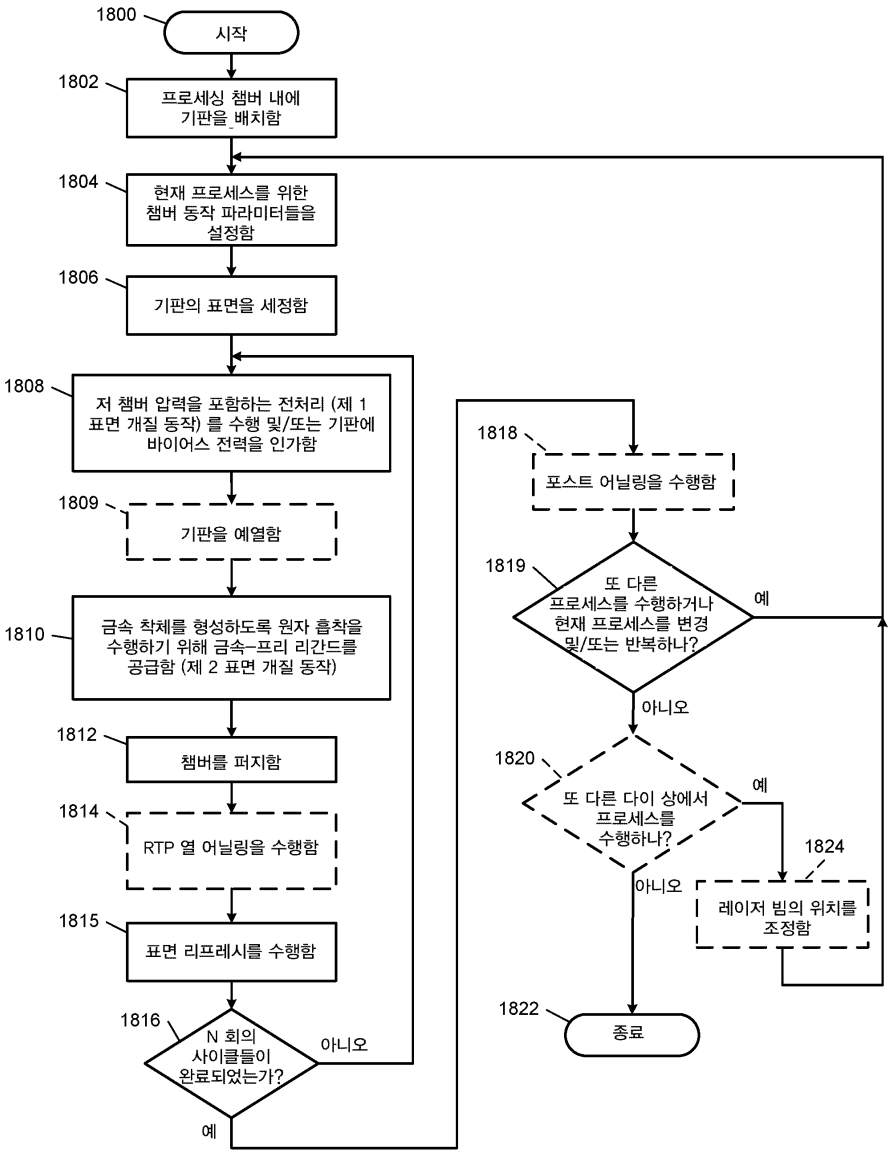
도면16



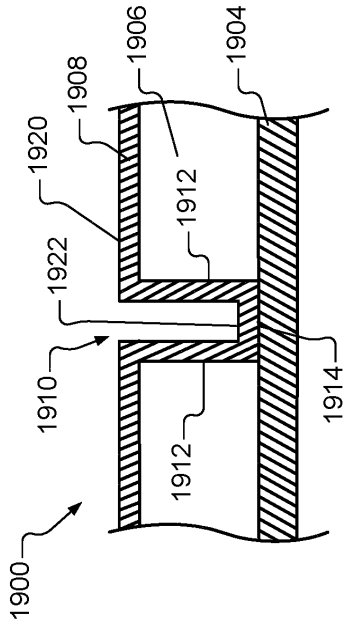
도면17


1700
시작
1702
프로세싱 챔버 내에 기판을 배치함
1704
현재 프로세스를 위한 챔버 동작 파라미터들을 설정함
1706
기판의 표면을 세정함
1708
전처리 (제 1 표면 개질 동작) 를 수행함
1709
기판을 예열함
1710
금속 착체를 형성하도록 원자 흡착을 수행하기 위해 금속-프리 리간드를 공급함 (제 2 표면 개질 동작)
1712
챔버를 퍼지함
1714
연장된 펄스 또는 비펄싱된 열 어닐링을 수행함
1715
표면 리프레시를 수행함
1716
N 회의 사이클들이 완료되었는가?
아니오
예
1718
포스트 어닐링을 수행함
1719
또 다른 프로세스를 수행하거나 현재 프로세스를 변경 및/또는 반복하나?
예
아니오
1720
또 다른 다이 상에서 프로세스를 수행하나?
예
아니오
1724
레이저 빔의 위치를 조정함
1722
종료

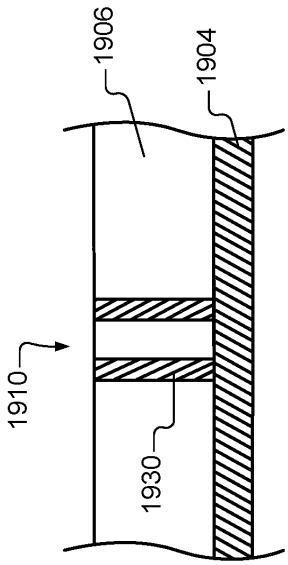
도면18


1800
시작
1802
프로세싱 챔버 내에 기판을 배치함
1804
현재 프로세스를 위한 챔버 동작 파라미터들을 설정함
1806
기판의 표면을 세정함
1808
저 챔버 압력을 포함하는 전처리 (제 1 표면 개질 동작) 를 수행 및/또는 기판에 바이어스 전력을 인가함
1809
기판을 예열함
1810
금속 착체를 형성하도록 원자 흡착을 수행하기 위해 금속-프리 리간드를 공급함 (제 2 표면 개질 동작)
1812
챔버를 퍼지함
1814
RTP 열 어닐링을 수행함
1815
표면 리프레시를 수행함
1816
N 회의 사이클들이 완료되었는가?
아니오
예
1818
포스트 어닐링을 수행함
1819
또 다른 프로세스를 수행하거나 현재 프로세스를 변경 및/또는 반복하나?
예
아니오
1820
또 다른 다이 상에서 프로세스를 수행하나?
예
1824
레이저 빔의 위치를 조정함
아니오
1822
종료

도면19a


1906
1904
1908
1920
1912
1922
1910
1914
1912
1900

도면19b


1906
1904
1910
1930

도면19c

