(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0099005
(43) 공개일자 2024년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/683 (2006.01) *H01L 21/3065* (2006.01)
H01L 21/67 (2006.01) *H02N 13/00* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/6833 (2013.01)
H01L 21/3065 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0127254
(22) 출원일자 2023년09월22일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
2219448.4 2022년12월21일 영국(GB)

(71) 출원인
에스피티에스 테크놀러지스 리미티드
영국, 엔피18 2티에이 뉴포트, 코에드 랜딘 링랜드 웨이
(72) 발명자
루빈 앤드류
영국, 엔피18 2티에이 뉴포트, 코에드 랜딘 링랜드 웨이 에스피티에스 테크놀러지스 리미티드 내
리델 케빈
영국, 엔피18 2티에이 뉴포트, 코에드 랜딘 링랜드 웨이 에스피티에스 테크놀러지스 리미티드 내
로나이 니콜라스
영국, 엔피18 2티에이 뉴포트, 코에드 랜딘 링랜드 웨이 에스피티에스 테크놀러지스 리미티드 내
(74) 대리인
김태홍, 김진희

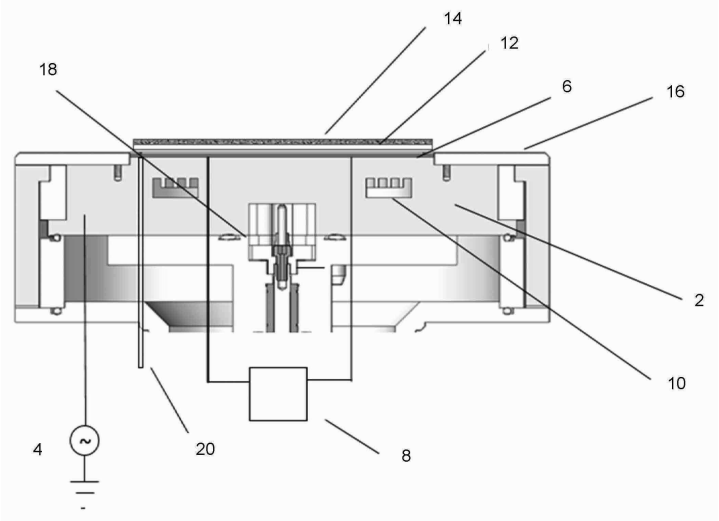
전체 청구항 수 : 총 27 항

(54) 발명의 명칭 **유전체 기판을 플라즈마 에칭하기 위한 방법 및 장치**

(57) 요 약

워크피스를 플라즈마 에칭하는 방법 및 플라즈마 에칭 장치가 제공된다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
H01L 21/67063 (2013.01)
H02N 13/00 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

워크피스(workpiece)를 플라즈마 에칭하는 방법으로서,

● 플라즈마 챔버 내의 기판 지지체 상에 워크피스를 배치하는 단계 - 상기 워크피스는 유전체 기판 및 상기 유전체 기판 상의 적어도 하나의 반도체 층을 포함하고, 상기 기판 지지체는 정전 척(electrostatic chuck; "ESC")을 포함하고, 상기 ESC는 적어도 2개의 전극을 포함함 - ;

● 상기 워크피스가 상기 ESC로 정전기적으로 클램핑되도록 제1 바이폴라 동작 모드에서 상기 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압을 그리고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압을 인가하는 단계;

● 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성함으로써 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계 - 상기 플라즈마가 점화된 후의 기간에 상기 ESC의 동작은 각 전극에 동일 전압이 인가되는 모노폴라 동작 모드로 스위칭됨 - ; 및

● 상기 ESC의 동작을 상기 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압이 인가되고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압이 인가되는 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 ESC의 동작을 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계는 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계가 종료된 후에 수행되는 것인, 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 ESC의 동작을 상기 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계는 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계 동안 수행되는 것인, 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계는, 엔드 포인트(end-point)에 도달할 때까지 상기 에칭의 대부분이 수행되는 제1 벌크 에칭 페이즈, 및 상기 ESC의 동작을 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계가 제2 에칭 페이즈 동안 또는 엔드 포인트가 도달할 때 수행되는 제2 오버 에칭 페이즈를 포함하는 것인, 방법.

청구항 5

제3항 또는 제4항에 있어서,

상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계가 종료된 후의 기간 동안 상기 ESC는 상기 제2 바이폴라 동작 모드로 유지되는 것인, 방법.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계는, 상기 유전체 기판 상의 반도체의 복수의 개별 영역을 형성하기 위해 상기 적어도 하나의 반도체 층을 에칭하는 단계를 포함하고,

상기 ESC의 동작을 모노폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계는 상기 반도체의 개별 영역의 형성 전에 수행되는 것인, 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 바이폴라 동작 모드에서 상기 전극에 인가되는 전압의 절대값은 상기 제2 바이폴라 동작 모드에서 상기 전극에 인가되는 전압의 절대값과 동일한 것인, 방법.

청구항 8

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 바이폴라 동작 모드에서 상기 전극에 인가되는 전압의 절대값은 상기 제1 바이폴라 동작 모드에서 상기 전극에 인가되는 전압의 절대값보다 낮은 것인, 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 바이폴라 동작 모드에서, 제1 전극에 포지티브 전압이 인가되고 제2 전극에 네거티브 전압이 인가되며,

제2 바이폴라 동작 모드에서, 상기 제1 전극에 네거티브 전압이 인가되고 상기 제2 전극에 포지티브 전압이 인가되는 것인, 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 바이폴라 동작 모드, 모노폴라 동작 모드, 및 제2 바이폴라 동작 모드 중, 적어도 하나의 모드에서, 상기 전극 중 적어도 하나의 전극에 인가되는 전압의 절대값은 최대 9000 V, 선택적으로 최대 6000 V일 수 있는 것인, 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 바이폴라 동작 모드, 모노폴라 동작 모드, 및 제2 바이폴라 동작 모드 중, 적어도 하나의 모드에서, 상기 전극 중 적어도 하나의 전극에 인가되는 전압의 절대값은 적어도 4000 V, 선택적으로 적어도 5000 V일 수 있는 것인, 방법.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 방법은,

● 상기 기판 지지체와 상기 유전체 기판 사이에서 상기 기판 지지체의 표면 상에 형성된 적어도 하나의 채널로 하나 이상의 불활성 가스를 도입하는 단계를 더 포함하는 것인, 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 하나 이상의 불활성 가스를 도입하는 단계는, 상기 ESC가 상기 제2 바이폴라 동작 모드에 있는 기간 동안 상기 하나 이상의 불활성 가스의 유속(flow rate)을 감소시키는 단계를 포함하는 것인, 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 하나 이상의 불활성 가스의 유속은, 상기 적어도 하나의 채널로의 불활성 가스 또는 불활성 가스 혼합물의 흐름이 정지되도록, 제로(zero)로 감소되는 것인, 방법.

청구항 15

제12항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 하나 이상의 불활성 가스는 He 및 Ar 중, 적어도 하나를 포함하는 것인, 방법.

청구항 16

제1항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 반도체 층은 적어도 하나의 갈륨 질화물 층을 포함하는 것인, 방법.

청구항 17

제1항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유전체 기판은 사파이어로 형성되는 것인, 방법.

청구항 18

플라즈마 에칭 장치로서,

● 플라즈마 챔버;

● 플라즈마 생성 디바이스;

● 컨트롤러; 및

● 기판 지지체

를 포함하고,

상기 기판 지지체는 정전 척(ESC)을 포함하고, 상기 정전 척은,

● 적어도 2개의 전극;

● 전력 공급기; 및

● 상기 적어도 2개의 전극을 커버하고 상기 기판 지지체 표면을 형성하는 유전체 물질의 층

을 포함하고,

상기 컨트롤러는 제1 바이폴라 동작 모드, 모노폴라 동작 모드, 및 제2 바이폴라 동작 모드 사이에서 상기 ESC를 스위칭하도록 구성되고,

상기 제1 바이폴라 동작 모드는 상기 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압을 그리고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압을 인가하는 것을 포함하고,

상기 제2 바이폴라 동작 모드는 상기 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압을 그리고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압을 인가하는 것을 포함하고,

상기 모노폴라 동작 모드는 상기 적어도 2개의 전극 각각에 동일 전압을 인가하는 것을 포함하고,

상기 플라즈마 생성 디바이스에 의해 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성하는 동안, 상기 컨트롤러는, 플라즈마가 상기 플라즈마 챔버 내에 생성되는 동안 상기 ESC를 상기 제1 바이폴라 동작 모드로부터 상기 모노폴라 동작 모드로 스위칭하도록 구성되는 것인, 장치.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 컨트롤러는, 상기 플라즈마 챔버 내의 플라즈마의 생성이 종료되면 상기 ESC를 상기 모노폴라 동작 모드로부터 상기 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하도록 구성되는 것인, 장치.

청구항 20

제18항에 있어서,

상기 플라즈마 생성 디바이스에 의해 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성하는 동안, 상기 컨트롤러는 상기 ESC를 상기 모노폴라 동작 모드로부터 상기 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하도록 구성되는 것인, 장치.

청구항 21

제18항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유전체 물질의 층은 적어도 0.5 ㎜의 두께를 갖고, 선택적으로 상기 유전체 물질의 층은 적어도 1 ㎜의 두께를 갖는 것인, 장치.

청구항 22

제18항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전력 공급기는 상기 적어도 2개의 전극 중 적어도 하나의 전극에 최대 9000 V, 선택적으로 최대 6000 V의 절대값을 갖는 전압을 공급하도록 구성되는 것인, 장치.

청구항 23

제18항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전력 공급기는 상기 적어도 2개의 전극 중 적어도 하나의 전극에 적어도 4000 V, 선택적으로 적어도 5000 V의 절대값을 갖는 전압을 공급하도록 구성될 수 있는 것인, 장치.

청구항 24

제18항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유전체 물질의 층은 적어도 하나의 사파이어, 세라믹 AlN, 또는 Al_2O_3 층을 포함하는 것인, 장치.

청구항 25

제18항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유전체 물질의 층의 저항성은 25℃의 온도에서 적어도 10^{12} Ωcm인 것인, 장치.

청구항 26

제18항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유전체 물질의 층의 저항성은 25℃의 온도에서 최대 10^{15} Ωcm인 것인, 장치.

청구항 27

제18항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유전체 물질의 층의 유전상수는 25℃의 온도에서 적어도 7인 것인, 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 워크피스를 플라즈마 에칭하는 방법 및 플라즈마 에칭 장치에 사용하기 위한 정전 척(electrostatic chuck; ESC)에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 반도체 제조 산업에서의 진공 기반 플라즈마 에칭 및 성막 툴에서, 프로세스 챔버의 대기압 미만으로 인해 웨이

퍼 또는 기판으로부터 플라즈마 또는 발열 프로세스(plasma or exothermic process)에 의해 생성된 열을 제거하는 것이 어렵다. 감소된 압력은 열악한 대류와 기판으로부터 기판 지지체로의 열의 직접 전도로 인해 열 전달을 제한한다. 기판 온도의 최적 제어를 달성하기 위해, 진공 시스템에서 기판의 온도를 제어하기 위해 정전 척 또는 "ESC"가 사용된다. ESC와 기판 사이의 정전 인력(electrostatic attraction)은, 기판과 열적 제어된 ESC 사이의 양호한 열 전도를 용이하게 하도록 충분히 높은 압력에서 He와 같은 불활성 가스로 ESC의 표면과 기판 사이의 캐비티 또는 채널의 가압을 가능하게 한다. 이 프로세스는 후면 가압으로 알려져 있다. 프로세스 챔버가 ESC와 기판 사이의 압력보다 실질적으로 낮은 압력에서 동작하는 경우에도 기판의 정전 클램핑을 유지하는 것과 결과적으로 엄격한 온도 제어가 가능하다.

[0003] 일반적으로 진공 시스템에서 기판을 클램핑하는 데 사용되는 ESC의 2개의 별개의 종류, 즉 바이폴라(bipolar)("Columb") ESC 및 모노폴라(monopolar)("Johnsen-Rahbek") ESC가 있다. 두 가지 타입 모두 도 1에 도시된 바와 같이 금속 전극 또는 다중 전극이 유전체 구조체로 캡슐화되어 금속 기판 지지체에 부착된다. 일반적으로 알루미늄 또는 스테인레스 스틸로 제조되는 기판 지지체(2)는 RF 공급기(4)에 연결되고, 정전 척 ESC(6)는 기판 지지체(2)의 상부 표면에 부착된다. ESC(6)는 2개의 유전체 재료의 층 사이에 끼워진 금속 전극을 갖는다. 전극은, 두께가 0.5 ㎜보다 큰 상대적으로 두꺼운 세라믹 층의 경우, 최대 +/- 9 kV를 공급할 수 있는 고전압 DC 전력 공급기(8)에 부착된다. 폴리이미드와 같은 더 얇은 폴리머 층의 경우, 층 두께는 0.1 ㎜ 미만일 수 있으며, DC 전력은 일반적으로 +/- 2 kV 미만으로 공급된다. 일반적으로 He 또는 Ar인 냉매 가스에 대한 후면 가스 유입구는 기판 지지체(2)의 파이프(20)에 의해 제공되며 가스가 기판(12)과 ESC(6)의 표면 사이에 주입될 수 있게 한다. 냉각제 채널(10)은 냉매의 흐름을 가능하게 하여 기판 지지체(2)로부터 열을 제거하는 한편 저항성 히터(미도시)가 상승된 온도 동작을 용이하게 할 수 있다. 코팅(14)을 갖는 기판(12)의 로딩 및 언로딩은 리프트 어셈블리(18)를 사용하여 달성된다. 일반적으로 세라믹으로 형성된 차폐 링(16)은 플라즈마로부터 기판 지지체(2)를 보호하고 기판(12) 근처에서 플라즈마의 형상을 형성하는 데 도움을 준다.

[0004] 바이폴라 ESC에는 기판의 뒤에 정전기장을 생성하는 반대 극성의 적어도 2개의 전극이 있다. 이를 위해서는 기판이 전하 이동을 지원해야, 즉 기판은 반도체 또는 금속 재료로 형성되어야 한다. 반도체 및 광전자 산업에서 프로세싱되는 기판의 대부분은 그 자체가 반도체이기 때문에, 바이폴라 ESC가 널리 사용된다. 그러나, ESC와 접촉하는 기판이 전도성이 아닌 새로운 애플리케이션이 개발됨에 따라, 웨이퍼 냉각을 위한 대체 접근 방식이 필요하다.

[0005] 예를 들어, GaN 기반 마이크로 LED의 생산은, 일반적으로 사파이어 기판에 성막되는 GaN의 개별 영역의 분리를 포함한다. 이러한 타입의 애플리케이션은 진공 기반 프로세스 시스템의 열 관리 및 웨이퍼 유지에 대한 중요한 문제를 강조한다. 마이크로 LED를 분리하기 위해, 디바이스에 마스크가 적용되고, 디바이스의 커버되지 않은 GaN 층을 사파이어 기판까지 에칭하기 위해 플라즈마 에칭 프로세스가 사용된다. 이것은, 150 ㎜ 사파이어 웨이퍼에서도 40 ㎛ 미만의 치수를 갖는 수십만 개의 마이크로 LED의 분리를 초래한다. GaN 마이크로 LED는 분리되면 리프트 오프 프로세스에 의해 사파이어 기판으로부터 제거된 다음 어레이로 조립된다(assembled). 그러나, 반도체 GaN 층이 연속성을 멈춘 후에는, 종래 형태의 바이폴라 정전 클램핑 방법이 작동하지 않는다. 도 2a에 도시된 바와 같이, 사파이어와 같은 유전체 기판 상에 GaN과 같은 반도체의 연속 층이 있는 경우, 바이폴라 ESC는 GaN/사파이어와 ESC 표면 사이의 정전 인력을 통해 웨이퍼를 유지할 수 있다. 그러나, 도 2b에 도시된 바와 같이, 에칭 프로세스에서 GaN의 작은 섬이 생성되면, 개별 금속 전극이 개별 섬에 직접 커플링되고 바이폴라 커플링이 손실되므로, 클램핑이 실패한다.

[0006] 모노폴라 ESC는 단일 전위로 유지되는 전극 또는 전극들을 갖고 있으며, 정전기장을 생성하기 위해 외부 전자 소스에 의존한다. 플라즈마 챔버를 통한 플라즈마 생성은 일반적으로 접지에 대한 전류 경로를 제공하고, 결과적으로 모노폴라 ESC가 기판을 기판 지지체에 클램핑할 수 있게 한다. 도 3a 및 도 3b에 도시된 바와 같이, 모노폴라 ESC는, 전도성의 연속 층 또는 반도체 재료가 존재하는지 여부와 상관없이, 기판을 ESC에 클램핑할 것이다. 그러나 이를 위해서는 클램핑이 발생하기 전에 플라즈마가 시작되어야 하므로, ESC가 기판을 클램핑하고 냉각을 제공하기 전에 웨이퍼에 바람직하지 않은 가열이 있을 수 있다. 기판이 디클램핑될 때 문제를 일으킬 수 있기 때문에, ESC와 유전체 기판 사이의 전하 축적도 문제가 될 수 있다. 이로 인해 기판이 잘못 처리될 수 있는 처리 문제(handling problem)가 발생할 수 있다.

[0007] 대안적으로, US 9793149 B2에 도시된 바와 같이 서로 맞물린 전극을 갖는 ESC를 사용하여 유전체 기판을 클램핑할 수 있다. 서로 맞물린 ESC에는 충분한 전기장이 세라믹을 통해 웨이퍼로 전달될 수 있도록 얇은 세라믹 상부층이 필요하다. ESC는 주로 기판 간 세척 중에 플라즈마에 노출되므로, 상부 세라믹이 소모되고 이에 따라 세라

믹이 얇다는 것은 ESC 수명이 짧아진다는 것을 의미한다.

[0008] 기판을 유지하는 대체 수단은, 기계적 클램프 또는 기판 후면의 추가 전도성 코팅을 포함한다. 그러나 에지 배제(edge exclusion) 및 입자 생성은 클램프 링에 문제가 되는 반면, 유전체 기판의 하부 표면에 전도성 층을 성막하는 것은 기판으로부터 층을 추가 및 제거하여 추가 프로세스 단계를 추가하고 잠재적인 오염 문제가 발생한다.

[0009] 따라서, 유전체 기판에 대한 기판과 기판 지지체 사이의 열 전달 제어 및 필요한 클램핑을 유지할 수 있는 개선된 플라즈마 에칭 방법이 요구된다.

발명의 내용

[0010] 본 발명은 적어도 일부 실시형태에서 전술한 문제, 요구사항, 및 필요성 중, 적어도 일부를 해결하려고 노력한다.

[0011] 본 발명의 제1 양태에 따르면, 워크피스를 플라즈마 에칭하는 방법이 제공되며, 상기 방법은,

[0012] ● 플라즈마 챔버 내의 기판 지지체 상에 워크피스를 배치하는 단계 - 상기 워크피스는 유전체 기판 및 상기 유전체 기판 상의 적어도 하나의 반도체 층을 포함하고, 상기 기판 지지체는 정전 척(electrostatic chuck; "ESC")을 포함하고, 상기 ESC는 적어도 2개의 전극을 포함함 - ;

[0013] ● 상기 워크피스가 상기 ESC에 정전기적으로 클램핑되도록, 제1 바이폴라 모드의 동작에서 상기 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압을 그리고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압을 인가하는 단계;

[0014] ● 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성함으로써 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계 - 상기 플라즈마가 점화된 후 일정 시간동안, 상기 ESC의 동작은 각 전극에 동일 전압이 인가되는 모노폴라 동작 모드로 스위칭됨 - ; 및

[0015] ● 상기 ESC의 동작을, 상기 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압이 인가되고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압이 인가되는 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계를 포함한다.

[0016] 본 발명자들은, 상기 반도체 층의 상기 플라즈마 에칭 동안 상기 ESC를 바이폴라 모드와 모노폴라 모드 사이에서 스위칭함으로써, 상기 기판의 클램핑과 상기 기판으로의 그리고 상기 기판으로부터의 충분한 열 전달이 유전체 기판에 대해서도 에칭 프로세스 전반에 걸쳐 보장될 수 있음을 발견하였다.

[0017] 상기 ESC의 동작을 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계는, 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계가 종료된 후에 수행될 수 있다. 대안적으로, 상기 ESC의 동작을 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계는 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계 동안 수행될 수 있다. 상기 ESC가 제2 바이폴라 모드에 있는 동안 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마가 존재하면 유전체 기판의 전하 보유의 감소에 도움이 되며, 이는 에칭이 완료될 때 상기 챔버로부터 상기 워크피스를 제거하는 데 도움이 된다.

[0018] 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계는, 엔드 포인트(end-point)에 도달될 때까지 상기 에칭의 대부분이 수행되는 제1 벌크 에칭 페이즈(first, bulk, etch phase), 및 제2 오버 에칭 페이즈(second, over etch phase)를 포함할 수 있고, 상기 ESC의 동작을 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계는 상기 엔드 포인트에 도달할 때 또는 상기 제2 에칭 페이즈 동안 수행된다. 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계가 종료된 후에, 상기 ESC는 일정 시간 동안 상기 제2 바이폴라 동작 모드에 유지될 수 있다. 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계는, 상기 유전체 기판 상의 복수의 반도체의 개별 영역을 형성하기 위해 상기 적어도 하나의 반도체 층을 통해 에칭하는 것을 포함하고, 상기 ESC의 동작을 모노폴라 동작 모드로 스위칭하는 단계는 상기 반도체의 개별 영역의 형성 전에 수행된다. 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계가 제1 에칭 페이즈 및 제2 에칭 페이즈를 포함하는 경우, 상기 ESC의 동작을 상기 모노폴라 동작으로 스위칭하는 단계는 상기 제1 에칭 페이즈의 종료 전에 수행된다.

[0019] 각 전극에 인가되는 전압의 절대값은 제1 바이폴라 동작 모드에서 동일할 수 있다. 각 전극에 인가되는 전압의 절대값은 제2 바이폴라 동작 모드에서 동일할 수 있다. 제1 바이폴라 동작 모드에서 전극에 인가되는 전압의 절대값은 제2 바이폴라 동작 모드에서 전극에 인가되는 전압의 절대값과 동일할 수 있다. 대안적으로, 제2 바이폴라 동작 모드에서 전극에 인가되는 전압의 절대값은 제1 바이폴라 동작 모드에서 전극에 인가되는 전압의 절대값과 상이할 수 있다. 예컨대, 제2 바이폴라 동작 모드에서 전극에 인가되는 전압의 절대값은 제1 바이폴라 동작 모드에서 전극에 인가되는 전압의 절대값보다 낮을 수 있다. 제2 바이폴라 동작 모드에서의 전압의 절대값이

제1 바이폴라 동작 모드에서 인가되는 전압의 절대값보다 낮으면, 유전체 기판에 축적될 수 있는 전하를 감소시키는데 도움이 될 수 있다.

[0020] 본 발명의 제1 양태에서는, 제1 바이폴라 동작 모드에서 제1 전극에 포지티브 전압이 인가되고 제2 전극에 네거티브 전압이 인가되며, 제2 바이폴라 동작 모드에서 제1 전극에 네거티브 전압이 인가되고 제2 전극에 포지티브 전압이 인가된다. 본 발명자들은 이러한 방식으로 전극의 극성을 반전시키는 것이 유전체 기판에 축적될 수 있는 전하를 감소시키는 데 도움이 된다는 것을 발견했다. 대안적으로, 제1 바이폴라 동작 모드 및 제2 바이폴라 동작 모드 모두에서 포지티브 전압이 제1 전극에 인가될 수 있고 네거티브 전압이 제2 전극에 인가될 수 있다.

[0021] 제1 바이폴라 동작 모드에서의 전극들 중, 적어도 하나에 인가되는 전압의 절대값은 최대 9000 V, 선택적으로 최대 6000 V일 수 있다. 제1 바이폴라 동작 모드에서의 전극들 중, 적어도 하나에 인가되는 전압의 절대값은 적어도 4000 V, 선택적으로 적어도 5000 V일 수 있다. 제2 바이폴라 동작 모드에서의 전극들 중, 적어도 하나에 인가되는 전압의 절대값은 최대 9000 V, 선택적으로 최대 6000 V일 수 있다. 제2 바이폴라 동작 모드에서의 전극들 중, 적어도 하나에 인가되는 전압의 절대값은 적어도 4000 V, 선택적으로 적어도 5000 V일 수 있다. 모노폴라 동작 모드에서의 전극에 인가되는 전압의 절대값은 최대 9000 V, 선택적으로 최대 6000 V일 수 있다. 모노폴라 동작 모드에서의 전극에 인가되는 전압의 절대값은 적어도 4000 V, 선택적으로 적어도 5000 V일 수 있다.

[0022] 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성함으로써 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계는, 상기 플라즈마 챔버에 가스 또는 가스 혼합물을 도입하는 단계, 및 플라즈마 생성 디바이스를 사용하여 상기 가스 또는 가스 혼합물로부터 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성함으로써 상기 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하는 단계는 미리 결정된 압력으로 상기 플라즈마 챔버를 배기하는 단계를 포함할 수 있다. 미리 결정된 압력은 적어도 1 mTorr일 수 있다. 미리 결정된 압력은 최대 200 mTorr일 수 있다.

[0023] 상기 방법은 또한,

[0024] ● 상기 기판 지지체와 상기 유전체 기판 사이에서 상기 기판 지지체의 표면 상에 형성된 적어도 하나의 채널로 하나 이상의 불활성 가스를 도입하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0025] 상기 하나 이상의 불활성 가스는 3 내지 20 Torr의 후면 압력(back side pressure)을 초래하는 유속(flow rate)으로 상기 적어도 하나의 채널로 도입될 수 있다. 하나 이상의 불활성 가스를 도입하는 단계는 상기 ESC가 제2 바이폴라 동작 모드인 기간 동안 상기 하나 이상의 불활성 가스 또는 불활성 가스 혼합물의 유속을 감소시키는 단계를 포함할 수 있다. 선택적으로, 상기 하나 이상의 불활성 가스의 상기 적어도 하나의 채널로의 흐름이 중단되도록, 상기 적어도 하나의 불활성 가스의 유속은 제로(zero)로 감소될 수 있다. 상기 하나 이상의 불활성 가스 또는 불활성 가스 혼합물은 He 및 Ar 중, 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0026] 상기 적어도 하나의 반도체 층은 적어도 하나의 갈륨 질화물 층을 포함할 수 있다. 상기 유전체 기판은 세라믹 AlN, SiO_2, Al_2O_3, 또는 사파이어로 형성될 수 있다. 상기 유전체 기판은 사파이어로 형성될 수 있다.

[0027] 본 발명의 제2 양태에 따르면, 플라즈마 에칭 장치가 제공되고, 플라즈마 에칭 장치는,

[0028] ● 플라즈마 챔버;

[0029] ● 플라즈마 생성 디바이스;

[0030] ● 컨트롤러; 및

[0031] ● 기판 지지체를 포함하고,

[0032] 상기 기판 지지체는 정전 척("ESC")을 포함하고, 상기 정전 척은,

[0033] ● 적어도 2개의 전극;

[0034] ● 전력 공급기; 및

[0035] ● 상기 적어도 2개의 전극을 커버하고, 기판 지지체 표면을 형성하는 유전체 물질의 층을 포함하고,

[0036] 상기 컨트롤러는 상기 ESC를 제1 바이폴라 동작 모드, 모노폴라 동작 모드, 및 제2 바이폴라 동작 모드 사이에서 스위칭하도록 구성되고, 상기 제1 바이폴라 동작 모드는 상기 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압을 그리고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압을 인가하는 것을 포함하고, 상기 제2 바이폴라 동작 모드는 상기

전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압을 그리고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압을 인가하는 것을 포함하고, 상기 모노폴라 동작 모드는 상기 적어도 2개의 전극 각각에 동일 전압을 인가하는 것을 포함하고, 상기 플라즈마 생성 디바이스에 의해 상기 플라즈마 내에 플라즈마를 생성하는 동안에, 상기 컨트롤러는 상기 플라즈마 챔버 내에서 플라즈마가 생성되는 동안 상기 ESC를 상기 제1 바이폴라 동작 모드로부터 상기 모노폴라 동작 모드로 스위칭하도록 구성된다.

[0037] 본 발명자들은 플라즈마 에칭 장치가 유전체 기판을 에칭하는 경우에도 플라즈마 에칭 동안 기판의 클램핑 및 온도 제어를 성공적으로 유지할 수 있음을 발견하였다.

[0038] 상기 컨트롤러는 상기 플라즈마 챔버 내의 플라즈마의 생성이 종료되면 상기 ESC를 상기 모노폴라 동작 모드로부터 상기 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하도록 구성될 수 있다. 대안적으로, 상기 플라즈마 생성 장치에 의한 상기 플라즈마 챔버 내의 플라즈마의 생성 동안, 상기 컨트롤러는 상기 ESC를 상기 모노폴라 동작 모드로부터 상기 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭하도록 구성될 수 있다. 상기 기판 지지체는 상기 기판 지지체와 상기 기판 사이에서 상기 기판 지지체의 표면 상에 형성된 적어도 하나의 채널을 포함할 수 있다.

[0039] 상기 전력 공급기는 각각의 전극에 동일 절대값을 갖는 전압을 인가하도록 구성될 수 있다. 상기 전력 공급기는 상기 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압을 그리고 상기 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압을 공급하도록 구성될 수 있다. 상기 전력 공급기는 상기 적어도 2개의 전극 각각에 포지티브 전압 또는 네거티브 전압을 스위칭 가능하게 공급하도록 구성될 수 있다. 상기 전력 공급기는 최대 9000 V, 선택적으로 최대 6000 V의 절대값을 갖는 전압을 상기 적어도 2개의 전극 중, 적어도 하나의 전극에 공급하도록 구성될 수 있다. 상기 전력 공급기는 적어도 4000 V, 선택적으로 적어도 5000 V의 절대값을 갖는 전압을 상기 적어도 2개의 전극 중, 적어도 하나의 전극에 공급하도록 구성될 수 있다.

[0040] 상기 장치는 상기 플라즈마 챔버로 가스 또는 가스 혼합물을 도입하기 위한 적어도 하나의 가스 입구를 더 포함할 수 있고, 상기 컨트롤러는 상기 적어도 하나의 가스 입구로부터 상기 플라즈마 챔버로의 가스 또는 가스 혼합물의 흐름을 제어하도록 구성된다. 상기 장치는 상기 기판 지지체의 표면 상에 형성된 상기 적어도 하나의 채널로 하나 이상의 불활성 가스를 도입하기 위한 적어도 하나의 가스 입구를 더 포함할 수 있고, 상기 컨트롤러는 상기 적어도 하나의 가스 입구로부터 상기 적어도 하나의 채널로의 하나 이상의 불활성 가스의 흐름을 제어하도록 구성된다. 상기 컨트롤러는 상기 적어도 하나의 가스 입구를 통한 상기 적어도 하나의 채널로의 하나 이상의 불활성 가스의 유속을 제어하도록 구성될 수 있다.

[0041] 상기 유전체 물질의 층은 적어도 0.5 mm의 두께를 가질 수 있다. 선택적으로, 상기 유전체 물질의 층은 적어도 1 mm의 두께를 가질 수 있다. 유전체 물질의 층의 저항성은 25℃의 온도에서 적어도 10^{12} Ωcm일 수 있다. 유전체 물질의 층의 저항성은 25℃의 온도에서 최대 10^{15} Ωcm일 수 있다. 유전체 물질의 층의 유전상수는 25℃의 온도에서 적어도 7일 수 있다. 유전체 물질의 층은 적어도 하나의 사파이어, 세라믹 AlN, 또는 Al_2O_3 층을 포함할 수 있다.

[0042] 본 발명이 위에 설명되었지만, 이는 위에 설명된 특징, 또는 다음의 설명, 도면, 또는 청구범위에 제시된 특징의 임의의 창의적인 조합으로 확장된다. 예를 들어, 본 발명의 한 양태와 관련하여 개시된 임의의 특징은 본 발명의 임의의 다른 양태와 관련하여 개시된 임의의 특징과 조합될 수 있다.

[0043] 의심의 여지를 피하기 위해, 본 명세서에서 'comprising' 또는 'including' 및 유사한 용어에 대한 참조가 이루어질 때마다, 본 발명은 또한 'consisting' 및 'consisting essentially'와 같은 더 제한적인 용어를 포함하는 것으로 이해된다.

도면의 간단한 설명

[0044] 이제 본 발명의 실시형태가 첨부 도면을 참조하여 단지 예시로서 설명될 것이다.

도 1은 공지된 기판 지지체의 개략도이다.

도 2a 및 도 2b는, a) 반도체 층이 연속적인 동안 그리고 b) 반도체 층이 개별 영역으로 형성될 때, 유전체 기판 상에 반도체 층을 에칭하는 동안의 바이폴라 동작 모드에서의 ESC의 동작의 개략도이다.

도 3a 및 도 3b는, a) 반도체 층이 연속적인 동안 그리고 b) 반도체 층이 개별 영역으로 형성될 때, 유전체 기판 상에 반도체 층을 에칭하는 동안의 모노폴라 동작 모드에서의 ESC의 동작의 개략도이다.

도 4은 본 발명의 제1 실시형태에 따른 워크피스를 플라즈마 에칭하는 방법의 플로우차트이다.

도 5는 본 발명의 제2 실시형태에 따른 워크피스를 플라즈마 에칭하는 방법의 플로우차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0045] 다음 설명에서, 실시예는 Newport, South Wales, UK의 SPTS Technologies Limited로부터 상업적으로 이용 가능한 ICP(inductively coupled plasma) 기반 SPTS Synapse™ 플라즈마 에칭 툴에서 수행되었다. 그러나, 본 발명의 방법은 대체 플라즈마 에칭 툴에서, 바람직하게는 다른 ICP 기반 에칭 툴에서 수행될 수 있다. 실시예에서는 프로세싱될 워크피스로서 표면에 갈륨 질화물(GaN)의 층이 성막된 150 mm 사파이어 웨이퍼를 사용했다. 그러나, 본 발명의 방법은 상이한 기판 물질, 층 물질, 층 구성, 및 지오메트리(geometry)에 동등하게 적용될 수 있다.

[0046] 상이한 도면 및/또는 실시형태에서 동일한 참조 번호가 사용된 경우, 이와 관련된 피처(feature)는 실질적으로 동일한 피처에 대응한다.

[0047] 본 발명의 제1 예시적 실시형태에 따른 워크피스의 플라즈마 에칭 방법은 도 4의 플로우차트에 의해 예시된다. 본 발명의 제2 예시적 실시형태에 따른 워크피스의 플라즈마 에칭 방법은 도 5의 플로우차트에 의해 예시된다.

[0048] 본 발명의 제1 예시적 실시형태의 방법은 플라즈마 에칭 장치에서 수행될 수 있고, 상기 플라즈마 에칭 장치는, 플라즈마 챔버, 상기 플라즈마 챔버 내의 워크피스를 지지하기 위한 기판 지지체, 상기 플라즈마 챔버로 가스 또는 가스 혼합물을 도입하기 위한 적어도 하나의 가스 입구, 상기 기판 지지체의 표면 상에 형성된 적어도 하나의 채널에 하나 이상의 불활성 가스를 도입하기 위한 적어도 하나의 가스 입구, 상기 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성하기 위한 플라즈마 생성 디바이스, 및 컨트롤러를 포함한다. 기판 지지체는 정전 척("ESC")을 포함하고, 정전 척은 적어도 2개의 전극, 전력 공급기, 및 적어도 2개의 전극을 커버하고 기판 지지체 표면을 형성하는 유전체 물질의 층을 포함하고, 유전체 물질의 층은 적어도 하나의 채널을 포함한다.

[0049] 로딩 단계(101)에서, 워크피스는 플라즈마 챔버 내에 위치되고 기판 지지체 상에 위치된다. 워크피스는 통상의 기술자에게 공지된 임의의 수단에 의해 플라즈마 챔버 내로 로딩될 수 있다. 예시적 실시형태에서, 워크피스는 플라즈마 챔버 내로 로딩되고, 웨이퍼 전송 로봇에 부착된 엔드 이펙터(end effector)에 의해 기판 지지에 상에 위치된다.

[0050] 워크피스는 유전체 기판 상의 적어도 하나의 반도체 층을 포함한다. 제1 예시적 실시형태에서, 적어도 하나의 반도체 층은 GaN의 층이고, 유전체 기판은 사파이어로 형성된다. 그러나, 본 발명의 방법은 실리콘과 같은 다른 반도체 층 및 세라믹 AlN, SiO_2, 또는 Al_2O_3로 형성된 것과 같은 다른 유전체 기판에도 동일하게 적용될 수 있다. GaN 층은 상부 표면에 성막된 마스크 층 또는 포토레지스트 층과 같은 추가 층 또는 성막물(deposit)을 가질 수 있다. 도 2a, 2b, 3a, 및 3b에 도시된 바와 같이, GaN 층은 기판 에칭 중에 SiO_2 성막물 아래의 GaN 층의 에칭을 방지하는 마스크로서의 역할을 하는 GaN 층의 표면에 형성된 SiO_2의 개별 성막물을 갖는다. 이 마스크 층은 도 2b에 도시된 것처럼 기판이 ESC 및 기판 지지체에 클램핑되는 것을 허용하지 않는 GaN의 개별 "섬(island)"의 형성을 초래한다.

[0051] 플라즈마 챔버는 로딩 단계(101) 동안 진공 하에서 유지될 수 있다. 대안적으로, 플라즈마 챔버는 로딩 단계(101) 동안 대기압에 있을 수 있다.

[0052] 동작 단계(102)에서, 기판 지지체의 ESC는 기판 지지체에 워크피스를 정전기적으로 클램핑하기 위한 제1 바이폴라 동작 모드로 동작된다. 제1 바이폴라 동작 모드에서, 전력 공급기에 의해, ESC의 전극 중 하나의 전극에 포지티브 전압이 인가되고 ESC의 전극 중 다른 전극에 네거티브 전압이 인가된다. ESC가 2개보다 많은 전극을 포함하는 경우, 제1 그룹의 전극에 포지티브 전압이 인가될 수 있고 제2 그룹의 전극에 네거티브 전압이 인가될 수 있고, 또는 그 반대일 수 있다. 예시적 실시형태에서, 포지티브 전압 및 네거티브 전압은 동일 절대값, 예컨대 +9000 V 및 -9000 V를 가질 수 있다. 포지티브 전압 및 네거티브 전압의 값은 기판의 두께 및 유전 특성에 따라 선택될 것이다. 적어도 2개의 전극에 전력을 공급하는 수단은 바람직하게는 ESC의 적어도 2개의 전극 각각에 포지티브 전압 및 네거티브 전압을 스위칭 가능하게 인가할 수 있는 고전압 전력 공급기이고, 바람직하게는 고전압 전력 공급기는, 각 전극의 극성이 전극에 대한 전력 공급을 변경하지 않고도 반전될 수 있도록 적어도 2개의 전극 각각에 포지티브 전압 및 네거티브 전압을 스위칭 가능하게 인가할 수 있다. 전력 공급기는 바람직하게는 각 전극에 최대 +/- 9000 V의 전압을 공급할 수 있다.

[0053] 예시적 실시형태에서, ESC가 제1 바이폴라 동작 모드에서 동작하면, 가스 도입 단계에서 ESC의 표면 상에 형성

된 적어도 하나의 채널로 하나 이상의 불활성 가스가 도입된다. 이러한 불활성 가스(들)의 흐름은 특히 챔버가 비워진 경우 기판 지지체와 기판 사이의 향상된 열 전도를 허용하고, 불활성 가스(들)의 흐름은 기판을 가열하거나 더 일반적으로 냉각하는 데 사용될 수 있다. 플라즈마 챔버가 진공 상태로 유지되는 경우, 챔버 내의 압력은 일반적으로 1 mTorr 내지 200 mTorr이고, 하나 이상의 불활성 가스 흐름은 일반적으로 3 Torr 내지 20 Torr의 후면 압력을 초래한다. 예시적 실시형태에서, 하나 이상의 불활성 가스는 He이다.

[0054] ESC가 제1 바이폴라 동작 모드에 있으면, 플라즈마 에칭 단계(103)에서 적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하기 위해 플라즈마 챔버 내에 플라즈마가 생성된다. 플라즈마는 공지 기술에 의한 플라즈마 생성 디바이스를 사용하여 플라즈마 챔버 내에 생성될 수 있다. 예시적 실시형태에서, 가스 또는 가스 혼합물이 적어도 하나의 가스 입구를 통해 플라즈마 챔버 내에 도입되고, 기판 지지체를 바이어싱하기 위해 RF 전력 공급기 및 ICP 소스를 포함하는 플라즈마 생성 디바이스는 가스 또는 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하도록 구성된다. ICP 소스 및 RF 전력 공급기는 모두 13.56 Mhz의 주파수에서 동작한다. 선택되는 가스 또는 가스 혼합물은 에칭될 적어도 하나의 반도체 층 및 원하는 특정 반응 조건에 따를 것이다. 사파이어 상에 GaN 층을 에칭하는 예시적 실시형태에서, 가스 또는 가스 혼합물은 Cl_2, BCl_3, 및 Ar 가스의 혼합물을 포함한다. 가스 또는 가스 혼합물이 가스 혼합물을 포함하는 경우, 이 가스들은 단일 가스 입구를 통해 플라즈마 챔버에 도입되거나 가스 혼합물의 각각의 개별 가스 성분에 대한 각각의 가스 입구를 통해 플라즈마 챔버로 도입될 수 있다.

[0055] 플라즈마가 생성되고 기판의 에칭이 시작되면, ESC는 제1 스위칭 단계(104)에서 제1 바이폴라 동작 모드로부터 모노폴라 동작 모드로 스위칭된다. 모노폴라 동작 모드에서, 각 전극이 동일 극성으로 유지되도록, ESC 내의 각각의 전극에 동일 전압이 인가된다. 예컨대, 각 전극에는 전력 공급기에 의해 -6000 V의 전압이 인가될 수 있다. 포지티브 또는 네거티브 전압의 선택은 에칭될 기판 및 생성된 플라즈마의 특성(nature)에 따를 것이다.

[0056] ESC가 제1 바이폴라 동작 모드로부터 모노폴라 동작 모드로 스위칭되는 포인트는 에칭될 기판 및 수행되는 특정 에칭에 따를 것이다. 예컨대, GaN 층이 아래의 사파이어 층까지 에칭되는 예시적 실시형태에서, 제1 바이폴라 동작 모드에서의 유전체 기판 상의 반도체 물질의 개별 영역을 클램핑하는 이슈를 회피하기 위해, 반도체의 개별 영역을 형성하도록 GaN 층이 완전히 에칭되기 전에, ESC는 모노폴라 동작 모드로 스위칭될 것이다. 그러나, 각 경우에, ESC의 제1 바이폴라 동작 모드로부터 모노폴라 동작 모드로의 스위칭은 기판 지지체에 대한 워크피스의 충분한 클램핑을 보장하기 위해 플라즈마가 생성된 후에 발생한다.

[0057] 제1 예시적 실시형태에서, ESC가 모노폴라 동작 모드로 스위칭된 후, 정지 단계(105)에서 플라즈마 챔버 내의 플라즈마 생성이 정지된다. 예시적 실시형태에서, 정지 단계(105)는 플라즈마 챔버로의 가스 또는 가스 혼합물의 흐름을 종료하는 단계 및 RF 전력 공급기 및 ICP 소스의 동작을 종료하는 단계를 포함한다. 정지 단계(105)는 일반적으로 예를 들어 광학 간섭계와 같은 표준 기술을 사용하여 플라즈마 에칭이 완료되었다고 결정되면 수행될 것이다. 일부 실시형태에서, 적어도 하나의 반도체 층의 플라즈마 에칭은, 반도체 물질의 에칭 및 제거의 대부분이 엔드 포인트(end-point)에 도달할 때까지 수행되는 제1 벌크 에칭 페이즈, 및 플라즈마 에칭 프로세스에 의해 형성된 피처가 완전히 형성될 때까지 플라즈마가 유지되는 제2 오버 에칭 페이즈를 포함하고, 정지 단계(105)는 오버 에칭 페이즈가 완료된 후에 발생한다. 후면 가압이 존재하는 경우, 적어도 하나의 채널로의 하나 이상의 불활성 가스의 흐름은 플라즈마 생성의 종료와 함께 감소되거나 중단될 수 있다.

[0058] 제1 예시적 실시형태에서, 정지 단계(105)에서 플라즈마 생성이 정지되면, ESC는 제2 스위칭 단계(106)에서 모노폴라 동작 모드로부터 제2 바이폴라 동작 모드로 스위칭된다. 제1 바이폴라 동작 모드에서와 같이, 제2 바이폴라 동작 모드에서는 전극들 중 하나의 전극에 포지티브 전압이 인가되고 전극들 중 다른 전극에 네거티브 전압이 인가된다. 제2 바이폴라 동작 모드는 제1 바이폴라 동작 모드와 유사할 수 있고, 제1 바이폴라 동작 모드에서 포지티브 전압이 인가된 전극은 또한 제2 바이폴라 동작 모드에서 인가된 포지티브 전압을 갖고, 제1 바이폴라 동작 모드에서 네거티브 전압이 인가된 전극은 또한 제2 바이폴라 동작 모드에서 인가된 네거티브 전압을 갖는다. 선택적으로, 제2 바이폴라 동작 모드에서 인가되는 전압의 절대값은 제1 바이폴라 동작 모드에서 인가되는 전압의 절대값과 동일할 수 있다. 예를 들어, 제1 바이폴라 동작 모드와 제2 바이폴라 동작 모드 모두에서, 하나의 전극에 +6000 V의 전압이 인가될 수 있고 다른 전극에는 -6000 V의 전압이 인가될 수 있다. 대안적으로, 제2 바이폴라 동작 모드에서 인가되는 전압의 절대값은 제1 바이폴라 동작 모드에서 인가되는 전압의 절대값과 상이할 수 있다. 예를 들어, 제1 바이폴라 동작 모드에서는 하나의 전극에 +6000 V의 전압이 인가되고, 다른 전극에는 -6000 V의 전압이 인가될 수 있으며, 각각 동일한 전극들은 제2 바이폴라 동작 모드에서 인가된 +5000 V와 -5000 V의 전압을 가질 수 있다. 일 실시형태에서, 전극에 인가된 전압의 극성은 제1 바이폴라 동작 모드와 제2 바이폴라 동작 모드 사이에서 변경될 수 있다. 예컨대, 제1 바이폴라 동작 모드에서, 제1

전극에 포지티브 전압이 인가되고, 제2 전극에 네거티브 전압이 인가되며, 제2 바이폴라 동작 모드에서, 제1 전극에 네거티브 전압이 인가되고 제2 전극에 포지티브 전압이 인가된다. 이러한 전극 극성의 역전은 유전체 기판의 전하 축적을 감소시키는 데 도움이 될 수 있으며, 이는 기판 지지체로부터의 전하 제거를 용이하게 한다.

[0059] 플라즈마 생성이 종료되고 유전체 기판의 임의의 전하 축적이 제거되면, ESC가 턴오프되고 기판이 기판 지지체로부터 제거되며, 후속적으로 제거 단계(107)에서 플라즈마 챔버가 제거된다. 기판 지지체의 표면 위로 워크피스를 리프트하기 위한 리프트 메커니즘과 같은 임의의 공지의 방법에 의해 기판 지지체로부터 워크피스가 제거될 수 있고, 웨이퍼 전달 로봇에 부착된 엔드 이펙터(end effector) 등에 의한 로딩 단계(101)에서 도입되는 것과 동일 방법에 의해 플라즈마 챔버로부터 워크피스가 제거될 수 있다.

[0060] 제2 예시적 실시형태에서, 다수의 피처는 제1 예시적 실시형태에서 설명한 것과 동일하다. 예를 들어, 로딩 단계(201), 동작 단계(202), 플라즈마 에칭 단계(203), 제1 스위칭 단계(204), 및 제거 단계(207)는 로딩 단계(101), 동작 단계(102), 플라즈마 에칭 단계(103), 제1 스위칭 단계(104), 및 제거 단계(107)와 각각 실질적으로 동일하다. 그러나, 제2 예시적인 실시형태는 제2 스위칭 단계(205)가 정지 단계(206) 전에 발생하여 플라즈마가 여전히 생성되는 동안 ESC가 제2 바이폴라 동작 모드에서 동작한다 점에서 제1 예시적 실시형태와 다르다. 플라즈마가 여전히 존재하는 동안 제2 바이폴라 동작 모드로의 스위칭은 유전체 기판 상의 전하 축적을 감소시키는 데 추가로 도움이 될 수 있다.

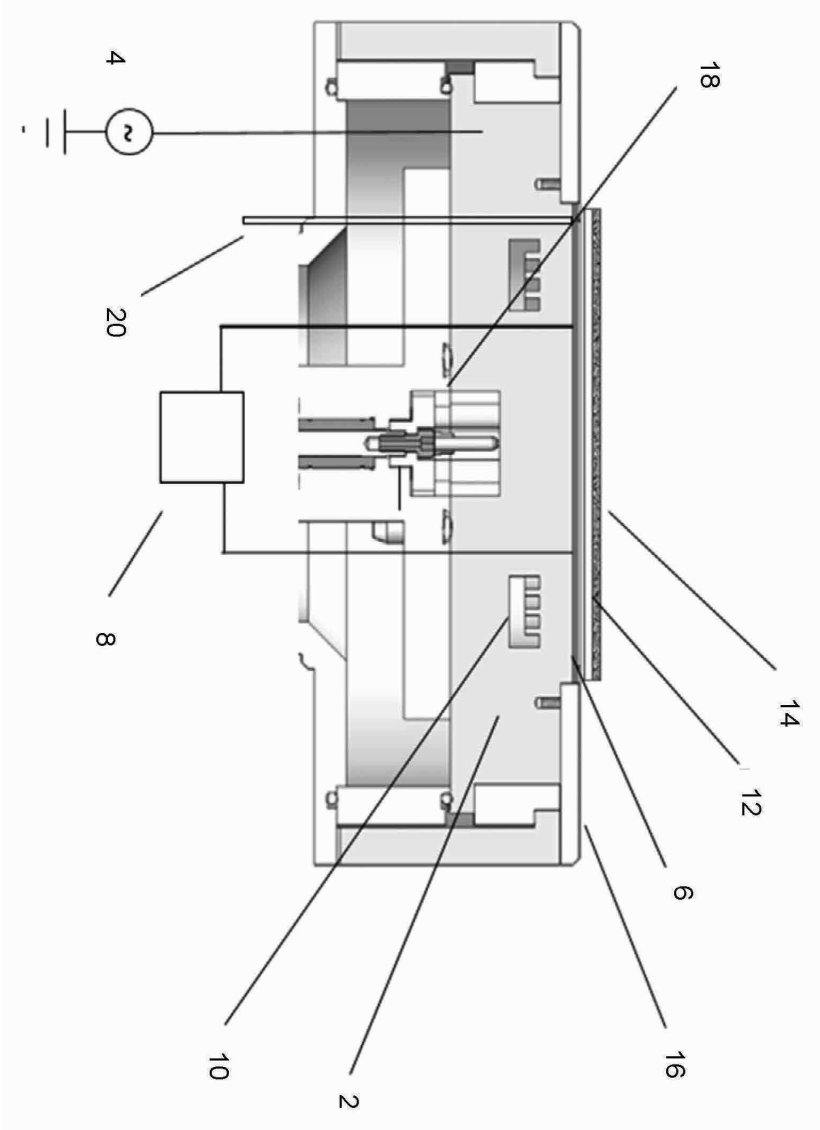
[0061] 제2 예시적 실시형태에서, ESC는 정지 단계(206) 이후 제거 단계(207)를 위해 ESC가 턴오프될 때까지의 기간 동안 제2 바이폴라 동작 모드로 유지될 수 있다. 오버 에칭이 수행되는 실시형태에서, 제2 스위칭 단계(205)는 벌크 에칭의 종료 시 또는 오버 에칭 동안 수행될 수 있다.

[0062] [실시예]

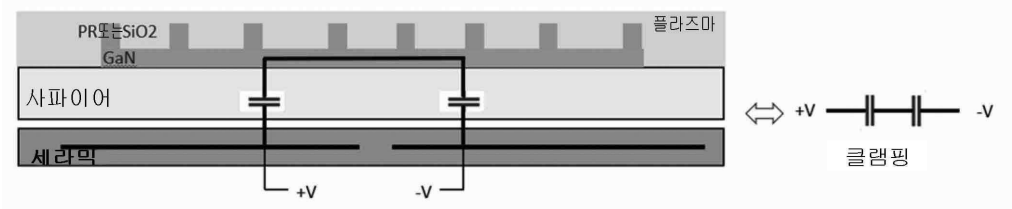
[0063] 1 mm 두께의 사파이어 층 상에 5 μm 두께의 GaN 층을 포함하고 GaN 층의 표면에 2 μm 두께의 SiO_2 하드 마스크가 성막된 워크피스가 SPTS Technologies Ltd Synapse™ ICP 플라즈마 에칭 툴에 로딩되었고, GaN 층은 $Cl_2/BCl_3/Ar$ 플라즈마를 사용하여 에칭되었다. ICP 소스와 RF 바이어스 모두 13.56 MHz RF 전력 공급기를 사용했다. 오버 에칭을 위해 모노폴라 동작 모드(제1 및 제2 전극 모두 -6000 V임)로 스위칭되기 전에 GaN 층이 에칭될 때까지, 바이폴라 동작 모드(제1 전극은 +6000 V, 제2 전극은 -6000 V)에서 동작되는 듀얼 전극 ESC에 의해 워크피스가 클램핑되었다. 플라즈마 에칭이 종료된 후, ESC는 제2 바이폴라 동작 모드(제1 전극은 +6000 V, 제2 전극은 -6000 V)로 스위칭되었다. 워크피스의 온도가 원하는 레벨로 성공적으로 유지되었으며 기판이 전체적으로 성공적으로 클램핑된 것으로 확인되었다.

도면

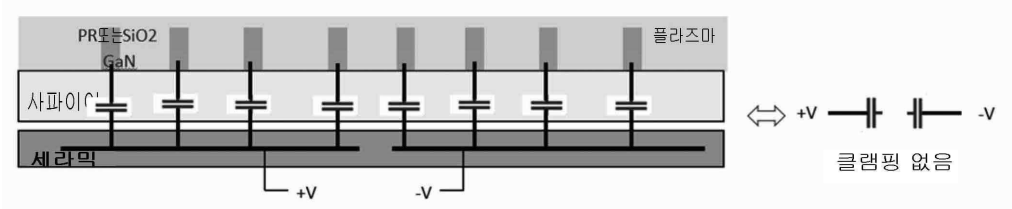
도면1



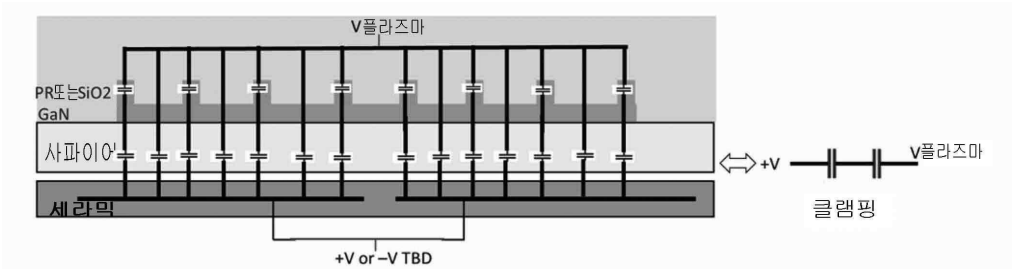
도면2a



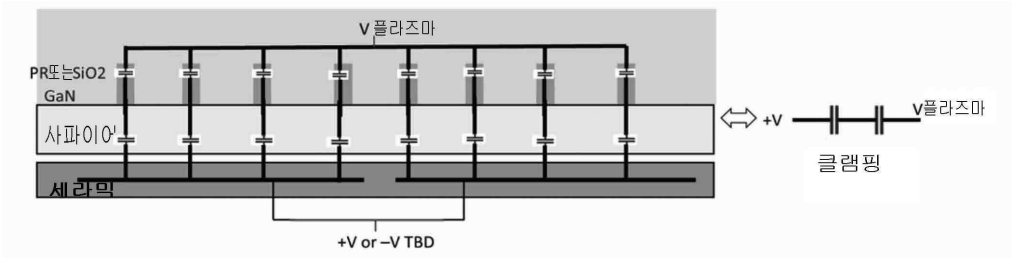
도면2b



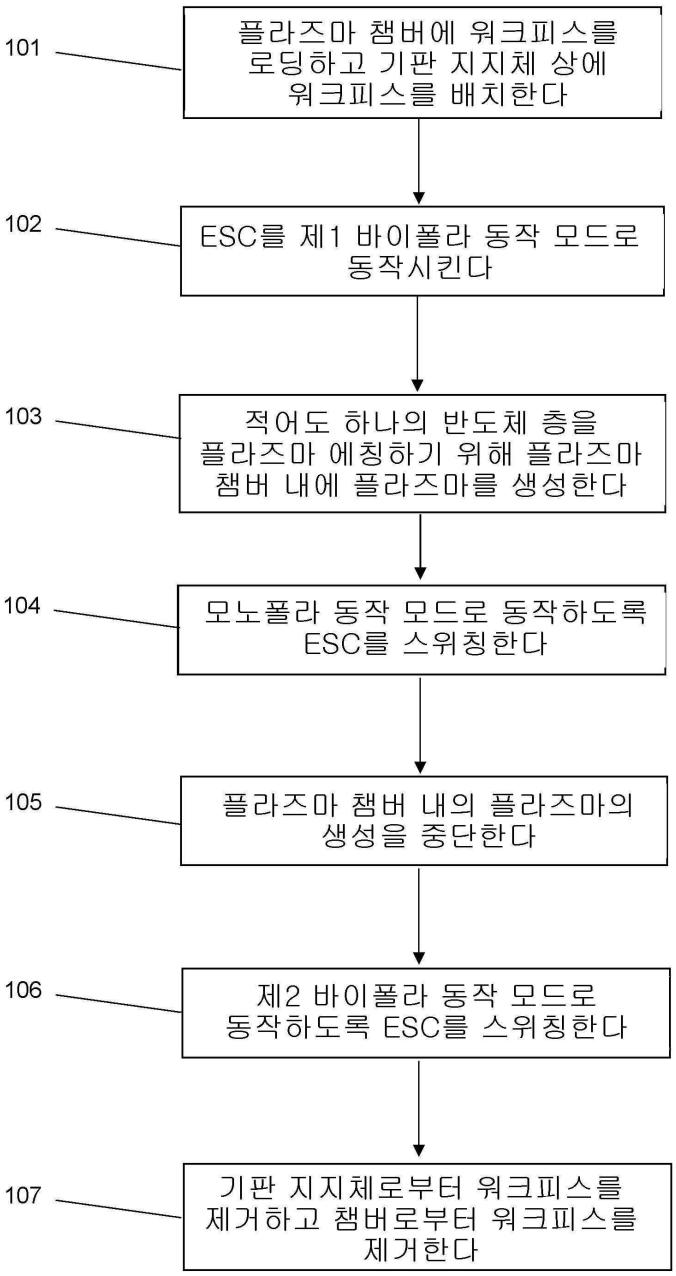
도면3a



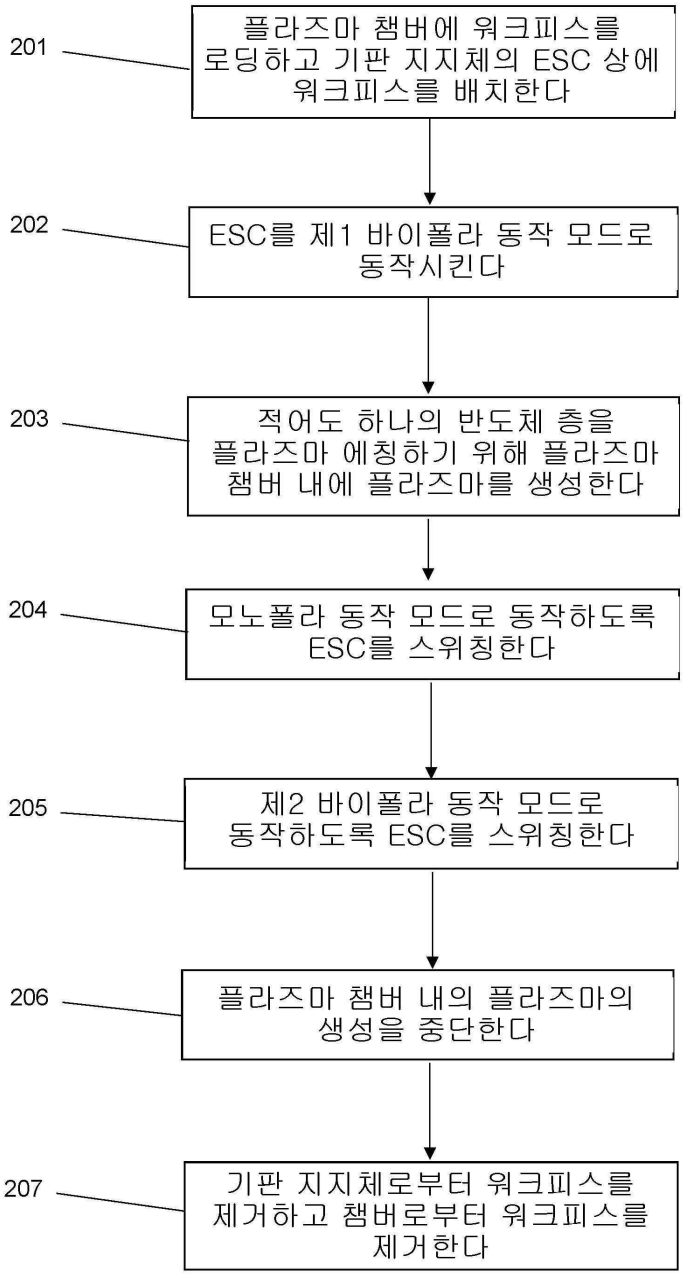
도면3b



도면4


101
플라즈마 챔버에 워크피스를 로딩하고 기판 지지체 상에 워크피스를 배치한다
102
ESC를 제1 바이폴라 동작 모드로 동작시킨다
103
적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하기 위해 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성한다
104
모노폴라 동작 모드로 동작하도록 ESC를 스위칭한다
105
플라즈마 챔버 내의 플라즈마의 생성을 중단한다
106
제2 바이폴라 동작 모드로 동작하도록 ESC를 스위칭한다
107
기판 지지체로부터 워크피스를 제거하고 챔버로부터 워크피스를 제거한다

도면5


201
플라즈마 챔버에 워크피스를 로딩하고 기판 지지체의 ESC 상에 워크피스를 배치한다
202
ESC를 제1 바이폴라 동작 모드로 동작시킨다
203
적어도 하나의 반도체 층을 플라즈마 에칭하기 위해 플라즈마 챔버 내에 플라즈마를 생성한다
204
모노폴라 동작 모드로 동작하도록 ESC를 스위칭한다
205
제2 바이폴라 동작 모드로 동작하도록 ESC를 스위칭한다
206
플라즈마 챔버 내의 플라즈마의 생성을 중단한다
207
기판 지지체로부터 워크피스를 제거하고 챔버로부터 워크피스를 제거한다