



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년09월23일
(11) 등록번호 10-1310821
(24) 등록일자 2013년09월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/687 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2006-0073962
(22) 출원일자 2006년08월04일
심사청구일자 2011년07월04일
(65) 공개번호 10-2007-0017079
(43) 공개일자 2007년02월08일
(30) 우선권주장
11/198,489 2005년08월05일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
KR1019990022554 A
KR1019990029782 A
KR1020030088641 A
JP2004119987 A
전체 청구항 수 : 총 20 항

(73) 특허권자
램 리써치 코포레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
(72) 발명자
가프 키스 윌리엄
미국 94538 캘리포니아주 프리몬트 카힐 스트리트 4406
벤자민 닐 마틴 폴
미국 94303 캘리포니아주 이스트 팔로 알토 그린 스트리트 216
(74) 대리인
오세일

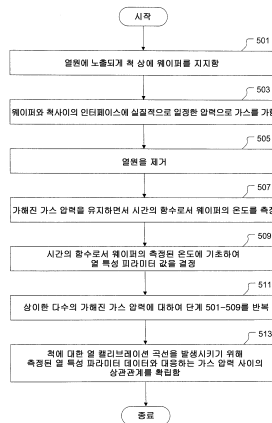
심사관 : 백진욱

(54) 발명의 명칭 **칙 열 캘리브레이션을 위한 방법 및 장치**

(57) 요약

웨이퍼 온도는 웨이퍼가 노출된 열원의 제거 후에 시간의 함수로서 측정된다. 웨이퍼 온도 측정 동안, 가스는 웨이퍼와 웨이퍼를 지지하는 척 사이의 인터페이스에서 실질적으로 일정한 압력으로 제공된다. 가해진 가스 압력에 대응하는 척 열 특성 파라미터 값은, 시간의 함수로서, 측정된 웨이퍼 온도로부터 결정된다. 웨이퍼 온도는, 가스 압력의 함수로서 척 열 특성 파라미터 값들의 세트를 발생시키기 위해서 다수의 가해진 가스 압력에 대하여 측정된다. 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선은, 측정된 척 열 특성 파라미터들의 세트와 대응하는 가스 압력들로부터 발생된다. 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선은, 제조공정동안 특정 웨이퍼 온도를 얻기 위해, 가스 압력을 튜닝하도록 이용될 수 있다.

대표도 - 도5



특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 열원에 노출되게 척 상에 웨이퍼를 지지하는 단계;
- (b) 상기 웨이퍼와 상기 척사이의 인터페이스에 실질적으로 일정한 압력으로 가스를 가하는 단계;
- (c) 상기 열원을 제거하는 단계;
- (d) 가해진 가스 압력을 유지하면서, 상기 열원의 제거 후에 시간의 함수로서 상기 웨이퍼의 온도를 측정하는 단계;
- (e) 시간의 함수로서의 상기 웨이퍼의 상기 측정된 온도에 기초하여, 척 열 특성 파라미터 값을 결정하는 단계로서, 상기 결정된 척 열 특성 파라미터 값은 상기 가해진 가스 압력에 대응하는, 상기 결정 단계;
- (f) 다수의 상이한 가해진 가스 압력에 대하여 상기 단계 (a) 내지 단계 (e)를 반복하는 단계; 및
- (g) 상기 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선을 발생시키기 위하여, 상기 결정된 척 열 특성 파라미터 값과 대응하는 가스압력 사이의 상관관계를 확립하는 단계를 포함하는, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 가해진 가스 압력 이외의 상기 척의 제어 파라미터를, 웨이퍼 제조 공정에서 상기 척의 사용 동안에 가해질 값으로 설정하는 단계를 더 포함하는, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 척에 대한 상기 열 캘리브레이션 곡선에 따라 특정 척 열 특성 파라미터 값을 얻기 위해 요구되는 가스 압력을 결정하는 단계를 더 포함하며,

상기 특정 척 열 특성 파라미터 값은 상기 척의 타겟 열 성능에 대응하는, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 척의 상기 타겟 열 성능은 웨이퍼 제조 공정동안 타겟 웨이퍼 온도에 대응하는, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 열원은, 실질적으로 일정한 전력 레벨로 유지되는 플라즈마인, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 가해진 가스 압력들과 결합되어 고려될 추가적인 열 영향 파라미터의 다수의 상이한 값들에 대하여 단계 (a)내지 단계(f)를 반복하는 단계; 및

상기 척에 대한 다중-파라미터 열 캘리브레이션 곡선을 발생시키기 위해, 상기 결정된 척 열 특성 파라미터 값들과, 가스 압력 값들과 추가적인 열 영향 파라미터 값들의 결합물과의 사이에 상관관계를 확립하는 단계를 더 포함하고,

상기 추가적인 열 영향 파라미터는 척 냉각장치 온도와 척 히터 온도 중 적어도 하나를 포함하는, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 척 열 특성 파라미터 값은, 시간의 함수로서 상기 웨이퍼의 상기 측정된 온도를 나타내는 수학적 모델 내에서 시상수 값으로 정의되는, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 척 열 특성 파라미터 값은 상기 척의 유효 열 전도도 값으로 정의되는, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 다수의 상이한 가해진 가스 압력은 5토르(torr)부터 100토르까지 확장되는 범위내에 있는, 척의 열 캘리브레이션 수행 방법.

청구항 10

웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼 온도를 제어하는 방법으로서,

상기 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼를 고정하기 위해 사용될 척에 대한 타겟 열 특성 파라미터 값을 결정하는 단계;

상기 척에 대한 상기 타겟 열 특성 파라미터 값에 대응하는 후측 가스 압력값을 결정하기 위해 상기 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선을 검사하는 단계로서, 후측 가스 압력은 상기 웨이퍼와 상기 척 사이의 인터페이스에 가해진 가스의 압력에 대응하는, 상기 검사 단계; 및

상기 후측 가스 압력을, 상기 척에 대한 상기 타겟 열 특성 파라미터 값에 대응하는 값으로 설정하는 단계를 포함하는, 웨이퍼 온도의 제어 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 척에 대한 상기 타겟 열 특성 파라미터 값은, 상기 웨이퍼 제조 공정동안 타겟 웨이퍼 온도를 발생시키는 상기 척의 타겟 열 성능에 대응하는, 웨이퍼 온도의 제어 방법.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 척에 대한 상기 타겟 열 특성 파라미터 값은 상기 척의 타겟 유효 열 전도도 값으로 정의되는, 웨이퍼 온도의 제어 방법.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 척에 대한 상기 타겟 열 특성 파라미터 값은 상기 척을 통한 열 전달에 대한 타겟 시상수 값으로 정의되는, 웨이퍼 온도의 제어 방법.

청구항 14

제 10 항에 있어서,

상기 웨이퍼와 상기 척 사이의 상기 인터페이스에 가해진 상기 가스는 헬륨인, 웨이퍼 온도의 제어 방법.

청구항 15

제 10 항에 있어서,

상기 척에 대한 상기 타겟 열 특성 파라미터 값에 대응하는 값에서 상기 후측 가스 압력을 유지하는 동안 상기 웨이퍼에 대한 제조공정을 수행하는 단계를 더 포함하며,

상기 후측 가스 압력은 상기 제조공정동안 상기 웨이퍼 온도를 제어하는, 웨이퍼 온도의 제어 방법.

청구항 16

제 10 항에 있어서,

- (a) 열원에 노출되게 상기 척 상에 상기 웨이퍼를 고정하고,
- (b) 상기 웨이퍼와 상기 척 사이의 상기 인터페이스에 실질적으로 일정한 압력으로 상기 가스를 가하고,
- (c) 상기 열원을 제거하고,
- (d) 가해진 가스 압력을 유지하면서, 상기 열원을 제거한 후에 시간의 함수로서 상기 웨이퍼의 온도를 측정하고,
- (e) 시간의 함수로서의 상기 웨이퍼의 상기 측정된 온도에 기초하여, 상기 가해진 가스압력과 관련된 열 특성 파라미터 값을 결정하고,
- (f) 다수의 상이한 가해진 가스 압력에 대하여 상기(a) 내지 (e)동작을 반복하고,
- (g) 상기 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선을 발생시키기 위하여, 상기 결정된 열 특성 파라미터 값과 관련 가스 압력들 사이의 상관관계를 확립함으로써,

상기 척에 대한 상기 열 캘리브레이션 곡선을 발생시키는 단계를 더 포함하는, 웨이퍼 온도의 제어 방법.

청구항 17

웨이퍼 제조공정동안 웨이퍼 온도 제어를 제공하는 시스템으로서,

플라즈마에 노출되게 웨이퍼를 고정하도록 정의되며, 상기 웨이퍼와 척 사이의 인터페이스에 가스를 공급하는 다수의 포트들을 포함하는, 상기 척;

상기 웨이퍼와 상기 척 사이의 상기 인터페이스에 공급된 상기 가스의 압력을 제어하도록 정의된 가스 제어기; 및

상기 가스 제어기를 제어하며, 상기 척에 대한 열 캘리브레이션 데이터를 포함하는 컴퓨팅 디바이스를 포함하며,

상기 열 캘리브레이션 데이터는, 타겟 웨이퍼 온도를 유지하기 위해 상기 컴퓨팅 디바이스로부터 상기 가스 제어기까지 전달될 가스 압력 세팅을 특정하는, 웨이퍼 온도 제어를 제공하는 시스템.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 척에 대한 상기 열 캘리브레이션 데이터는, 상기 웨이퍼와 상기 척사이의 상기 인터페이스에 공급된 상기 가스의 상기 압력의 함수로서 상기 척의 열 특성 파라미터를 나타내는, 웨이퍼 온도 제어를 제공하는 시스템.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 척의 상기 열 특성 파라미터는 상기 척의 유효 열 전도도 또는 상기 척을 통한 열 전달에 대한 시상수인, 웨이퍼 온도 제어를 제공하는 시스템.

청구항 20

제 17 항에 있어서,

상기 타겟 웨이퍼 온도는, 상기 열 캘리브레이션 데이터에 의해 나타내어진 특정 타겟 열 특성 파라미터 값에

상관되는, 웨이퍼 온도 제어를 제공하는 시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

[0012] 반도체 웨이퍼(이하 웨이퍼)제조는 종종 플라즈마의 반응 물질이 웨이퍼의 표면을 변형시키도록 웨이퍼를 플라즈마에 노출시키는 단계, 예를 들어, 웨이퍼 표면의 비보호 지역으로부터 재료의 제거를 포함한다.

[0013] 플라즈마 제조 공정 후의 결과적인 웨이퍼 특성은 플라즈마 특성과 웨이퍼 온도를 포함하는, 공정 조건들에 의존한다. 예로써, 일부의 플라즈마 공정에서, 웨이퍼 표면에서의 임계치수(critical dimension), 즉, 피처(feature) 폭은, 웨이퍼 온도의 0℃당 약 1나노미터만큼 변할 수 있다. 다른 상황에서는, 동일한 웨이퍼 제조공정들 간의 웨이퍼 온도의 차가 상이한 웨이퍼 표면 특성을 초래한다는 것을 알 수 있다. 따라서, 상이한 웨이퍼들 간의 공정 결과의 드리프트는 플라즈마 처리 동안 웨이퍼온도의 변동으로 초래될 수 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

[0014] 웨이퍼 제조에서의 일반적인 목적은 소정 타입의 각 웨이퍼를 가능한 동일한 방식으로 제조하는 것이다. 이런 웨이퍼대 웨이퍼의 균일성 목적을 만족시키기 위해서, 결과적인 웨이퍼 특성에 영향을 미치는 제조 파라미터들을 제어하는 것이 필요하다. 따라서, 플라즈마 제조 공정동안 웨이퍼 온도를 제어하는 것이 필요하다. 웨이퍼 제조에 대한 현재의 플라즈마 처리 장치는 효과적인 웨이퍼 온도 제어 능력을 포함하지 않는다. 따라서, 플라즈마 제조 공정동안 웨이퍼 온도의 정확한 제어가 필요하다.

발명의 구성 및 작용

[0015] 본 발명은 공정, 장치, 시스템, 디바이스 또는 방법 같은 다양한 방식으로 실시될 수 있다. 본 발명의 수개의 창의적인 실시형태들이 아래에서 기술된다.

[0016] 일 실시형태로서, 척의 열 캘리브레이션을 수행하는 방법이 개시된다. 이 방법은 열원에 노출되게 척 상에 웨이퍼를 지지하는 동작을 포함한다. 이 방법은 웨이퍼와 척사이의 인터페이스에 실질적으로 일정한 압력에서 가스를 가하는 동작을 계속한다. 그 후, 열원을 제거한다. 열원을 제거한 후에, 가해진 가스 압력을 유지하면서, 웨이퍼의 온도를 시간의 함수로서 측정한다. 또한, 이 방법은 시간의 함수로서 측정된 웨이퍼의 온도에 기초하여 척 열 특성 파라미터 값을 결정하는 동작을 더 포함한다. 그 결정된 척 열 특성 파라미터 값은 가해진 가스 압력에 직접적으로 상관된다. 전술한 방법 동작들은 가스 압력의 함수로서 척 열 특성 파라미터 값들의 세트를 발생시키기 위해 상이한 다수의 가해진 가스 압력에 대하여 반복된다. 그 후, 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선을 발생시키기 위하여, 측정된 척 열 특성 파라미터 값들 및 대응하는 가스압력 사이에 상관관계가 확립된다. 척에 대하여 발생된 열 캘리브레이션 곡선을 사용하여, 가스 압력은 특정 열 특성 파라미터 값에 대하여 결정될 수 있고, 반대로 특정 열 특성 파라미터 값도 가스 압력에 대하여 결정될 수 있음을 알 수 있다. 또한, 척에 대하여 열 캘리브레이션 곡선에서 나타난 열 특성 파라미터는 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼 온도에 직접적으로 상관될 수 있다.

[0017] 다른 실시형태에서는, 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼 온도를 제어하는 방법이 개시된다. 이 방법은 척에 대한 타겟 열 특성 파라미터 값을 결정하는 동작을 포함한다. 이 척은 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼를 고정(hold)하기 위해 사용된다. 또한, 이 방법은 척에 대한 타겟 열 특성 파라미터 값에 대응하는 후측 가스 압력 값을 결정하기 위해 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선을 조사하는 동작을 더 포함한다. 이 후측의 가스 압력은 웨이퍼와 척 사이의 인터페이스에서 가해진 가스의 압력에 대응한다. 또한, 이 방법은 척에 대한 타겟 열 특성 파라미터 값에 대응하는 값으로 후측의 가스 압력을 설정하는 동작을 더 포함한다. 이 후측의 가스 압력은 제조 공정동안 웨이퍼 온도를 제어하도록 기능한다.

[0018] 다른 실시형태에서는, 웨이퍼 제조공정동안 웨이퍼온도 제어를 제공하는 시스템에 관한 발명이 개시된다. 이 시스템은 플라즈마에 노출되게 웨이퍼를 고정하도록 정의된 척을 포함한다. 이 척은, 웨이퍼와 척사이의 인터페이스에 가스를 공급하는 다수의 포트를 포함한다. 또한, 이 시스템은, 웨이퍼와 척사이의 인터페이스

에 공급된 가스의 압력을 제어하도록 정의된 가스 제어를 포함한다. 또한, 이 시스템은 가스 제어를 제어하는 컴퓨팅 디바이스를 더 포함한다. 이 컴퓨팅 시스템은, 척에 대한 열 캘리브레이션 데이터를 포함하며, 그 열 캘리브레이션 데이터는 타겟 웨이퍼 온도를 유지하기 위해 컴퓨팅 디바이스부터 가스 제어기까지 전달될 가스 압력 세팅을 특정한다.

[0019] 본 발명의 다른 양태와 이점들은 본 발명의 예로써 도시된, 첨부 도면들과 연결되어, 아래의 상세한 설명으로부터 더 명확히 알 수 있을 것이다.

[0020] 이하 상세한 설명에서, 본 발명의 철저한 이해를 위해 수많은 특정 세부사항들이 제시된다. 그러나, 본 발명은 이러한 특정 세부사항들의 일부 또는 그 모두가 없어도 실시될 수 있음은 당업자에게 자명할 것이다. 다른 경우, 널리 공지된 공정 동작들은 본 발명을 불필요하게 모호하게 하지 않기 위해서 자세히 기술하지 않았다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른, 반도체 웨이퍼(이하 "웨이퍼") 처리를 위한 플라즈마 챔버(100)의 일반적인 표현을 도시한 도면이다. 챔버(chamber; 100)는 주위의 벽들(101), 상부(102), 저부(104)에 의해 정의된다. 척(103)은 챔버(100)내에서 발생될 플라즈마(107)에 노출되게 웨이퍼(105)를 고정하기 위해 챔버(100)내에 배치된다. 일 실시형태에서, 척(103)은 플라즈마(107)에서 이온들을 웨이퍼(105)로 끌어들이도록 전기적으로 충전될 수 있는 정전 척(ESC:Electrostatic chuck)으로 정의된다. 일 실시형태에서, 코일(109)은 챔버 내부 공간(volume) 내에서 플라즈마(107)를 발생시켜 에너지를 공급하기 위해 챔버의 상측에서 정의된다.

[0022] 동작 동안, 반응 가스는 챔버(100)를 통해 가스 인입 포트(미도시)부터 가스 배출 포트(미도시)까지 흐른다. 그 후, 고주파 전력(즉, RF전력)은 RF전류가 코일(109)을 통해 흐르게 하기 위해 전원장치(미도시)부터 코일(109)까지 인가된다. 코일(109)을 통해 흐르는 RF전류는 코일(109)에 대하여 전자장을 발생시킨다. 전자장은 에칭 챔버(100) 내부 공간 내에 유도 전류를 발생시킨다. 유도전류는 플라즈마(107)를 발생시키기 위해 반응 가스에 작용한다. 에칭 공정동안, 코일(109)은 변압기에서 1차 코일과 유사한 기능을 수행하지만, 플라즈마(107)는 변압기에서 2차 코일의 유도전류와 유사한 기능을 수행한다.

[0023] 플라즈마(107)는 비플라즈마 반응가스의 외장(sheath)에 의해 둘러싸여 있다. 따라서, 플라즈마(107)에 방향성을 제공하기 위해 고주파전력(즉, RF)을 전원 장치로부터 정합 회로를 통해 척(103)으로 인가함으로써, 플라즈마(107)가 에칭 공정에 영향을 미치도록 웨이퍼(105) 표면에 "풀-다운(pull-down)"된다. 플라즈마(107)는 양이온과 음이온의 형태로 다양한 타입의 라디칼(radicals)을 포함한다. 다양한 타입의 양이온과 음이온의 화학 반응은 웨이퍼(105)를 에칭하기 위해 사용된다.

[0024] 도 2는 본 발명의 일 실시형태에 따른, 척(103)의 수직 단면도를 도시한 도면이다. 척(103)은 세라믹 층(203), 접착층(205), 및 알루미늄 층(206)을 포함하는 다수의 재료 영역들로서 정의된다. 또한, 척(103)은 액체 냉각제, 예를 들어, 물이 흐르는 다수의 냉각 채널을 포함한다. 웨이퍼(105)는 플라즈마 처리 동안 척(103)의 표면(202)상에 고정된다. 일 실시형태에서는, 기계적 힘이 표면(202)상에 웨이퍼(105)를 고정시키기 위해 사용된다. 다른 실시형태에서는, 전기력이 처리 동안 웨이퍼(105)를 표면(202)에 끌어당기고 웨이퍼(105)를 고정시키기위해 사용된다.

[0025] 본 발명을 불필요하게 모호하게 하는 것을 피하기 위해 척(103)의 추가적인 피쳐들은 도 2에 도시하지 않았다. 예로써, 유체 냉각제 채널(207) 외에도, 또한, 척(103)은 가스 냉각제를 척(103)의 웨이퍼(105)와 표면(202)사이의 영역들에 보내도록 정의된 가스 냉각제 채널을 포함한다. 또한, 척의 유체 및 가스 냉각제 채널들은 원하는 동작 효과를 발생시키기 위해 필요한 본질적으로 임의의 배열로 구성될 수 있다. 또한, 척(103)은 웨이퍼(105)의 척킹(chucking)과 디- 척킹(de-chucking)을 돕기위해 다수의 리프팅 핀(lifting pin)들을 포함하도록 정의될 수 있다. 또한, 척은, 전술된 바와 같이 플라즈마(107) 지향성 바이어스 및/또는 전기적 웨이퍼 파지력(clamping force)을 제공하기 위해 정합 회로를 통해 전기적으로 전원장치에 접속될 수 있다. 따라서, 척(103)은 도 2에서 명시적으로 도시된 것보다 좀 더 많은 컴포넌트를 포함하는 실질적으로 복잡한 디바이스이다.

[0026] 통상적으로, 플라즈마 처리 후의 웨이퍼 특성은 플라즈마 처리 동안의 웨이퍼 온도에 의존한다. 예로써, 일부의 플라즈마 공정에서, 웨이퍼에서의 임계 치수, 즉, 피쳐 폭은 웨이퍼 온도의 °C당 약 1나노미터만큼 변할 수 있다. 또한, 상이한 웨이퍼들 사이의 공정결과와 드리프트가 상이한 웨이퍼들의 플라즈마 처리 동안 웨이퍼 온도의 변화들에 의해 초래될 수 있다. 웨이퍼 제조에 있어서의 일반적인 목적은 소정 타입의 각 웨이퍼를 가능하면 동일한 방식으로 제조하는 것이다. 따라서, 이런 웨이퍼 대 웨이퍼 균일성 목적을 만족시

키기 위해, 결과적인 웨이퍼 특성에 영향을 미치는 제조 파라미터를 제어하는 것이 필요하다. 명백히, 플라즈마 조건들이 결과적인 웨이퍼 특성에 직접적으로 영향을 미칠 것이다. 그러나, 전술한 바와 같이, 플라즈마 공정동안의 웨이퍼 온도는 또한 결과적인 웨이퍼 특성에 직접적으로 영향을 미칠 것이다.

[0027] 웨이퍼(105)를 고정하고, 플라즈마(107)를 지향적으로 바이어싱하기 위한 메커니즘으로써 기능하는 것 외에도, 또한, 척(103)은 처리 동안 웨이퍼(105)의 온도를 제어하는 1차 메커니즘으로서 작용한다. 동작 동안, 플라즈마(107)로부터 발산하는 열 플럭스(heat flux)는 웨이퍼(105)를 향해 지향된다. 웨이퍼(105)에 의해 흡수된 열 에너지는, 척(103)의 다양한 영역들을 통해 웨이퍼로부터 냉각제 채널(207) 내의 유체 냉각제까지 전도된다. 따라서, 냉각제 채널(207) 내의 유체 냉각제는 1차 열 흡수원(heat sink)으로서 기능한다. 따라서, 처리 동안 웨이퍼(105)의 온도는 플라즈마(107)로부터 발산하는 열 플럭스에 의존할 뿐만 아니라, 척(103)의 열 특성, 즉, 열이 웨이퍼(105)로부터 열 흡수원에 어떻게 전도되는지에 의존한다.

[0028] 도 2의 척(103) 표현에 관하여, 열은 다양한 척(103) 재료 사이의 전도를 통해서, 웨이퍼(105)로부터 냉각제 채널(207) 내의 유체까지 전도된다. 웨이퍼(105)와 세라믹 층(203) 사이의 열 전도에 대하여 2개 이상의 경로가 존재한다. 하나의 경로에서, 열은 물리적인 접촉을 통해서 웨이퍼(105)로부터 세라믹 층(203)까지 직접적으로 전도된다. 다른 경로에서, 열은 웨이퍼(105)와 세라믹 층(203) 사이의 갭(201)내에 존재하는 가스를 통해 전도된다. 갭(201)은 척(103)의 랜덤한 미세 표면의 조도(roughness) 및/또는 범프(bump)같은 가공된(engineered) 표면 포토그래피(photography)로부터 기인한다. 도 2에서 갭(201)의 사이즈는 설명의 편의를 위해 과장되게 그려졌다. 갭(201)내의 가스를 통한 전도는 가스압력과 갭(201)특성에 의존한다. 일 실시 형태에서, 가스, 예를 들어, 헬륨은 표면(202)상의 포트를 통해 갭(201)에 제공된다. 가스 압력은, 가스가 충전된 갭(201)을 통해 열 전도의 양을 조정하도록 제어될 수 있다.

[0029] 직접 전도대 갭 전도를 통한 웨이퍼대 세라믹 열 전달의 비율은 척(103)의 표면(202) 특성의 함수이고 갭(201)에 존재하는 가스의 압력과 타입에 관한 함수이다. 갭 전도를 통한 열 전달은, 가스가 갭(201)에서 존재할 때에 웨이퍼(105)와 세라믹 층(201) 사이의 전체적인 열 전달에 상당히 영향을 미칠 것으로 기대된다. 갭 전도를 통한 냉각제 열 전달의 양은, 웨이퍼와 접촉되어 있고 웨이퍼 밑에 있는 총 척 표면적의 일부분, 갭의 물리적인 특성들, 갭내에 존재하는 가스의 타입, 및 갭내에 존재하는 가스의 압력의 함수이다. 갭의 양과 갭의 물리적인 특성들, 즉, 갭의 사이즈와 형상은 웨이퍼와 접촉하고 있는 면적의 비율 및/또는 표면 조도 파라미터에 의해 특징 지워질 수 있다.

[0030] 당업자는 표면 조도 파라미터가 RMS(Root Mean Square) 표면 조도 측정으로서 나타내 질 수 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 일 실시형태로서, 척(103)의 표면(202)은 약 5 마이크로 인치로부터 약 200마이크로 인치까지 확장되는 영역 내에서 RMS 표면 조도를 갖도록 정의된다. 좀 더 바람직한 실시형태에서, 척(103)의 표면(202)은 약 20마이크로 인치로부터 약 100마이크로 인치까지 확장되는 영역 내에서 RMS 표면 조도를 갖도록 정의된다. 또 다른 실시형태에서, 척(103)의 표면(202)은 가공된 갭을 포함하도록 정의된다. 가공 갭은 웨이퍼(105)와 세라믹 층(203) 사이의 전체적인 열 전달에 대한 갭 전도도의 영향을 증가시키도록 구성될 수 있다.

[0031] 도 2의 척(103)을 다시 참조하면, 열은 세라믹 층(203)으로부터 접착층(205)까지 전도될 수 있다. 접착층(205)으로부터, 열은 알루미늄 층(206)에 전도된다. 그 후, 열은 알루미늄 층(206)으로부터 냉각제 채널(207) 내의 유체까지 전도된다. 바람직한 실시형태에서, 냉각제 채널(207) 내의 유체는 완벽한 열 흡수원으로서 효과적으로 역할을 한다. 냉각제 채널(207)내의 유체 타입, 유체 온도, 유체 흐름 속도는 완벽한 열 흡수원의 성능에 접근하도록 정의될 수 있다.

[0032] 척(103)의 열 전달 특성에 영향을 미치는 많은 파라미터는 시간과 사용량에 따라 변하지 않는다. 예로써, 접착층(205)의 두께와 알루미늄 층(206)의 질량은 시간에 따라 변하는 것이 기대되지 않는다. 그러나, 척(103)의 이런 불변의 열 전달 특성에 대한 제조시(as-fabricated) 값들은 척마다 다를 수 있다. 따라서, 상이한 척들은 상이한 초기 열 특성을 가질 수도 있다. 또한, 상이한 척들이 설치되는 방식은, 플라즈마 처리 동안 척의 열 성능에 영향을 미칠 수도 있다. 또한, 일부의 척 특성은 사용량의 함수로서 변하는 경향이 있다. 결과로서, 척의 열 성능은 사용량의 함수로서 변할 수도 있고, 대응하는 웨이퍼의 온도의 변화를 초래할 수도 있다. 웨이퍼 온도에 대한 척 열 성능의 직접적인 영향으로 인하여, 웨이퍼 처리 동안 척 열 성능을 이해하고 제어하는 것이 중요하다.

[0033] 전술한 바와 같이, 웨이퍼 온도에 상당히 영향을 미칠 수 있고 변하는 경향이 있는 척의 한가지 특성은, 웨이퍼와 인터페이스하는 척 표면("인터페이스 표면")의 표면 조도이다. 사용 동안, 인터페이스 표면 조도는 웨이

퍼리스(waferless) 오토 클린 공정과 같은, 다양한 공정들에 의해 변경될 수 있다. 또한, 확장된 사용과 함께, 웨이퍼 자체는 물리적인 마멸(physical wear)을 통해 인터페이싱 표면 조도를 변경할 수 있다. 웨이퍼와 척사이의 일정한 열 인터페이스를 유지하기 위해, 인터페이싱 표면 조도와 그것에 관한 임의의 변경을 측정할 필요가 있다.

[0034] 본 발명은 플라즈마 처리 동안 타겟 웨이퍼 온도를 유지하기 위해, 웨이퍼 대 척 인터페이스를 포함하여, 척(103)의 열 특성을 측정하기 위한 방법을 제공한다. 일 실시형태에서, 플라즈마 전력의 변화에 대한 웨이퍼 온도의 과도 응답은 상이한 후측의 가스 압력들에 대하여 측정되며, 후측 가스 압력은 웨이퍼(205)와 척(103)사이의 인터페이스에서 갭(201)내의 가스 압력에 대응한다. 도 3은 본 발명의 일 실시형태에 따른, 다양한 후측 가스 압력에서 "ESC 1"이라고 표시된 척에 대한 웨이퍼 온도의 과도 응답 측정을 도시한 도면이다. 각각의 후측의 가스 압력에서 웨이퍼 온도의 과도 응답 측정은 정상상태(steady-state) 플라즈마(107)의 존재시에 웨이퍼 온도를 측정함으로써 시작한다. 도 3에 관하여, 정상상태 플라즈마의 존재는 "플라즈마 온(Plasma On)"이라고 한다. 그 후, 플라즈마는 턴-오프되고 웨이퍼의 온도는 각각의 가스 압력(301~309)에 대하여 냉각시간의 함수로서 측정된다. 도 3에 관하여, 플라즈마의 부재는 "플라즈마 오프(Plasma Off)"라고 한다.

[0035] 플라즈마가 존재할 때, 웨이퍼 온도는 본질적으로 정상상태에 있다. 플라즈마가 턴-오프될 때, 웨이퍼 온도는 척(103)의 열 전달특성에 따라 하강한다. 플라즈마의 부재시 척(103)의 열 성능을 평가할 때, 플라즈마로부터 웨이퍼까지 열 플럭스 기여를 고려할 필요는 없다. 따라서, 플라즈마가 턴-오프된 이후 웨이퍼 온도의 과도 응답은 척(103)의 열 특성에 직접적으로 기여할 수 있다. 일단 웨이퍼 온도측정이 얻어지면, 각각의 후측 가스 압력에 대한 온도대 시간 데이터에 대해 곡선 피트(curve fit)가 수행될 수 있다. 도 3에 관하여, 5개의 후측의 가스 압력은 곡선(301~309)으로 나타낸 바와 같이 평가된다. 웨이퍼 온도대 시간 곡선들은 척(103)에 대한 열 특성 파라미터 값을 결정하기 위해 분석된다. 일 실시형태에서, 척(103)에 대한 열 특성 파라미터는 척(103)의 유효 열 전도도로서 표현된다. 다른 실시형태에서, 척(103)에 대한 열 특성 파라미터는 척(103)의 열 성능 특성을 나타내는, 유도된 파라미터, 예를 들어, 시상수로서 표현된다. 온도대 시간 곡선들 각각에 대하여 결정된 척의 열 특성 파라미터 값은 관련된 후측의 가스 압력에 대응한다. 상이한 후측 가스 압력에 대하여 플라즈마 전력 차단에 대한 웨이퍼 온도의 과도 응답은 대상이 되는 각각의 척에 대하여 결정된다.

[0036] 도 3에서 도시된 곡선들처럼 웨이퍼 온도의 과도 응답 곡선들로부터 결정되는 바와 같은, 다양한 후측 가스 압력에 대한 측정된 열 특성 파라미터 값들은, 대응하는 척에 대하여 열 특성 파라미터대 후측의 가스압력 곡선을 발생시키기 위해 사용된다. 도 4는 본 발명의 일 실시 예로써, 예시적인 열 특징 파라미터에 대 후측 가스 압력 곡선을 도시한 도면이다. 설명의 편의를 위해, 소정의 척에 대하여 열 특성 파라미터대 후측 가스 압력 곡선은 "열 캘리브레이션 곡선"이라고 지칭한다. 도 4는 "ESC 1"과 "ESC 2"라고 나타낸 2개의 척의 각각에 대하여 열 캘리브레이션 곡선(401 및 405)을 나타낸다. ESC 1과 ESC 2의 열 캘리브레이션 곡선 사이의 기울기의 차는 각각의 척의 웨이퍼 인터페이싱 표면 조도의 차에 기인한다. 예로써, 웨이퍼의 후측에 좀 더 많은 갭 노출을 허용하는 표면 조도를 갖는 척은 웨이퍼 온도에 대한 후측 가스 압력의 좀 더 강한 영향을 나타낼 것으로 기대될 수 있다.

[0037] 각각의 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선들은 특정 타겟 열 파라미터 값에 대응하는 척-특정 후측 가스 압력을 결정하기 위해 사용될 수 있으며, 여기서, 타겟 열 파라미터 값은 타겟 척 열 성능을 나타낸다. 동일한 타겟 열 파라미터 값으로 튜닝된 후측 가스 압력들을 갖는 상이한 척들이 실질적으로 유사한 전체적인 열 전달 능력을 가질 것이다. 따라서, 동일한 타겟 열 파라미터 값으로 튜닝된 상이한 척들과 관련된 웨이퍼 온도는 실질적으로 유사할 것이다. 따라서, 다양한 척들에 대한 열 캘리브레이션 곡선들은 플라즈마 처리동안 웨이퍼 온도를 정합시키기 위해서, 후측 가스 압력을 통하여 다양한 척들은 튜닝하는데 사용될 수 있다. 또한, 특정 척이 타겟 열 전달 능력을 얻기 위해 요구되는 후측 가스 압력은 척에 대해 특정된 초기의 후측 가스 압력에 대한 압력 오프셋으로서 또는 명시적으로 지정될 수 있다. 일 실시형태에서, 후측 가스는 헬륨이고 약 5 torr에서 약 100torr까지 확장되는 압력 범위 내에서 제어될 수 있다.

[0038] 또 다른 실시형태에서, 척 열 성능은 다수의 열 특성 파라미터에 관하여 캘리브레이션될 수 있다. 후측 가스 압력은, 척의 열 성능을 캘리브레이션할 때, 하나 이상의 추가적인 파라미터들, 예를 들어, 척 냉각장치 온도 또는 척 히터 온도와 결합하여 고려될 수 있다. 이런 실시형태에서, 동일한 타겟 열 성능을 달성하기 위해 튜닝된 후측 가스 압력과 추가적인 파라미터들의 조합을 갖는 다른 척들은 실질적으로 유사한 전체적인 열 전달 능력을 가질 것이며, 이는 실질적으로 유사한 웨이퍼 온도를 발생시킨다. 따라서, 본 발명은 또한 플

라즈마 처리동안 웨이퍼 온도를 정합시키기 위해서, 다양한 척들을 튜닝하도록 다중-파라미터 열 캘리브레이션 데이터의 사용을 제공한다.

[0039] 도 5는 본 발명의 일 실시 형태에 따른, 척의 열 캘리브레이션을 수행하는 방법의 흐름도를 나타내는 도면이다. 이 방법은 열원에 노출되게 척 상에 웨이퍼(또는 등가의 테스트 객체)를 척 상에 지지하는 동작(501)을 포함한다. 이 방법은 웨이퍼와 척사이의 인터페이스에서 실질적으로 일정한 압력으로 가스를 가하는 동작(503)을 계속한다. 동작(505)에서, 열원을 제거한다. 그 후, 가해진 가스 압력을 유지하면서, 시간의 함수로서 웨이퍼의 온도를 측정하도록 동작(507)이 수행된다. 동작(501~507)동안, 가해진 가스 압력 이외의 척의 제어 파라미터는, 웨이퍼 제조공정에서 척의 사용동안 가해질 값들로 설정된다.

[0040] 또한, 이 방법은, 시간의 함수로서 웨이퍼의 측정된 온도에 기초하여 열 특성 파라미터 값을 결정하는 동작(509)을 포함한다. 일 실시형태에서, 열 특성 파라미터는, 시간의 함수로서 웨이퍼의 측정된 온도를 나타내는 수학적 모델내의 시상수로서 정의된다. 다른 실시형태에서, 열 특성 파라미터는 척의 유효 열 전도도 값으로 정의된다. 특정 열 특성 파라미터 실시 형태와 상관없이, 결정된 열 특성 파라미터 값들은 가해진 가스압력에 직접적으로 상관된다. 동작(511)에서, 동작(501~509)은 상이한 다수의 가해진 가스 압력에 대하여 반복된다. 일 실시형태에서, 그 상이한 다수의 가해진 가스 압력은 약 5torr에서 약 100torr까지 확장되는 범위내에 있다. 동작(511) 이후, 측정된 열 특성 파라미터 데이터의 세트가 다수의 가해진 가스 압력에 대하여 얻어진다. 동작(513)에서, 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선을 발생시키기 위해서, 측정된 열 특성 파라미터 데이터와 대응하는 가스 압력들 사이에서 상관관계가 확립된다.

[0041] 발생된 열 캘리브레이션 곡선을 사용하여, 가스 압력은 특정 열 특성 파라미터 값에 대하여 결정될 수 있고, 반대로 특정 열 특성 파라미터 값도 가스 압력에 대하여 결정될 수 있다. 또한, 척에 대하여 열 캘리브레이션 곡선에서 나타난 열 특성 파라미터는 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼 온도에 직접적으로 상관될 수 있다. 따라서, 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선은 공정중인 웨이퍼 온도대 가해진 가스 압력으로서 다른 포맷으로 나타낼 수 있다.

[0042] 또 다른 실시형태에서, 도 5의 방법에서 동작들(501~511)은 가해진 가스 압력들과 결합되어 고려되는 추가적인 열 영향 파라미터의 다수의 상이한 값들에 대하여 반복된다. 예로써, 추가적인 열 영향 파라미터는 척 냉각 장치 온도 또는 척 히터 온도일 수도 있다. 이런 또 다른 실시형태에서, 전술된 동작(513)은 척에 대한 다중-파라미터 열 캘리브레이션 곡선을 발생시키기 위해, 결정된 척 열 특성 파라미터 값들과, 가스 압력 값들과 추가적인 열 영향 파라미터의 조합들과의 사이에 상관 관계를 확립하도록 약간 변경된다. 다중-파라미터 열 캘리브레이션 곡선은 플라즈마 처리동안 특정 웨이퍼 온도를 달성하기 위해 척을 튜닝하는데 사용될 수 있다.

[0043] 도 6은 본 발명의 일 실시 형태에 따른, 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼 온도를 제어하는 방법의 흐름도를 도시한 도면이다. 동작(601)에서, 척 타겟 열 특성 파라미터 값이 결정된다. 척은 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼를 고정하기 위해 사용된다. 척 타겟 열 특성 파라미터 값은, 웨이퍼 제조 공정동안 타겟 웨이퍼 온도를 발생시키는 척의 타겟 열 성능에 대응한다. 일 실시형태에서, 척 타겟 열 특성 파라미터 값은 척의 타겟 유효 열 전도도 값으로 정의된다. 다른 실시형태에서, 척 타겟 열 특성 파라미터 값은 척을 통한 열 전달에 대한 타겟 시상수 값으로 정의된다.

[0044] 또한, 이 방법은, 척 타겟 열 특성 파라미터에 대응하는 후측 가스 압력 값을 결정하기 위해 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선을 검사하는 동작(603)을 포함한다. 후측 가스 압력은 웨이퍼와 척 사이의 인터페이스에 가해진 가스 압력에 대응한다. 일 실시형태에서, 웨이퍼와 척 사이의 인터페이스에 가해진 가스는 헬륨이다. 동작(605)에서, 후측 가스 압력은, 척 타겟 열 특성 파라미터 값에 대응하는 값으로 설정된다. 동작(605) 이후, 제조 공정은, 척 타겟 열 특성 파라미터 값에 대응하는 값에서 후측 가스 압력을 유지하는 동안 웨이퍼에서 수행된다. 후측 가스 압력은 제조 공정동안 웨이퍼 온도를 제어하도록 기능한다.

[0045] 척들 사이의 열 특성들에서의 초기 가변성에 관하여, 척 특정 열 캘리브레이션 곡선을 전개하고 사용하기 위한 본 발명의 방법은 제조 조건에서 척들이 타겟 열 전달 능력에 튜닝되도록 할 수 있을 것이다. 예로써, 열 캘리브레이션 곡선들은, 제조시 상태에 기초하여 각각의 척에 대해 전개될 수 있다. 그 후, 동작동안 각 척의 후측 가스 압력은 열 특성 파라미터에 대하여 타겟 값을 정합하도록 설정될 수 있다. 타겟 열 특성 파라미터 값에 대한 각 척의 정합은, 각각의 척이 본질적으로 동일한 속도로 웨이퍼로부터 멀리 열을 전도하도록 할 것이다. 따라서, 다양한 튜닝된 척에 대응하는 웨이퍼 온도는 본질적으로 동일할 것이다.

[0046] 시간에 따라 척이 사용되면, 척에 대한 열 캘리브레이션 곡선은 척의 최근의 조건을 반영하도록 업데이트 될 수

있다. 따라서, 업데이트된 열 캘리브레이션 곡선은 웨이퍼대 척 표면의 표면 조도와 같이, 열 성능에 영향을 미치는 척 특성 변화들을 캡처할 것이다. 특정 척과 관련된 열 캘리브레이션 곡선에 대한 업데이트 빈도는, 열 캘리브레이션 곡선이 척의 열 성능을 얼마나 잘 계속해서 예측할 수 있는지에 달려 있을 것이다. 예로써, 기존의 열 캘리브레이션 곡선에 의해 특정된 후측 가스 압력이 상이한 척 열 성능을 초래하기 시작할 경우에, 측정된 웨이퍼 온도에 나타난 바와 같이, 최근의 척의 물리적 및 열적 조건을 반영하는 업데이트된 열 캘리브레이션 곡선을 얻기 위해 열 캘리브레이션 곡선 전개 공정을 반복하는 것이 필요하다.

[0047] 웨이퍼 제조에 있어서, 종종, 동일한 결과적인 웨이퍼 조건을 얻기 위해 다수의 챔버에서 동일한 웨이퍼 공정을 실행하는 것이 바람직하다. 각 챔버에서의 웨이퍼 온도가 척 열 특성에 기인하여 상이하다면, 각 챔버로부터 동일한 결과적인 웨이퍼 조건을 얻는 것은 불가능하지 않더라도, 어려울 것이다. 본 발명에서, 각 챔버에서의 척은, 일정한 열 성능을 제공하기 위해, 대응하는 열 캘리브레이션 곡선에 의해 특정된 후측 가스 압력을 통하여, 튜닝될 수 있다. 따라서, 튜닝된 척은 일정한 웨이퍼 온도가 웨이퍼 처리동안 각 챔버에서 유지되게 한다. 결과적으로, 각 챔버와 관련된 사후-공정(post-process) 웨이퍼 조건은, 챔버들 사이에서 프로세스중 웨이퍼 온도 변동이 기대될 때에 실질적인 변화를 나타내지 않을 것이다.

[0048] 또한, 본 발명은 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼 온도 제어를 제공하는 시스템으로서 구현될 수 있다. 이 시스템은 척, 가스 제어기, 및 가스 제어기를 제어하는 컴퓨팅 디바이스를 포함한다. 척은 제조 공정동안 플라즈마에 노출된 웨이퍼를 고정하도록 정의된다. 척은, 웨이퍼와 척사이의 인터페이스에 가스를 공급하는 다수의 포트들을 포함한다. 가스 제어기는 웨이퍼와 척 사이의 인터페이스에 공급된 가스의 압력을 제어하도록 정의된다. 컴퓨팅 디바이스는 척에 대한 열 캘리브레이션 데이터를 포함한다. 다양한 실시형태에서, 열 캘리브레이션 데이터는, 데이터를 피팅시키도록 정의된 식에 대한 값 또는 파라미터의 테이블과 같이, 상이한 포맷으로 유지될 수 있다. 열 캘리브레이션 데이터는, 타겟 웨이퍼 온도를 유지하기 위해, 컴퓨팅 디바이스로부터 가스 제어기까지 전달될 가스 압력 세팅을 특정한다. 타겟 웨이퍼 온도는, 열 캘리브레이션에 의해 나타난 특정 척 타겟 특성 파라미터 값에 상관된다. 척에 대한 열 캘리브레이션 데이터는, 웨이퍼와 척사이의 인터페이스에 공급된 가스의 압력의 함수로서 척 열 특성 파라미터를 나타낸다. 일 실시형태에서, 척에 대한 열 특성 파라미터는 척의 유효 열 전도도로서 정의된다. 다른 실시형태에서, 척에 대한 열 특성 파라미터는 척을 통한 열 전달에 대한 시상수로서 정의된다.

[0049] 척 열 캘리브레이션 곡선들의 전개와 사용은 척의 사전-조정이 공정 드리프트를 제한하게 할 수 있다. 또한, 척 열 캘리브레이션 곡선들은 동작 시간의 함수로서 척 열 특성의 변동에 대한 보상을 가능하게 한다. 또한, 본 발명의 척 열 캘리브레이션 곡선은 RF전력, 챔버 압력 등과 척과 무관한 다른 관련된 공정 파라미터들보다는 척을 사용하여 웨이퍼 온도가 제어되도록 한다. 척과 무관한 공정 파라미터들 사이의 의존성으로 인하여, 웨이퍼 온도를 제어하려는 시도에 있어서 척과 무관한 공정 파라미터들의 조정은 공정 윈도우의 협소화(narrowing)를 초래할 수 있으며, 여기서, 공정 윈도우는 웨이퍼 결과들에 영향을 미칠 수 있는 각각의 공정 파라미터의 허용될 수 있는 범위로서 정의된다. 공정 윈도우로부터의 척의 독립성 때문에, 웨이퍼 온도는 프로세스 윈도우를 협소화하지 않고 척의 전체적인 열 성능을 조정함으로써 제어될 수 있다.

[0050] 본 발명이 수개의 실시형태에 관해서 기술되었지만, 당업자는 본 발명의 상세한 설명을 읽고 도면을 검토함으로써 본 발명의 다양한 변경, 추가, 치환 및 균등물을 알 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명은 본 발명의 사상과 범위 내에서 이러한 모든 변경, 추가, 치환, 및 균등물을 포함하려는 것이다.

발명의 효과

[0051] 상술한 바와 같이, 본 발명에 의하면, 웨이퍼 제조 공정동안 웨이퍼 온도를 정확하게 제어할 수 있다.

도면의 간단한 설명

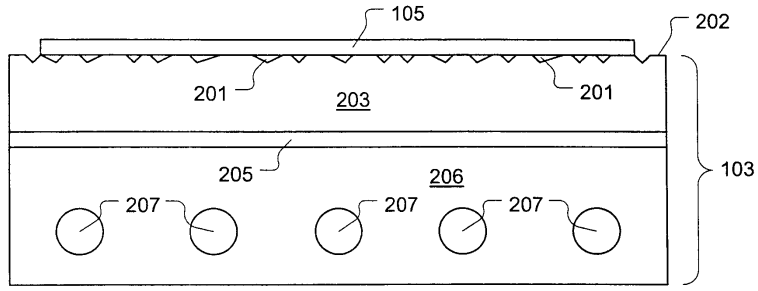
[0001] 도 1은 본 발명의 일 실시 형태에 따른, 반도체 웨이퍼 처리를 위한 플라즈마 챔버의 일반적인 표현을 도시한 도면.

[0002] 도 2는 본 발명의 일 실시 형태에 따른, 척의 수직 단면도를 도시한 도면.

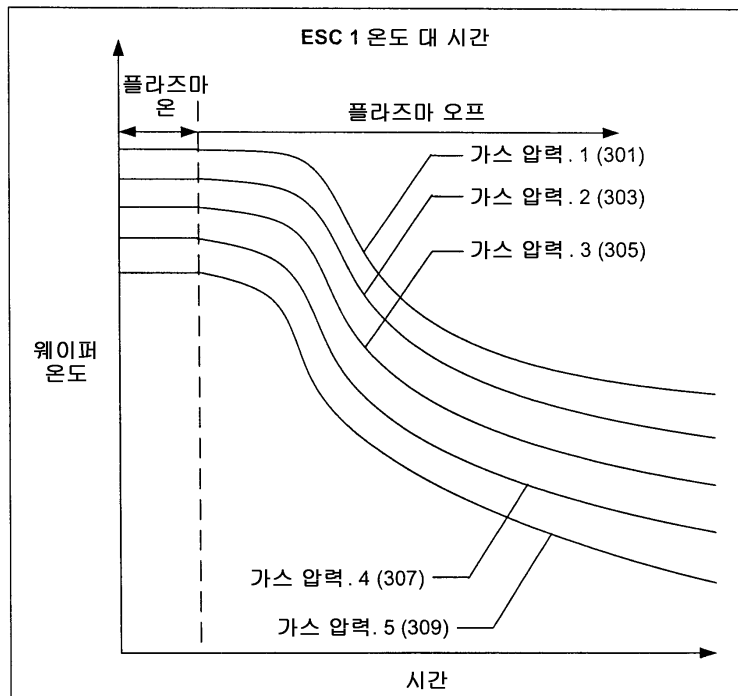
[0003] 도 3은 본 발명의 일 실시 형태에 따른, 다양한 후측 가스 압력에서 "ESC 1"이라고 표시된 척에 대한 웨이퍼 온도의 과도 응답 측정을 도시한 도면.

[0004] 도 4는 본 발명의 일 실시 형태에 따른, 예시적인 열 특징 파라미터 대 후측 가스 압력 곡선을 도시한 도면.

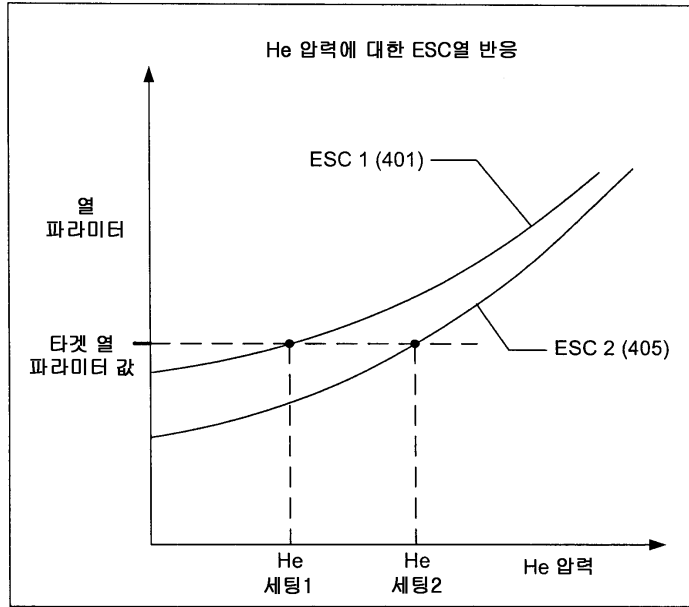
도면2



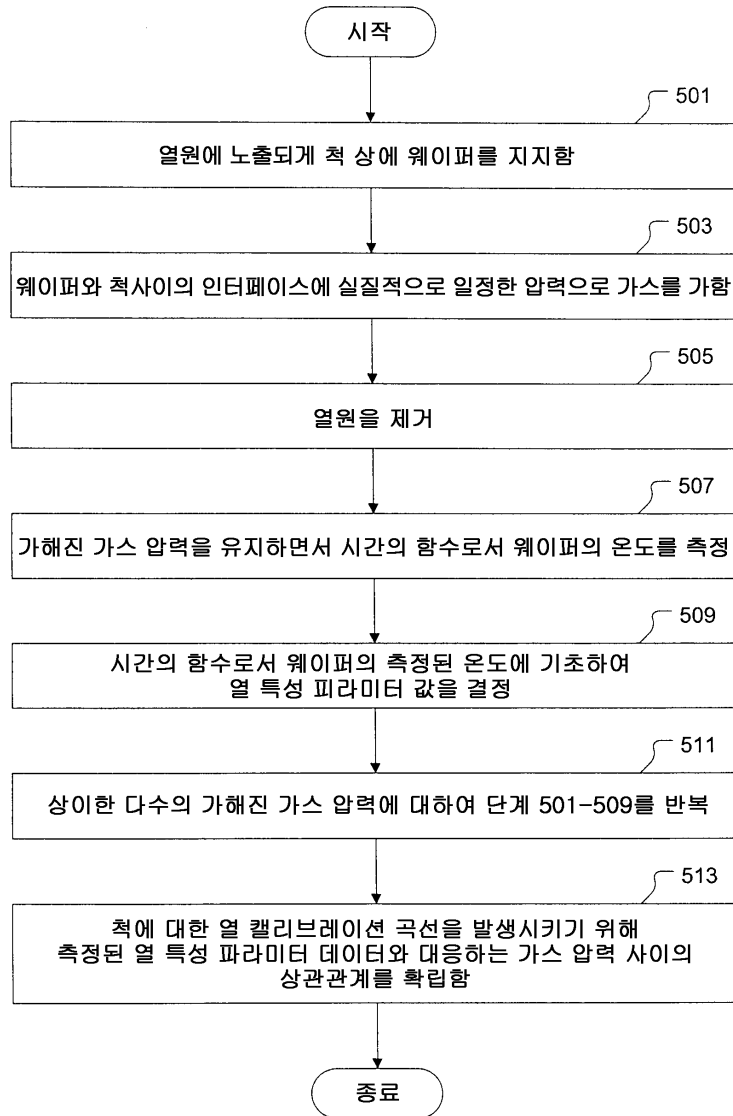
도면3



도면4



도면5



도면6

