



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년06월29일
 (11) 등록번호 10-1530394
 (24) 등록일자 2015년06월15일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/302 (2006.01) **H01L 21/304** (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2009-7022818
- (22) 출원일자(국제) 2008년03월27일
 심사청구일자 2013년03월25일
- (85) 번역문제출일자 2009년10월30일
- (65) 공개번호 10-2010-0016111
- (43) 공개일자 2010년02월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2008/004033
- (87) 국제공개번호 WO 2008/123945
 국제공개일자 2008년10월16일
- (30) 우선권주장
 11/732,603 2007년04월03일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
 US20060128590 A1*
 JP11102881 A*
 JP11244796 A*
 JP2003037096 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
램 리써치 코퍼레이션
 미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
- (72) 발명자
프리어 에릭 엠
 미국 95008 캘리포니아주 캠벨 더블유 린컨 애비뉴 347 넘버 에이
데 라리오스 존 엠
 미국 94303 캘리포니아주 팔로 알토 로마 베르데 941
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
오세일

전체 청구항 수 : 총 27 항

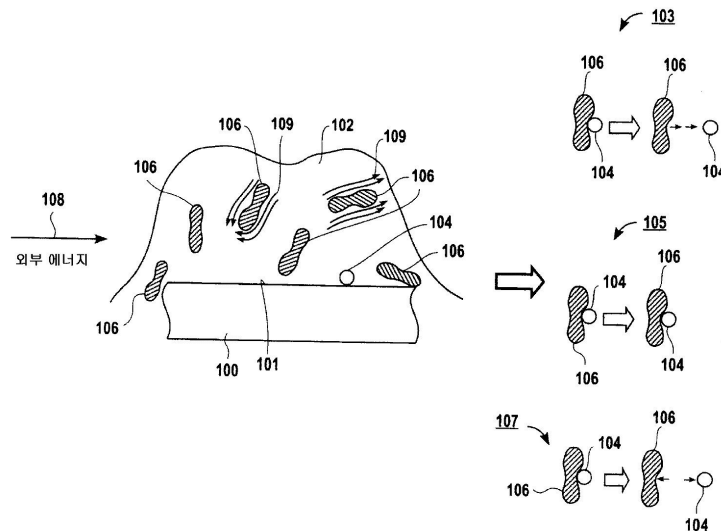
심사관 : 이석주

(54) 발명의 명칭 세정 용액에 주기적 전단 응력을 인가함으로써 반도체 웨이퍼 표면을 세정하는 방법

(57) 요약

웨이퍼 표면에 부착된 미립자 오염물질을 세정하는 시스템 및 방법이 제공된다. 내부에 현탁되어 있는 분산된 커플링 엘리먼트를 포함하는 세정 매체가 웨이퍼 표면에 걸쳐 도포된다. 외부 에너지가 세정 매체에 인가되어 매체 내부에 주기적 전단 응력을 발생시킨다. 주기적 전단 응력은 커플링 엘리먼트에 대해 모멘텀 및/또는 드래그 힘을 부여함으로써, 커플링 엘리먼트가 미립자 오염물질과 상호작용하게 하여 웨이퍼 표면으로부터 미립자 오염물질을 제거한다.

대표도



(72) 발명자

라브킨 마이클

미국 94087 캘리포니아주 쉐니베일 닉커보커 드라이브 1215

코틀리크 미하일

미국 95131 캘리포니아주 샌호세 후미아 플레이스 1818

레데커 프리츠 씨

미국 94539 캘리포니아주 프레몬트 수 드라이브 1801

명세서

청구범위

청구항 1

표면 상에 파티클을 갖는 웨이퍼를 제공하는 단계;

상기 표면 상에 세정 매체를 제공하는 단계; 및

상기 세정 매체 내에 상기 웨이퍼의 상기 표면에 접하는 (tangential) 주기적 전단 응력 (periodic shear stress) 이 생성되도록 상기 세정 매체에 상기 웨이퍼의 상기 표면과 평행한 방향으로 외부 에너지를 주기적으로 인가하는 단계를 포함하고;

상기 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 고체 성분 및 액체 성분을 포함하고, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분은 상기 액체 성분의 용해도 한계를 초과하는 농도를 가지는 집단성 지방족 산으로부터 정의되며,

상기 주기적 전단 응력은 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 적어도 하나의 고체 성분에 대해 모멘텀 (momentum) 및 드래그 힘 (drag force) 을 부여하고, 상기 드래그 힘은 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분과 상기 파티클 사이의 상호작용을 야기하여 상기 표면으로부터 상기 파티클을 제거하는, 세정 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 세정 매체에 외부 에너지를 인가하는 단계는, 메가소닉 (megasonic), 소니케이션 (sonication), 압전 액추에이션 (piezo electric actuation), 피에조 음향 액추에이션 (piezo acoustic actuation), 캐비테이션 (cavitation) 및 증발 중 하나 이상을 이용하여 상기 외부 에너지를 인가하는 단계를 포함하는, 세정 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 외부 에너지는 상기 웨이퍼를 통해 상기 세정 매체에 인가되고,

상기 웨이퍼는 상기 외부 에너지를 상기 세정 매체에 전달하는, 세정 방법.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 외부 에너지는 한정된 소스 (confined source) 로부터 상기 세정 매체에 직접 인가되는, 세정 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 외부 에너지는 600 KHz 내지 3 MHz 의 주파수를 갖는 고주파 메가소닉 음향 에너지인, 세정 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 외부 에너지는 50 Hz 내지 100 KHz 의 주파수를 갖는 초음파 에너지인, 세정 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 상호작용은, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분과 상기 파티클 사이의

기계적 커플링, 화학적 커플링 또는 정전기적 커플링 중 하나 이상에 의해 정의되는, 세정 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 기계적 커플링은, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분과 상기 파티클 사이의 부착에 의해 정의되고, 그리하여 상기 파티클이 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분과 함께 상기 표면으로부터 떨어져 나가는 (lift away), 세정 방법.

청구항 9

제 7 항에 있어서,

상기 기계적 커플링은, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분과 상기 파티클 사이의 물리적 충돌에 의해 정의되고, 그리하여 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분으로부터 상기 파티클로의 에너지 전달이 상기 파티클이 상기 표면으로부터 떨어져 나가게 하는, 세정 방법.

청구항 10

제 7 항에 있어서,

상기 화학적 커플링은, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분과 상기 파티클 사이의 물리적 접촉 및 화학적 상용성 (physical contact and chemical compatibility) 에 의해 정의되고, 상기 물리적 접촉은 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분과 상기 파티클 사이의 화학적 부착을 가능하게 하는, 세정 방법.

청구항 11

제 7 항에 있어서,

상기 정전기적 커플링은, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분과 상기 파티클 사이의 인력 (attractive) 또는 척력 (repulsive) 상호작용에 의해 정의되는, 세정 방법.

청구항 12

삭제

청구항 13

제 1 항에 있어서,

상기 세정 매체는,

상기 액체 성분, 기체 성분 및 상기 고체 성분; 을 포함하는, 세정 방법.

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

제 13 항에 있어서,

상기 기체 성분은,

오존 (O₃), 산소 (O₂), 염산 (HCl), 플루오르화수소산 (HF), 질소 (N₂) 및 아르곤 (Ar);

오존 (O₃) 과 질소 (N₂);

오존 (O₃) 과 아르곤 (Ar);

오존 (O₃), 산소 (O₂) 및 질소 (N₂);

오존 (O₃), 산소 (O₂) 및 아르곤 (Ar);

오존 (O₃), 산소 (O₂), 질소 (N₂) 및 아르곤 (Ar); 그리고

산소 (O₂), 아르곤 (Ar) 및 질소 (N₂)

의 기체 혼합물 중 하나의 기체 혼합물인, 세정 방법.

청구항 17

제 13 항에 있어서,

상기 액체 성분은 수계 또는 비수계인, 세정 방법.

청구항 18

표면 상에 파티클을 갖는 웨이퍼를 지지하는 캐리어;

베이스 및 상기 베이스로부터 연장되는 하나 이상의 측벽에 의해 정의되는 캐비티를 가지며, 상기 캐비티 내부에 세정 매체를 수용하여 상기 웨이퍼를 침지하도록 구성된 탱크; 및

상기 하나 이상의 측벽 또는 상기 베이스 중 적어도 하나에 커플링되며, 상기 세정 매체 내에 상기 웨이퍼의 상기 표면에 접하는 (tangential) 주기적 전단 응력 (periodic shear stress) 이 생성되도록 상기 세정 매체에 상기 웨이퍼의 상기 표면과 평행한 방향으로 음향 에너지 (acoustic energy) 를 주기적으로 인가하는 하나 이상의 트랜스듀서를 포함하고:

상기 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 고체 성분 및 액체 성분을 포함하고, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분은 상기 액체 성분의 용해도 한계를 초과하는 농도를 가지는 점탄성 지방족 산으로부터 정의되며,

상기 주기적 전단 응력은 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 적어도 하나의 고체 성분에 대해 모멘텀 (momentum) 및 드래그 힘 (drag force) 을 부여함으로써, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분이 상기 파티클과 상호작용하게 하여 상기 표면으로부터의 상기 파티클의 제거를 가능하게 하는, 세정 시스템.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

상기 트랜스듀서는 메가소닉 트랜스듀서 또는 울트라소닉 트랜스듀서인, 세정 시스템.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 트랜스듀서는 상기 메가소닉 트랜스듀서이고,

상기 음향 에너지의 주파수는 600 KHz 내지 3 MHz 인, 세정 시스템.

청구항 21

제 19 항에 있어서,

상기 트랜스듀서는 상기 울트라소닉 트랜스듀서이고,

상기 음향 에너지의 주파수는 50 Hz 내지 100 KHz 인, 세정 시스템.

청구항 22

캐리어 소자 (carrier element) 를 갖는 처리 챔버; 및

젯 어셈블리 (jet assembly) 를 포함하고:

상기 캐리어 소자는 웨이퍼의 표면이 노출되도록 상기 처리 챔버 내부에서 상기 웨이퍼를 지지할 수 있고, 상기 노출된 웨이퍼 표면은 그 상부에 파티클을 가지며,

상기 젯 어셈블리는 음향 에너지 (acoustic energy) 를 발생시키고, 세정 매체가 상기 젯 어셈블리의 관통로 (throughway) 를 따라 이동함에 따라 상기 세정 매체에 상기 음향 에너지를 주기적으로 인가하도록 구성되고,

상기 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 고체 성분 및 액체 성분을 포함하고, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분은 상기 액체 성분의 용해도 한계를 초과하는 농도를 가지는 점탄성 지방족 산으로부터 정의되며, 상기 음향 에너지는 상기 노출된 웨이퍼 표면에 대한 상기 세정 매체의 도포 이전에 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 각각의 물리적 특성을 변경하고,

상기 젯 어셈블리의 젯으로부터의 유체 움직임은 상기 변경된 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 적어도 하나의 고체 성분에 대해 모멘텀 (momentum) 및 드래그 힘 (drag force) 을 부여함으로써, 상기 변경된 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분이 상기 파티클과 상호작용하게 하여 상기 노출된 웨이퍼 표면으로부터 상기 파티클을 제거하는, 세정 시스템.

청구항 23

삭제

청구항 24

제 22 항에 있어서,

상기 변경된 하나 이상의 분산된 고체 성분 각각의 크기 분포가 넓어지거나, 좁아지거나, 또는 보다 작은 평균 크기로 시프트되는, 세정 시스템.

청구항 25

제 22 항에 있어서,

상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 각각의 상기 물리적 특성은 크기 및 형상 중 하나 이상인, 세정 시스템.

청구항 26

캐리어 소자 (carrier element) 를 갖는 처리 챔버;

유체 공급 어셈블리; 및

음향 에너지를 발생시킬 수 있는 에너지 소스를 포함하고:

상기 캐리어 소자는 파티클이 배치된 웨이퍼의 표면이 노출되도록 상기 처리 챔버 내부에서 상기 웨이퍼를 지지할 수 있고,

상기 유체 공급 어셈블리는 상기 표면에 세정 매체를 공급하도록 구성되고, 상기 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 고체 성분 및 액체 성분을 포함하고, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분은 상기 액체 성분의 용해도 한계를 초과하는 농도를 가지는 점탄성 지방족 산으로부터 정의되며,

상기 음향 에너지는 상기 표면에서의 상기 세정 매체에 주기적으로 인가됨으로써, 상기 세정 매체 내부에 상기 웨이퍼의 상기 표면에 접하는 (tangential) 주기적 전단 응력 (periodic shear stress) 을 발생시키고, 상기 주기적 전단 응력은 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 적어도 하나의 고체 성분에 대해 모멘텀 (momentum) 및 드래그 힘 (drag force) 을 부여함으로써, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분이 상기 파티클과 상호작용하게 하여 상기 표면으로부터 상기 파티클을 제거하는, 세정 시스템.

청구항 27

웨이퍼의 후방면에 근접하여 배치된 음향 에너지를 발생시킬 수 있는 트랜스듀서로서, 상기 웨이퍼는 상기 후방면 반대쪽의 파티클을 갖는 전방면을 포함하는, 상기 트랜스듀서;

상기 웨이퍼의 상기 후방면과 상기 트랜스듀서 사이에 액체층을 공급할 수 있는 제 1 유체 공급 어셈블리; 및

상기 웨이퍼의 상기 전방면 상에 세정 매체를 공급할 수 있는 제 2 유체 공급 어셈블리를 포함하고;

상기 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 고체 성분 및 액체 성분을 포함하고, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분은 상기 액체 성분의 용해도 한계를 초과하는 농도를 가지는 점탄성 지방족 산으로부터 정의되며,

상기 음향 에너지는 상기 트랜스듀서로부터 상기 액체층 및 상기 웨이퍼를 통해 상기 웨이퍼의 상기 전방면에서의 상기 세정 매체 내로 주기적으로 전달됨으로써, 상기 세정 매체 내부에 상기 웨이퍼의 상기 표면에 접하는 (tangential) 주기적 전단 응력 (periodic shear stress) 을 발생시키고, 상기 주기적 전단 응력은 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 적어도 하나의 고체 성분에 대해 모멘텀 (momentum) 및 드래그 힘 (drag force) 을 부여함으로써, 상기 하나 이상의 분산된 고체 성분 중 상기 적어도 하나의 고체 성분이 상기 파티클과 상호작용하게 하여 상기 전방면으로부터 상기 파티클을 제거하는, 세정 시스템.

청구항 28

제 27 항에 있어서,

상기 트랜스듀서는 메가소닉 트랜스듀서 또는 울트라소닉 트랜스듀서인, 세정 시스템.

청구항 29

제 28 항에 있어서,

상기 트랜스듀서는 상기 메가소닉 트랜스듀서이고,

상기 음향 에너지의 주파수는 600 KHz 내지 3 MHz 인, 세정 시스템.

청구항 30

제 28 항에 있어서,

상기 트랜스듀서는 상기 울트라소닉 트랜스듀서이고,

상기 음향 에너지의 주파수는 50 Hz 내지 100 KHz 인, 세정 시스템.

청구항 31

제 27 항에 있어서,

상기 액체층은 탈이온수, 암모니아 수소 과산화물 혼합물 (APM; ammonia hydrogen peroxide mixture), 계면활성제 용액 또는 비수계 액체 중 하나인, 세정 시스템.

발명의 설명

[0001]

배경

[0002]

집적 회로, 메모리 셀 등과 같은 반도체 디바이스의 제조에 있어서, 반도체 웨이퍼 ("웨이퍼") 상에 피처를 정의하기 위해 일련의 제조 동작이 수행된다. 웨이퍼는 실리콘 기판 상에 정의된 멀티-레벨 구조의 형태의 집적 회로 디바이스를 포함한다. 기판 레벨에서, 확산 영역을 갖는 트랜지스터 디바이스가 형성된다. 후속 레벨에서, 상호접속 금속화 라인이 패터닝되고 트랜지스터 디바이스에 전기 접속되어 원하는 집적 회로 디바이스를 정의한다. 또한, 패터닝된 도전성 층은 유전체 재료에 의해 다른 도전성 층으로부터 절연된다.

[0003]

일련의 제조 동작 동안, 웨이퍼 표면은 다양한 종류의 오염물질에 노출된다. 본질적으로, 제조 동작 중에 존재하는 임의의 재료가 오염물질의 잠재적인 소스가 된다. 그 중에서도, 예컨대, 오염물질의 소스는 공정 가스, 화학물질, 증착 재료, 및 액체를 포함할 수도 있다. 다양한 오염물질이 미립자 형태로 웨이퍼 표면에 퇴적될 수도 있다. 미립자 오염물질이 제거되지 않는다면, 오염물질 부근의 디바이스는 아마 동작하지 못할 것이다. 그리하여, 웨이퍼 상에 정의된 피처를 손상시키지 않고 실질적으로 완전한 방식으로 웨이퍼

표면으로부터 오염물질을 세정할 필요가 있다. 그러나, 미립자 오염물질의 크기는 종종 웨이퍼 상에 제조된 피처의 임계 치수 크기 정도이다. 웨이퍼 상의 피처에 악영향을 미치지 않고 이러한 작은 미립자 오염물질을 제거하는 것은 어려울 수 있다.

[0004] 종래의 웨이퍼 세정 방법은 웨이퍼 표면으로부터 미립자 오염물질을 제거하기 위해 기계적 힘에 크게 의존하였다. 피처 크기가 계속해서 축소되고 더욱 부서지기 쉬워짐에 따라, 웨이퍼 표면에 대한 기계적 힘의 인가로 인한 피처 손상의 확률이 증대된다. 예컨대, 높은 에스펙트비를 갖는 피처는 충분한 기계적 힘에 의해 충격을 받을 경우에 무너지거나 (toppling) 또는 파괴 (breaking) 되기 쉽다. 세정 문제를 더욱 복잡하게 하는 것은, 축소된 피처 크기를 향한 움직임이 미립자 오염물질의 크기의 축소를 야기한다는 점이다. 충분히 작은 크기의 미립자 오염물질은, 높은 에스펙트비의 피처에 의해 둘러싸인 트렌치에서와 같이, 웨이퍼 표면 상의 에어리어에 도달하는 것을 어렵게 할 수 있다. 그리하여, 최신의 반도체 제조 동안 오염물질을 효율적으로 손상없이 제거하는 것은, 웨이퍼 세정 기술에 있어서의 진보를 계속함으로써 마주치는 끊임없는 과제가 된다. 평판 디스플레이에 대한 제조 동작도 마찬가지로 상기 서술된 집적 회로 제조와 동일한 문제를 가진다는 것을 이해해야 한다.

[0005] 상기한 점을 감안하여, 웨이퍼 표면을 세정하기 위한 보다 효과적이고, 보다 효율적이고 또한 덜 연마적인 (abrasive) 방법이 필요하다.

[0006] **개요**

[0007] 일 실시형태에 있어서, 본 발명은 웨이퍼 세정 방법을 제공한다. 이 방법은 파티클을 갖는 표면을 구비한 웨이퍼를 제공하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한 표면 상에 세정 매체를 제공하는 단계를 포함하고, 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 (coupling element) 를 포함한다. 이 방법은 세정 매체에 외부 에너지를 인가하는 단계를 더 포함하고, 세정 매체에 대한 외부 에너지의 인가는 세정 매체 내부에 주기적 전단 응력 (periodic shear stress) 을 발생시킨다. 주기적 전단 응력은 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트에 대해 힘을 부여하고, 이 힘은 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트와 파티클 사이의 상호작용을 야기하여 표면으로부터 파티클을 제거한다.

[0008] 다른 실시형태에 있어서, 본 발명은 웨이퍼 세정 시스템을 제공한다. 이 시스템은 표면 상에 파티클을 갖는 웨이퍼를 지지하는 캐리어를 포함한다. 이 시스템은 또한 베이스 및 이 베이스로부터 연장되는 하나 이상의 측벽에 의해 정의되는 캐비티를 갖는 탱크를 포함한다. 이 탱크는 캐비티 내부에 다량의 세정 매체를 수용하여 웨이퍼를 침지하도록 구성되고, 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트를 포함한다. 이 시스템은 하나 이상의 측벽 중 적어도 하나에 커플링된 하나 이상의 트랜스듀서를 더 포함하고, 이 하나 이상의 트랜스듀서는 세정 매체에 음향 에너지 (acoustic energy) 를 인가한다. 음향 에너지는 세정 매체 내부에 주기적 전단 응력을 발생시킨다. 주기적 전단 응력은 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트에 대해 힘을 부여함으로써, 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트가 파티클과 상호작용하게 하여 웨이퍼의 표면으로부터 파티클을 제거한다.

[0009] 다른 실시형태에 있어서, 웨이퍼 세정 시스템이 제공된다. 이 시스템은 캐리어 소자 (carrier element) 를 갖는 처리 챔버를 포함하고, 캐리어 소자는 웨이퍼의 표면이 노출되도록 처리 챔버 내부에서 웨이퍼를 지지할 수 있다. 이 노출된 웨이퍼 표면은 그 상부에 파티클을 갖는다. 이 시스템은 젯 어셈블리 (jet assembly) 를 더 포함한다. 젯 어셈블리는 음향 에너지를 발생시키고, 세정 매체가 젯 어셈블리의 관통로 (throughway) 를 따라 이동함에 따라 세정 매체에 이 음향 에너지를 인가하도록 구성되며, 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트를 포함하고, 젯 어셈블리에 의해 발생된 음향 에너지는 노출된 웨이퍼 표면에 대한 세정 매체의 도포 이전에 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 각각의 물리적 특성을 변경한다. 젯 어셈블리는 또한, 젯 어셈블리의 젯으로부터의 유체 움직임이 변경된 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트에 대해 힘을 부여함으로써, 변경된 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트가 파티클과 상호작용하게 하여 웨이퍼의 표면으로부터 파티클을 제거하도록 구성된다.

[0010] 다른 실시형태에 있어서, 본 발명은 웨이퍼 세정 시스템을 제공한다. 이 시스템은 캐리어 소자를 갖는 처리 챔버를 포함하고, 캐리어 소자는 파티클이 배치된 웨이퍼의 표면이 노출되도록 처리 챔버 내부에서 웨이퍼를 지지할 수 있다. 이 시스템은 또한 노출된 웨이퍼 표면에 세정 매체를 공급하도록 구성된 유체 공급 어셈블리를 포함하고, 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트를 포함한다. 이

시스템은 음향 에너지를 발생시킬 수 있는 에너지 소스를 더 포함하고, 음향 에너지는 노출된 웨이퍼 표면에서의 세정 매체에 인가됨으로써, 세정 매체 내부에 주기적 전단 응력을 발생시키고, 그리하여 주기적 전단 응력은 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트에 대해 힘을 부여한다. 이 힘은 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트가 파티클과 상호작용하게 하여 표면으로부터 파티클을 제거한다.

[0011] 또 다른 실시형태에 있어서, 본 발명은 웨이퍼 세정 시스템을 제공한다. 이 시스템은 웨이퍼의 후방면에 근접하여 배치된 트랜스듀서를 포함하고, 트랜스듀서는 음향 에너지를 발생시킬 수 있고, 웨이퍼는 후방면 반대쪽의 파티클이 배치된 전방면을 포함한다. 이 시스템은 또한 웨이퍼의 후방면과 트랜스듀서 사이에 액체층을 공급할 수 있는 제 1 유체 공급 어셈블리를 포함한다. 이 시스템은 제 2 유체 공급 어셈블리를 더 포함하고, 제 2 유체 공급 어셈블리는 웨이퍼의 전방면 상에 세정 매체를 공급할 수 있고, 세정 매체는 그 내부에 현탁되어 있는 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트를 포함한다. 음향 에너지는 트랜스듀서로부터 액체층 및 웨이퍼를 통해 웨이퍼의 전방면에서의 세정 매체 내로 전달됨으로써, 세정 매체 내부에 주기적 전단 응력을 발생시킨다. 주기적 전단 응력은 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트에 대해 힘을 부여함으로써, 하나 이상의 분산된 커플링 엘리먼트 중 적어도 하나의 커플링 엘리먼트가 파티클과 상호작용하게 하여 전방면으로부터 파티클을 제거한다.

[0012] 본 발명의 다른 양태 및 이점은 본 발명의 원리를 예시로서 나타내는 첨부 도면 및 실시형태와 관련하여 취해진 하기 상세한 설명으로부터 명백해질 것이다.

[0013] **도면의 간단한 설명**

[0014] 본 발명은 그 추가적인 이점과 함께, 첨부 도면과 관련하여 취해진 하기 설명을 참조하여 가장 잘 이해될 수도 있다.

[0015] 도 1 은 세정 매체에 대한 외부 에너지의 인가로부터 야기되는 세정 매체 내에 현탁되어 있는 분산된 커플링 엘리먼트와 미립자 오염물질 사이의 상호작용의 도면이다.

[0016] 도 2 는 부착력에 의해 웨이퍼 표면에 부착된 미립자 오염물질을 제거하기 위해 커플링 엘리먼트에 대해 드래그(drag) 힘을 부여하는 주기적 전단 응력의 도면이다.

[0017] 도 3 은 미립자 오염물질을 제거하기 위한 비교의 임계 주기적 응력 요건의 도면이다.

[0018] 도 4 는 분산된 커플링 엘리먼트를 포함하는 세정 매체 내에 주기적 전단 응력을 생성함으로써 웨이퍼 표면으로부터 오염물질을 제거하는 시스템의 도면이다.

[0019] 도 5 는 분산된 커플링 엘리먼트를 포함하는 세정 매체 내에 주기적 전단 응력을 생성함으로써 웨이퍼 표면으로부터 오염물질을 제거하는 다른 시스템의 도면이다.

[0020] 도 6 은 분산된 커플링 엘리먼트를 포함하는 세정 매체 내에 주기적 전단 응력을 생성함으로써 웨이퍼 표면으로부터 오염물질을 제거하는 다른 시스템의 도면이다.

[0021] 도 7 은 분산된 커플링 엘리먼트를 포함하는 세정 매체 내에 주기적 전단 응력을 생성함으로써 웨이퍼 표면으로부터 오염물질을 제거하는 다른 시스템의 도면이다.

[0022] 도 8 은 분산된 커플링 엘리먼트를 포함하는 세정 매체 내에 주기적 전단 응력을 생성함으로써 웨이퍼 표면으로부터 오염물질을 제거하는 방법의 도면이다.

[0023] **상세한 설명**

[0024] 본 발명의 실시형태는 웨이퍼 표면을 세정하는 시스템 및 방법을 제공한다. 보다 상세하게, 본 발명의 실시형태는, 멀티-상태 바다 세정 기술과 이 멀티-상태 바다 세정 기술과 연관된 세정 매체 내부에 현탁되어 있는 커플링 엘리먼트에 모멘텀(momentum) 및/또는 드래그를 인가하기 위한 다른 수단을 조합함으로써, 웨이퍼 표면 상의 미립자 오염물질에 외부 기계적 에너지를 인가하는 효율적인 접근법을 제공한다. 노출된 웨이퍼 표면 상에 세정 매체를 제공하고 세정 매체에 외부 에너지를 인가함으로써, 주기적 전단 응력 또는 압력 구배(pressure gradient)가 세정 매체 내부에 생성될 수 있다. 그후, 이들 주기적 전단 응력 또는 압력 구배는 커플링 엘리먼트에 대해 드래그 및/또는 모멘텀 힘을 부여하도록 작용함으로써, 커플링 엘리먼트와 미립자 오염물질 사이의 상호작용을 야기한다. 커플링 엘리먼트와 미립자 오염물질 사이의 상호작용은 웨이퍼 표면으로부터 미립자 오염물질의 제거를 용이하게 한다. 이러한 접근법은 멀티-상태 바다 세정 매체 내부에 현탁되

어 있는 커플링 엘리먼트에 추가적인 휘젓기 및/또는 움직임 제어를 제공함으로써 오염물질 제거 효율을 증대시킨다. 게다가, 외부 에너지를 세정 매체에 인가하는 크기 및 방식을 제어함으로써, 외부 에너지의 인가에 의해 발생하는 모멘텀 및 드래그 힘이 더욱 엄밀히 제어될 수 있고, 이는 이어서 원치않는 디바이스 손상을 제거할 수 있다.

[0025]

본 명세서에 사용되는 세정 매체는 "멀티-상태 바디 기술" 또는 현탁되어 있는 분산된 "커플링 엘리먼트" 또는 "고체" 를 포함하도록 고안된 임의의 다른 세정 유체, 용액 또는 재료와 연관될 수 있다. 멀티-상태 바디 기술은 임의의 3-상 또는 "3-상태 바디" 유체 또는 임의의 2-상 또는 "2-상태 바디" 유체일 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 3-상태 바디 세정 유체는 기체상 (gas phase), 액체상 (liquid phase) 및 고체상 (solid phase) 성분을 포함한다. 한편, 2-상태 바디 세정 유체는 액체상 및 고체상 성분만을 포함한다. 3-상태 및 2-상태 바디 세정 유체의 고체상 성분은 본 명세서에서 "커플링 엘리먼트" 또는 "고체" 로서 지칭된다. (3-상태 바디 유체/재료의) 기체상 성분 및 (3-상태 및 2-상태 바디 유체/재료의) 액체상 성분은 고체상 성분을 웨이퍼 표면 상의 오염물질 파티클과 근접하게 가져가는 매개체를 제공할 수 있다. 고체상 성분은 액체상 및 기체상 성분 내로의 용해를 회피하고, 액체상 성분 전체에 걸친 분산을 가능하게 하는 표면 기능성 (surface functionality) 을 가진다. 2-상태 및 3-상태 바디 세정 기술의 성분의 간략한 설명이 이하에 제공되지만, 3-상태 바디 세정 기술의 메커니즘 및 성분의 추가적인 설명은, 2006년 2월 3일 출원되고 발명의 명칭이 "Method for removing contamination from a substrate and for making a cleaning solution" 인 미국 특허 출원 11/346,894 (대리인 Docket No. LAM2P546); 2006년 2월 3일 출원되고 발명의 명칭이 "Cleaning compound and method and system for using the cleaning compound" 인 미국 특허 출원 11/347,154 (대리인 Docket No. LAM2P547); 및 2006년 1월 20일에 출원되고 발명의 명칭이 "Method and Apparatus for removing contamination from a substrate" 인 미국 특허 출원 11/336,215 (대리인 Docket No. LAM2P545) 를 참조함으로써 알 수 있다. 특히, 2-상태 바디 또는 2-상 세정 기술의 메커니즘 및 성분의 추가적인 설명은, 2006년 10월 4일에 출원되고 발명의 명칭이 "Method and Apparatus for Particle Removal" 인 미국 특허 출원 11/543,365 (대리인 Docket No. LAM2P562) 를 참조함으로써 알 수 있다.

[0026]

3-상태 바디 유체 또는 재료의 기체상 성분은 3-상태 바디 세정 유체의 약 5 체적% 내지 약 99.9 체적% 를 차지하도록 정의될 수 있다. 기체상 성분을 정의하는 기체 또는 기체들은 불활성 (예컨대, 질소 (N₂), 아르곤 (Ar) 등); 또는 반응성 (예컨대, 산소 (O₂), 오존 (O₃), 과산화수소 (H₂O₂), 공기, 수소 (H₂), 암모니아 (NH₃), 플루오르화수소 (HF), 염산 (HCl) 등) 중 어느 것일 수 있다. 일 실시형태에 있어서, 기체상 성분은 단일 종류의 기체 (예컨대, 질소 (N₂)) 만을 포함한다. 다른 실시형태에 있어서, 기체상 성분은 다양한 종류의 기체들의 혼합물들을 포함하는 기체 혼합물 (오존 (O₃), 산소 (O₂), 이산화탄소 (CO₂), 염산 (HCl), 플루오르화수소산 (HF), 질소 (N₂) 및 아르곤 (Ar); 오존 (O₃) 과 질소 (N₂); 오존 (O₃) 과 아르곤 (Ar); 오존 (O₃), 산소 (O₂) 및 질소 (N₂); 오존 (O₃), 산소 (O₂) 및 아르곤 (Ar); 오존 (O₃), 산소 (O₂), 질소 (N₂) 및 아르곤 (Ar); 그리고 산소 (O₂), 아르곤 (Ar) 및 질소 (N₂)) 이다. 그러나, 결과로서 생기는 기체 혼합물이 액체상 성분 및 고체상 성분과 조합되어서 기관 세정 또는 준비 동작에 이용될 수 있는 3-상태 바디 세정 유체 또는 재료를 형성할 수 있다면, 기체상 성분은 본질적으로 기체 종류의 임의의 조합을 포함할 수 있다는 것에 유념해야 한다.

[0027]

2-상태 및 3-상태 바디 유체 또는 재료의 고체상 성분은 하나 이상의 여러 상이한 형태를 취할 수 있다. 예컨대, 고체상 성분은 집합체, 콜로이드, 겔, 합체된 구형 (coalesced sphere), 또는 본질적으로 임의의 다른 종류의 응집물 (agglutination), 응고물 (coagulation), 응결물 (flocculation), 집괴물 (agglomeration) 또는 합체물 (coalescence) 을 형성할 수도 있다. 상기 식별된 고체상 성분 형태의 예시적인 리스트는 포괄적인 리스트를 나타내도록 의도되지 않는다는 것에 유념해야 하며, 개시된 실시형태의 사상 내에 있는 대체물 또는 확장물이 가능하다. 또한, 고체상 성분은 웨이퍼 표면 및 오염물질 파티클과의 그들의 상호작용에 대해 본 명세서에 기재된 방식으로 기능할 수 있는 본질적으로 임의의 고체 재료로서 정의될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 예컨대, 고체상 성분을 구성하도록 사용될 수 있는 몇몇 예시적인 종류의 재료는 지방족 산, 카르복실산, 파라핀, 왁스, 폴리머, 폴리스티렌, 폴리펩티드 및 다른 점탄성 재료를 포함한다. 고체상 성분 재료는 액체상 성분 내부에 그 용해도 한계를 초과하는 농도로 존재해야 한다. 지방족 산은 본질적으로 탄소 원자가 개방 사슬을 형성하는 유기 화합물에 의해 정의된 임의의 산을 나타낸다. 지방산은 2-상태 바디 및 3-상태 바디 세정 유체 내부의 고체상 성분으로서 사용될 수 있는 지방족 산의 일 예이다. 이들 중에서도, 고체상 성분으로서 사용될 수도 있는 지방산의 예시는 라우르산, 팔미트산, 스테아르산, 올레산, 리놀레산, 리놀렌산, 아라키돈산, 가돌레산, 유르산 (eucric acid), 부티르산, 카프로산, 카프릴산, 미리스트산, 마르가르산

(margaric acid), 베헨산, 리그노세릭산 (lignoseric acid), 미리스톨레산 (myristoleic acid), 팔미톨레산 (palmitoleic acid), 네르반산 (nervanic acid), 파리나르산 (parinaric acid), 팀노돈산 (timnodonic acid), 브라스산 (brassic acid), 클루파노돈산 (clupanodonic acid), 리그노세르산 (lignoceric acid), 세로트산 (cerotic acid) 및 그들의 혼합물을 포함한다. 일 실시형태에 있어서, 고체상 성분은 C-1로부터 약 C-26로 연장되는 다양한 탄소 사슬 길이에 의해 정의되는 지방산의 혼합물을 나타낼 수 있다. 카르복실산은 본질적으로 하나 이상의 카르복시기 (COOH)를 포함하는 임의의 유기 산에 의해 정의된다. 2-상태 바디 및 3-상태 바디 세정 유체의 고체상 성분으로서 사용될 경우, 카르복실산은 약 C-8로부터 약 C-100으로 연장되는 다양한 탄소 사슬 길이의 혼합물을 포함할 수 있다. 또한, 카르복실산은 다른 화학적 관능기 (chemical functionality) (즉, 알콜, 에테르, 및/또는 케톤)를 포함할 수 있다.

[0028] 2-상태 바디 및 3-상태 바디 유체 또는 재료의 액체상 성분은 수계 또는 비수계 중 어느 것일 수도 있다. 예컨대, 수계 액체상 성분은 물 (탈이온화된 또는 기타) 단독으로 정의될 수 있다. 수계 액체상 성분은 물과의 용해성이 있는 다른 구성성분과 조합된 물에 의해 정의된다. 또 다른 실시형태에 있어서, 특히, 비수계 액체상 성분은 탄화수소, 탄화플루오르, 광유 (mineral oil), 또는 알콜에 의해 정의된다. 액체상 성분이 수계인지 또는 비수계인지의 여부에 관계없이, 액체상 성분은 이온성 또는 비이온성 용매와 다른 화학적 첨가제를 포함하도록 조절될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 예컨대, 액체상 성분에 대한 화학적 첨가제는 공용매, pH 조절제 (예컨대, 산 및 염기), 킬레이트 시약, 극성 용매, 계면활성제, 수산화 암모니아, 과산화수소, 플루오르화수소산, 수산화 칼륨, 수산화 나트륨, 수산화 테트라메틸암모늄, 그리고 폴리머, 미립자 및 폴리펩티드와 같은 리올로지 조절제 (rheology modifier)를 포함할 수 있다.

[0029] 본 명세서에서 사용되는 "웨이퍼"는, 제한 없이, 기관, 반도체 웨이퍼, 하드 드라이브 디스크, 광학 디스크, 유리 기관, 평판 디스플레이 표면, 또는 액정 디스플레이 표면 등을 의미한다. 실제 웨이퍼에 따라, 표면은 다른 방식으로 오염될 수도 있고, 허용가능 오염물질의 레벨 또는 오염물질의 종류는 웨이퍼가 취급되는 특수한 산업의 환경에서 정의된다.

[0030] 본 발명의 실시형태에 대한 본 명세서에서의 설명에 있어서, 본 발명의 실시형태에 대한 완전한 이해를 제공하기 위해, 방법 및/또는 컴포넌트의 예시와 같은, 다수의 특정한 상세가 제공된다. 그러나, 본 발명의 실시형태는 하나 이상의 특정 상세 없이, 또는 다른 장치, 시스템, 어셈블리, 방법, 컴포넌트, 재료, 부품 및/또는 기타를 가지고 실시될 수 있다는 것을 당업자는 인식할 것이다. 다른 실례에 있어서, 주지된 구조, 재료, 또는 동작은 본 발명의 실시형태의 모호한 양태를 회피하기 위해 구체적으로 나타내거나 설명하지 않는다. 본 발명은 몇몇 양태를 포함하고, 도면 및 실시형태와 관련하여 기술되고 이하에 제시된다.

[0031] 도 1은, 본 발명의 일 실시형태에 따른, 웨이퍼의 표면에 부착된 미립자 오염물질 (104)과 세정 유체 (102) 내부에 현탁되어 있는 분산된 커플링 엘리먼트 (106) 사이의 상호작용을 야기하는 2-상태 바디 또는 3-상태 바디 세정 유체 (102)에 대한 외부 에너지 (108)의 인가의 도면이다. 구체적으로, 세정 유체 (102)에 대한 외부 에너지 (108)의 인가는 세정 유체 (102) 내부의 주기적 전단 응력 또는 압력 구배 (109)의 생성을 야기한다. 도 2 관련하여 이후 더욱 상세하게 기술되는 바와 같이, 이들 주기적 전단 응력 또는 압력 구배 (109)는 세정 유체 (102) 내부에 현탁되어 있는 커플링 엘리먼트 (106)에 대해 모멘텀 및/또는 드래그 힘을 부여한다. 이들 모멘텀 및 드래그 힘은, 미립자 오염물질 (104)이 웨이퍼 표면 (101)으로부터 떨어져 나가거나 또는 이동되거나 또는 웨이퍼 표면 (101)으로부터 다른 방식으로 제거되게 하는 방식으로, 커플링 엘리먼트 (106)로 하여금 웨이퍼 표면 (101)에 부착된 미립자 오염물질 (104)과 상호작용하게 한다. 도 1의 103, 105, 107에 도시된 바와 같이, 그리고 도 2 관련하여 이후 더욱 상세하게 서술되는 바와 같이, 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104) 사이의 상호작용은, 화학적 또는 물리적 부착, 충돌 (즉, 모멘텀 또는 운동 에너지의 전달), 척력 (repelling force), 인력 (attractive force) (예컨대, 입체적 힘, 정전기적 힘 등), 물리적 및 화학적 결합 (예컨대, 공유 결합, 또는 수소 결합 등)을 포함하지만 이들에 한정되지 않는 다양한 메커니즘을 통해 확립될 수 있다.

[0032] 젯 어셈블리 또는 노즐을 사용하여 웨이퍼 표면 위에 세정 매체를 유입시키는 것; 세정 매체 내에 웨이퍼를 침지하거나, 또는 셰이킹 (shaking), 교반 (stirring) 또는 회전과 같은 수단에 의해 세정 매체 또는 웨이퍼를 기계적으로 휘젓는 (agitating) 것 등과 같은 작용만으로 멀티-상태 바디 세정 재료 내부에 모멘텀 및 드래그 힘이 생성되는 다른 웨이퍼 세정 방법과 달리, 세정 유체 (102)에 대한 외부 에너지 (108)의 선택적으로 제어된 인가를 이용하여 본 발명의 실시형태에 따라 모멘텀 및 드래그 힘이 생성된다. 본 발명의 실시형태에 따르면, 세정 유체 (102) 내부에 생성된 전단 응력 또는 압력 구배 (109)는, 메가소닉 (megasonic), 소니케이션 (sonication), 압전 또는 피에조 음향 액추에이션 (piezo electric or piezo acoustic actuation), 캐비테이션

(cavitation), 증발, 또는 그들의 임의의 조합을 포함하지만 이들에 한정되지 않는 다양한 기술을 이용하여 발생될 수 있다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 이러한 기술에 의해 발생하는 에너지 (108)는 웨이퍼 (100)에 인가될 수 있고, 이는 이어서 에너지 (108)를 세정 유체 (102)로 전달한다. 본 발명의 다른 실시형태에 있어서, 에너지 (108)는 전체 시스템으로 또는 한정된 소스로부터 세정 유체 (102)에 직접 인가될 수 있다.

[0033]

도 2에서, 세정 유체 (102)에 인가된 외부 에너지 (108)는, 본 발명의 실시형태에 따라, 세정 유체 (102)내부에 주기적 전단 응력 $\vec{\tau}$ 또는 압력 구배를 생성한다. 재료의 표면 근방에서의 유체의 움직임에 관련되는 전단 응력 $\vec{\tau}$ 은, 응력이 재료의 표면에 수직인 수직 응력에 대조적으로, 응력이 재료의 표면에 접하는 (tangential) 응력 상태이다. 에너지 입력이 주기적이기 때문에 전단 응력은 주기적이다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 커플링 엘리먼트 (106)가 웨이퍼 표면 (101)에 부착된 오염물질 (104)과 접촉하거나 또는 근접하게 되도록, 외부 에너지 (108)의 인가에 의해 생성되는 주기적 전단 응력 $\vec{\tau}$ 은 세정 유체 (102)내부의 커플링 엘리먼트 (106)에 대해 드래그 힘 F_d 을 부여할 수 있다. 구체적으로, 일 실시형태에 있어서, 외부 에너지 (108)는 세정 유체 (102)에 선택적으로 인가되어, 커플링 엘리먼트 (106)로부터 오염물질 (104)로의 충분한 크기의 전단력 F_d 의 전달로 하여금 오염물질 (104)과 웨이퍼 표면 (101)사이의 부착력 F_A 뿐만 아니라 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)사이의 임의의 척력을 극복하도록 한다. 커플링 엘리먼트 (106)가 오염물질 (104)과 접촉하거나 또는 오염물질 (104)에 근접하게 이동되어 부착력 F_A 를 극복할 경우, 여러 메커니즘을 통해 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)사이의 상호작용 (또는 "커플링")이 발생할 수 있다.

[0034]

이러한 커플링 메커니즘의 하나는 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)사이의 기계적 커플링이다. 예컨대, 커플링 엘리먼트 (106)가 오염물질 (104)보다 더 순응성이 있는 (malleable) 경우, 오염물질 (104)은 커플링 엘리먼트 (106)에 보다 용이하게 부착될 수 있다. 여기서, 전단력 F_d 의 결과로서 커플링 엘리먼트 (106)가 웨이퍼 표면 (101)으로부터 떨어져 나갈 때, 커플링 엘리먼트 (106)와 물리적으로 부착된 오염물질 (104)이 마찬가지로 웨이퍼 표면 (101)으로부터 떨어져 나간다. 또한, 커플링 엘리먼트 (106) 및 오염물질 (104)이 덜 순응성이 있고 충분히 강성이 있는 경우, 커플링 엘리먼트 (106)가 오염물질 (104)과 접촉하는 힘이 실질적으로 탄성 충격을 생성함으로써, 오염물질 (104)이 웨이퍼 표면 (101)으로부터 떨어져 나가거나 또는 뜯어내지게 한다. 여기서, 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)사이의 충돌은 커플링 엘리먼트 (106)로부터 오염물질 (104)로의 에너지 (또는 모멘텀)의 상당한 전달을 야기한다.

[0035]

다른 커플링 메커니즘은 화학적 커플링이다. 이 경우에, 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)은 화학적 상용성이 있고, 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)사이의 물리적 접촉이 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)사이의 화학적 부착을 야기할 수 있다.

[0036]

상기 서술한 기계적 커플링 메커니즘 및 화학적 커플링 메커니즘에 추가하여, 정전기적 커플링이 또한 발생할 수 있다. 예컨대, 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)이 반대 표면 전하를 가지는 경우, 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)이 전기적으로 끌어당겨질 것이다. 이러한 전기적 인력은 웨이퍼 표면 (101)에 오염물질 (104)을 부착시키는 부착력 F_A 를 극복하기에 충분한 크기일 수 있다. 대안으로, 실질적으로 동일한 표면 전하를 갖는 커플링 엘리먼트 (106)와 오염물질 (104)사이의 정전기적 척력 상호작용은 웨이퍼 표면 (101)으로부터 오염물질 (104)을 뜯어내기에 충분히 강할 수 있다. 기계적 커플링, 화학적 커플링 및 정전기적 커플링을 포함하지만 이들에 한정되지 않는 상기 서술한 커플링 메커니즘 중 하나 이상이, 웨이퍼 표면 (101)상의 하나 이상의 오염물질 (104)과 관련하여 임의의 주어진 시간에 발생할 수도 있다는 것에 주의하는 것이 중요하다.

[0037]

도 3에 도시된 바와 같이, 주기적 전단 응력 (또는 압력 구배)의 형태로 세정 유체 (102)로부터 커플링 엘리먼트 (106)로 전달되는 외부 에너지 (108)의 인가가, 웨이퍼 세정 효율을 증대시킬 수 있다는 것이 명백하다. 구체적으로, 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시형태에 따르면, 다른 세정 방법에 비교해서, 미립자 크기 및 치수를 갖는 오염물질 (104)을 제거하기 위해 요구되는 임계 응력의 양은 현저하게 감소된다. 예컨대, 커플링 엘리먼트 (106)를 포함하지 않는 세정 유체의 이용을 채용하여 대략 0.1 μm 의 직경을 갖는 오염물질 (104)을 제거하기 위해 요구되는 임계 응력의 양은 대략 2000 Pa (부착 방향으로 인가되는 응력)이다. 커플링 엘리먼트 (106)를 포함하는 세정 유체를 이용하여 동일 오염물질 (104)을 제거하기 위해 요구되는

임계 응력의 양은 대략 0.3 Pa 이다 (전단 응력이 커플링 엘리먼트와 파티클 사이의 표면적에 작용하고 (드래그 멀티플라이어 (drag multiplier)), 파티클과 표면 사이에만 부착이 발생하므로, 파티클 제거를 위해 현저하게 작은 전단력을 요구한다). 본 발명의 실시형태에 따르면, 동일 오염물질 (104) 을 제거하기 위해 요구되는 임계 응력의 양은 개별적으로, 유체-단독 접근법에 대해 요구되는 임계 응력의 양보다 대략 6000 배 더 작다.

그리하여, 이 시스템은 웨이퍼 상의 구조물에 대한 손상을 제거하는 유체-단독 접근법에 비해 현저하게 더 낮은 전력 레벨에서 동작될 수 있다.

[0038]

도 4 는, 본 발명의 일 실시형태에 따라, 분산된 커플링 엘리먼트 (106) 를 포함하는 세정 유체 (102) 에 주기적 응력을 인가함으로써 웨이퍼 (100) 의 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거하기 위한 시스템 (400) 의 도면이다. 시스템 (400) 은 베이스 (404), 및 이 베이스 (404) 로부터 연장되어 캐비티 (408) 를 형성하는 측벽 (406) 을 갖는 탱크 (402) 를 포함한다. 탱크 (402) 의 캐비티 (408) 는 세정 유체 (102) 를 포함한다. 웨이퍼 (100) 는 세정 유체 (102) 내에 침지되고, 웨이퍼 캐리어 (410) 에 의해 지지된다. 그러나, 세정 유체 (102) 내에 웨이퍼 (100) 를 침지하고 웨이퍼 (100) 를 지지하기 위한, 카세트 (cassette), 그립퍼 (gripper), 홀더 등을 포함하지만 이들에 한정되지 않는 임의의 적합한 수단이 본 발명의 실시형태에 사용될 수 있다.

[0039]

본 발명의 일 실시형태에 있어서, 시스템 (400) 은 탱크 (402) 의 베이스 (404) 및/또는 측벽 (406) 에 커플링된 하나 이상의 메가소닉 트랜스듀서 (412) 를 포함할 수 있다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 메가소닉 트랜스듀서 (412) 는, 세정 유체 (102) 에 고주파 메가소닉 음향 에너지 (414) 를 인가할 수 있다. 메가소닉 트랜스듀서 (412) 에 의해 세정 유체 (102) 에 인가되는 음향 에너지 (414) 의 주파수는 대략 600 KHz 내지 대략 3 MHz 의 범위로부터 선택될 수 있다. 메가소닉 트랜스듀서에 관련된 추가 정보에 대해서는, 2002년 12월 19일 출원되고 발명의 명칭이 "Method and apparatus to decouple power and cavitation for megasonic cleaning" 인 미국 특허 7,165,563; 2003년 2월 28일 출원되고 발명의 명칭이 "Method and apparatus for megasonic cleaning with reflected acoustic waves" 인 미국 특허 7,040,332; 및 2003년 2월 20일 출원되고 발명의 명칭이 "Method and apparatus for megasonic cleaning of patterned substrates" 인 미국 특허 7,040,330 을 참조할 수 있다. 2-상태 및 3-상태 바디 세정 기술의 컴포넌트의 간략한 설명이 이하에 제공되지만, 3-상태 바디 세정 기술의 컴포넌트 및 메커니즘의 추가적인 설명은, 2006년 2월 3일 출원되고 발명의 명칭이 "Method for removing contamination from a substrate and for making a cleaning solution" 인 미국 특허 출원 11/346,894 (대리인 Docket No. LAM2P546); 2006년 2월 3일 출원되고 발명의 명칭이 "Cleaning compound and method and system for using the cleaning compound" 인 미국 특허 출원 11/347,154 (대리인 Docket No. LAM2P547); 및 2006년 1월 20일 출원되고 발명의 명칭이 "Method and Apparatus for removing contamination from a substrate" 인 미국 특허 출원 11/336,215 (대리인 Docket No. LAM2P545) 를 참조하여 알 수 있다. 상기 서술된 특허 및 특허 출원은 참조로서 그 전체가 본 명세서에 통합되어 있다. 세정 유체 (102) 에 메가소닉 에너지 (414) 를 인가함으로써, 커플링 엘리먼트 (106) 에 대해 드래그 힘 F_d 를 부여하는 주기적 전단 응력이 발생되어, 커플링 엘리먼트 (106) 가 웨이퍼 표면 (101) 에 부착된 오염물질 (104) 과 상호작용하게 함으로써 웨이퍼 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거한다. 게다가, 세정 유체 (102) 에 메가소닉 에너지 (414) 를 인가함으로써, 커플링 엘리먼트 (106) 에 대한 드래그 힘 F_d 의 크기는 캐비테이션 (cavitation) 으로부터의 에너지 기여로 인해 증가된다. 캐비테이션은 음파 (sonic) 에너지 (예컨대, 메가소닉 또는 울트라소닉 등) 가 액체 매체에 인가될 때 용존 기체로부터 발생하는 극미세 기포 (microscopic bubble) 의 급속한 형성 및 붕괴이다. 여기서, 붕괴시에, 기포는 에너지를 방출하고, 이 에너지는 메가소닉 트랜스듀서 (412) 에 의해 인가되는 에너지 (414) 와 조합되어 보다 큰 드래그 힘 F_d 를 생성한다.

[0040]

시스템 (400) 의 다른 실시형태에 있어서, 세정 유체 (102) 에 에너지 (414) 를 인가하기 위해 소니케이션 (sonication) 이 이용될 수 있다. 구체적으로, 시스템 (400) 의 메가소닉 트랜스듀서는, 울트라소닉 에너지 또는 임의의 다른 음향 에너지를 세정 유체 (102) 에 인가하는 트랜스듀서로 대체될 수 있다. 당업자가 인식하는 바와 같이, 소니케이션은 통상 매체에 울트라소닉 에너지를 인가하여 그 매체 내부에 포함된 파티클을 휘젓는 것을 포함한다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 세정 유체 (102) 에 울트라소닉 에너지를 인가함으로써, 커플링 엘리먼트 (106) 에 대해 드래그 힘 F_d 를 부여하는 주기적 전단 응력이 또한 발생되어, 커플링 엘리먼트 (106) 가 오염물질 (104) 과 상호작용하게 하여 웨이퍼 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거할 수 있다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 울트라소닉 에너지의 주파수는 대략 50 Hz 내지 대략 100 KHz 의 범위로부터 선택될 수 있다.

- [0041] 또 다른 실시형태에 있어서, 시스템 (400) 의 메가소닉 트랜스듀서 (412) 또는 임의의 다른 트랜스듀서는 제거될 수 있고, 저주파 음향 에너지가 캐리어 (410) 를 통해 세정 유체 (102) 에 인가될 수 있다. 구체적으로, 일 실시형태에 있어서, 저주파 음향 에너지 (예컨대, 초음파 에너지) 는 캐리어 (410) 의 홀더 (416) 를 통해 캐리어 (410) 로 나아갈 수 있고, 그후 저주파 음향 에너지가 캐리어 (410) 로부터 세정 유체 (102) 내로 전달된다. 일 실시형태에 있어서, 저주파 음향 에너지는 대략 50 Hz 내지 대략 100 KHz 의 주파수를 가질 수 있다. 상기 서술된 바와 같이, 세정 유체 (102) 에 대한 에너지 (414) 의 인가는 세정 유체 (102) 내의 움직임을 발생시키고, 그 움직임은 세정 유체 (102) 내에 현탁되어 있는 커플링 엘리먼트 (106) 에 대해 드래그 및/또는 모멘텀 힘을 부여한다. 이들 힘은 웨이퍼 표면 (101) 상의 오염물질 (104) 과 커플링 엘리먼트 (106) 사이의 상호작용을 야기함으로써, 웨이퍼 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거한다.
- [0042] 도 5 는, 본 발명의 일 실시형태에 따른, 웨이퍼 (100) 의 표면 (101) 으로부터 미립자 오염물질 (104) 을 제거하기 위한 젯 어셈블리 (502) 를 포함하는 시스템 (500) 의 도면이다. 시스템 (500) 은 처리 챔버 (504) 를 포함하고, 이 처리 챔버 (504) 는 캐리어 (506), 또는 웨이퍼 (100) 를 지지하기 위한 임의의 다른 적합한 수단을 포함한다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 젯 어셈블리 (502) 는 음향 에너지 (508) (예컨대, 메가소닉, 초음파 등) 를 발생시킬 수 있고, 그리하여, 커플링 엘리먼트 (106) 를 포함하는 세정 유체 (102) 가 젯 어셈블리 (502) 의 관통로 (510) 를 따라 통과함에 따라, 음향 에너지 (508) 가 세정 유체 (102) 에 인가되어, 세정 유체 (102) 가 웨이퍼 (100) 의 노출된 표면 (101) 상으로 분무되기 전의 세정 유체 (102) 의 특성을 변경시키게 된다. 특히, 일 실시형태에 따르면, 세정 유체 (102) 에 음향 에너지 (508) 를 인가함으로써, 커플링 엘리먼트 (106) 각각은 물리적으로 변경될 수 있다 (예컨대, 크기, 형상 등). 예컨대, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 변경된 커플링 엘리먼트 (106) 의 크기 분포가 넓어지거나, 좁아지거나, 또는 보다 작은 평균 크기로 시프트될 수 있다. 결과적으로, 변경된 커플링 엘리먼트 (106) 는 웨이퍼 표면 (101) 상의 오염물질 (104) 과의 개선된 상호작용을 가지고, 이는 이어서 오염물질 (104) 을 제거하는 변경된 커플링 엘리먼트 (106) 의 능력 각각에 있어서 대응하는 개선을 제공한다. 추가적으로, 젯 어셈블리 (502) 의 젯으로부터의 유체 움직임은 변경된 커플링 엘리먼트 (106) 에 대해 힘을 부여함으로써, 하나 이상의 변경된 커플링 엘리먼트 (106) 가 미립자 오염물질 (104) 과 상호작용하게 하여 웨이퍼 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거할 수 있다.
- [0043] 도 6 은, 본 발명의 일 실시형태에 따른, 웨이퍼 (100) 의 노출된 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거하는 시스템 (600) 의 도면이다. 시스템 (600) 은 캐리어 (604), 또는 웨이퍼 (100) 를 지지하기 위한 임의의 다른 적합한 수단을 포함하는 처리 챔버 (602) 를 포함한다. 시스템 (600) 은, 유체 공급 어셈블리 (610) 를 이용하여 노출된 웨이퍼 표면 (101) 상에 세정 유체 (102) 를 분무하는 것과 동시에, 분산된 커플링 엘리먼트 (106) 를 포함하는 세정 유체 (102) 내에 음향 에너지 (608) 를 방사할 수 있는 에너지 소스 (606) 를 더 포함한다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 에너지 소스 (606) 는 트랜스듀서 엘리먼트 (예컨대, 메가소닉, 초음파 등), 또는 세정 유체 (102) 에 음향 에너지 (608) 를 발생시키고 인가할 수 있는 임의의 다른 엘리먼트를 포함할 수 있다. 여기서 다시, 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 세정 유체 (102) 내부에 현탁되어 있는 커플링 엘리먼트 (106) 는 음향적으로 발생된 대류 (convection) 를 통해 노출된 웨이퍼 표면 (101) 과 접촉함으로써, 오염물질 (104) 과 상호작용하고 노출된 웨이퍼 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거한다.
- [0044] 도 7 은, 본 발명의 일 실시형태에 따른, 웨이퍼 (100) 의 노출된 전방면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거하는 시스템 (700) 의 도면이다. 시스템 (700) 은 캐리어 (704) 또는 웨이퍼 (100) 를 지지하기 위한 임의의 다른 적합한 수단을 포함하는 처리 챔버 (702) 를 포함한다. 노출된 웨이퍼 전방면 (101) 반대쪽의 웨이퍼 (100) 의 후방면 (706) 에서, 시스템 (700) 은 후방면 (706) 에 근접하게 위치되고 그리고 웨이퍼 후방면 (706) 과 트랜스듀서 (710) 사이에 있는 액체층 (708) 을 더 포함한다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 트랜스듀서 (710) 는 메가소닉 에너지, 초음파 에너지 등을 포함하지만 이들에 한정되지 않는 음향 에너지 (712) 를 발생시킬 수 있는 임의의 트랜스듀서일 수 있다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 액체층 (708) 은 트랜스듀서 (710) 로부터 발생된 음향 에너지 (712) 를 웨이퍼 (100) 로 전달하는 매체로서 제공된다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 액체층 (708) 을 형성하는 액체는 탈이온수, 암모니아 수소 과산화물 혼합물 (APM; ammonia hydrogen peroxide mixture), 계면활성제 용액 또는 비수계 액체일 수 있다. 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 액체층 (708) 을 형성하는 액체의 공급 및 회수 (reclaim) 는 공급 탱크 (714) 로부터 액체층 (708) 으로 그리고 액체 펌프 (716) 를 통해 다시 공급 탱크 (714) 로의 액체의 순환에 의해 달성될 수 있다. 추가적으로, 액체층 (708) 은 당업자에 의해 인식되는 임의의 방식으로 후방면 (706) 과 트랜스듀서

(710) 사이에 형성될 수 있다.

- [0045] 도 7 을 또한 참조하면, 본 발명의 일 실시형태에 따라, 트랜스듀서 (710) 로부터 음향 에너지 (712) 는 액체 층 (708) 을 통해 웨이퍼 (100) 로 전달되고, 웨이퍼 (100) 를 통해 웨이퍼의 전방면 상의 노출된 웨이퍼 표면 (101) 에서의 세정 유체 (102) 내로 전달된다. 이 경우, 음향 에너지 (712) 가 웨이퍼 (100) 에 인가되고, 웨이퍼 (100) 는 에너지 (712) 를 세정 유체 (102) 에 전달한다. 세정 유체 (102) 내로 직접 에너지 (712) 를 인가하는 것보다 웨이퍼 (100) 에 에너지 (712) 를 인가하는 것의 이점은 보다 적은 에너지가 소모된다는 것이다.
- [0046] 상기 서술한 바와 같이, 웨이퍼 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거하기 위해 세정 유체 (102) 에 외부 에너지를 인가하는 다양한 기술이 본 발명의 다른 실시형태에 따라 제공될 수 있다. 예컨대, 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 압전 또는 피에조 음향 액추에이션이 이용될 수 있다. 압전 액추에이션에 대해, 오염물질 용기의 벽 또는 특정 영역이 (압전 재료를 통해) 주기적으로 섭동되어 (perturbed), 오염물질 용기 내부의 체적 변화 및 유체 움직임을 야기할 수 있다. 유체 움직임은 오염물질 제거 및 웨이퍼 표면에 걸친 드래그를 개선시킨다. 다른 예에 있어서, 본 발명의 일 실시형태에 따라, 증발이 이용될 수 있다. 여기서, 증발은 유체의 벌크 움직임을 유발하고, 웨이퍼 표면 상의 드래그를 개선시켜 오염물질 제거를 용이하게 한다.
- [0047] 도 8 은, 본 발명의 일 실시형태에 따른, 웨이퍼 (100) 의 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거하는 방법이다. 단계 800 에서, 표면 (101) 에 부착된 미립자 오염물질 (104) 을 갖는 웨이퍼 (100) 가 제공된다. 단계 802 에서, 세정 유체 (102) 내부에 현탁되어 있는 분산된 커플링 엘리먼트 (106) 를 포함하는 세정 유체 (102) 가 웨이퍼 표면 (101) 에 도포된다. 상기 서술한 바와 같이, 세정 유체 (102) 는 2-상태 바다 또는 3-상태 바다 유체, 또는 현탁되어 있는 분산된 고체상 성분 (커플링 엘리먼트) (106) 을 포함하도록 고안된 임의의 다른 세정 유체, 용액 또는 재료일 수 있다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 세정 유체 (102) 내에 웨이퍼 (100) 전체를 침지함으로써 웨이퍼 표면 (101) 에 세정 유체 (102) 가 도포될 수 있다. 예컨대, 도 4 에 도시된 바와 같이, 세정 유체 (102) 내에 웨이퍼 (100) 를 침지하기 위해 탱크 시스템 (400) 이 사용될 수 있다. 그러나, 본 발명의 실시형태는 세정 유체 (102) 내에 웨이퍼 (100) 를 침지하는 특정 시스템에 한정되지 않는다. 본 발명의 다른 실시형태에 있어서, 젯 어셈블리, 스프레이 노즐 등을 사용하여 웨이퍼 (100) 의 하나 이상의 노출된 표면 (101) 위에 세정 유체 (102) 를 퍼뜨릴 수 있다 (spread). 예컨대, 도 5 내지 도 7 에 도시되어 있는 것과 같다.
- [0048] 단계 804 에서, 세정 유체 (102) 에 외부 에너지를 인가하여 세정 유체 (102) 내부에 주기적 전단 응력 (또는 압력 구배) 를 생성한다. 상기 서술한 바와 같이, 주기적 전단 응력은 세정 유체 (102) 내부에 현탁되어 있는 커플링 엘리먼트 (106) 에 대해 드래그 및/또는 모멘텀을 부여한다. 결과적으로, 커플링 엘리먼트 (106) 가 웨이퍼 표면 (101) 과 충돌하여 커플링 엘리먼트 (106) 와 오염물질 (104) 사이의 상호작용을 야기하고, 이 상호작용은 웨이퍼 표면 (101) 에 부착된 오염물질 (104) 의 제거를 용이하게 한다. 즉, 세정 유체 (102) 내부에 현탁되어 있는 커플링 엘리먼트 (106) 가 음향적으로, 기계적으로 등으로 발생된 대류를 통해 웨이퍼 표면 (101) 과 접촉함으로써, 오염물질 (104) 과 상호작용하고 웨이퍼 표면 (101) 으로부터 오염물질 (104) 을 제거한다. 본 발명의 실시형태에 따르면, 메가소닉, 소니케이션, 압전 또는 피에조 액추에이션, 캐비테이션, 증발 등을 포함하지만 이들에 한정되지 않는 다양한 기술을 이용하여 전단 응력 또는 압력 구배가 발생할 수 있다. 예컨대, 도 4 내지 도 7 은 메가소닉, 소니케이션 및 캐비테이션 기술 중 하나 또는 그 조합을 이용하여 세정 유체에 외부 에너지를 인가하는 예시를 제공한다. 본 발명의 일 실시형태에 있어서, 예컨대 도 4 내지 도 6 에 도시된 바와 같이, 전체 시스템에 또는 한정된 소스에서 직접 세정 유체 (102) 에 에너지를 인가할 수 있다. 본 발명의 다른 실시형태에 있어서, 예컨대 도 7 에 도시된 바와 같이, 웨이퍼 (100) 에 에너지를 인가할 수 있고, 여기서 웨이퍼 (100) 가 유체 (102) 에 에너지를 전달한다.
- [0049] 상기 서술에 비추어, 본 발명의 실시형태는 통합된 포스트-에치 세정을 위한 세정 기술, 독립형 웨이퍼 세정 애플리케이션, 또는 웨이퍼 표면으로부터의 오염물질의 제거를 요구하는 임의의 다른 세정 기술 또는 애플리케이션에 효율적인 접근법을 제공한다는 것이 명백하다. 본 발명의 실시형태에 따르면, 고체상 커플링 엘리먼트를 갖는 세정 유체에 대한 외부 에너지의 인가를 통해, 세정 유체 내부에 현탁되어 있는 커플링 엘리먼트에 추가적인 휘젓기 및/또는 움직임 제어를 제공함으로써, 오염물질 제거 효율이 향상된다. 또한, 외부 에너지를 세정 유체에 인가하는 크기 및 방식을 제어함으로써, 이러한 에너지 인가에 의해 발생하는 전단 응력 힘이 더욱 엄밀히 제어될 수 있고, 이는 이어서 원치않는 디바이스 손상을 제거한다. 추가적으로, 제거 메커니즘은 제어된 모멘텀 전달이기 때문에, 보다 낮은 농도의 커플링 엘리먼트를 갖는 세정 용액 또는 유체가 사용될 수 있다.

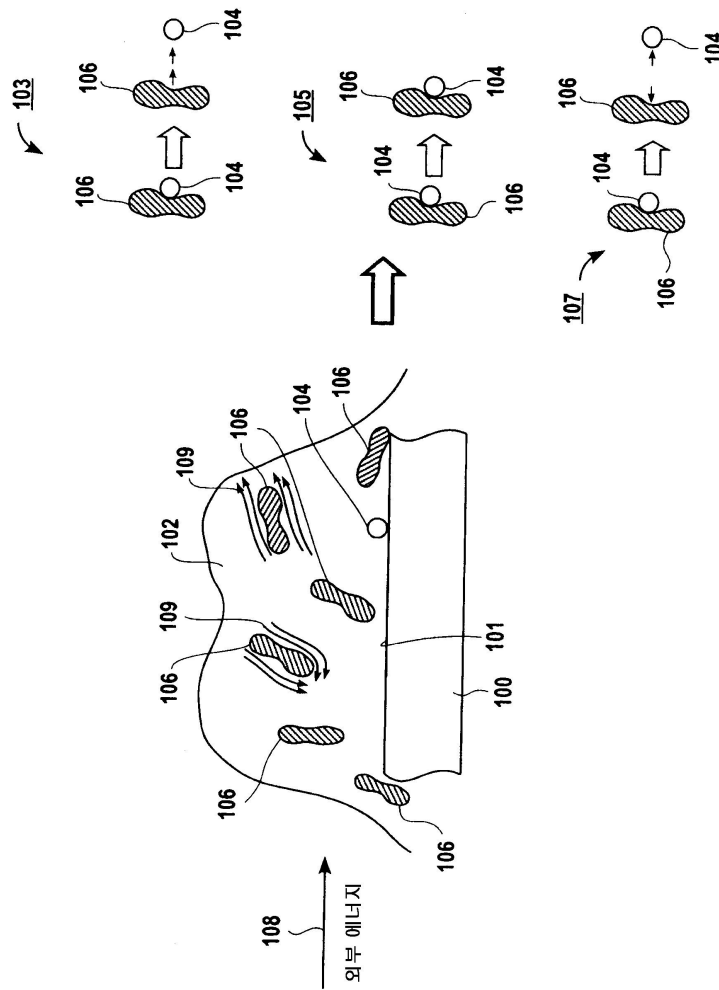
다.

[0050]

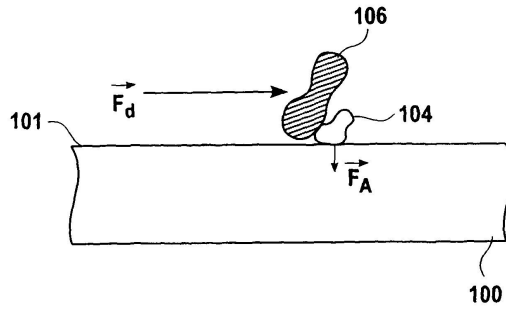
이상, 본 발명은 이해의 명료성을 위해 일부 상세하게 기재되었지만, 첨부된 청구범위의 범위 내에서 소정의 변화 및 변경이 실시될 수도 있다는 것이 자명할 것이다. 따라서, 본 실시형태는 제한적으로서가 아닌 예시적으로서 고려되어야 하며, 본 발명은 본 명세서에 주어진 상세내용에 한정되지 않고 첨부된 청구범위의 범위 및 등가물 내에서 변경될 수도 있다.

도면

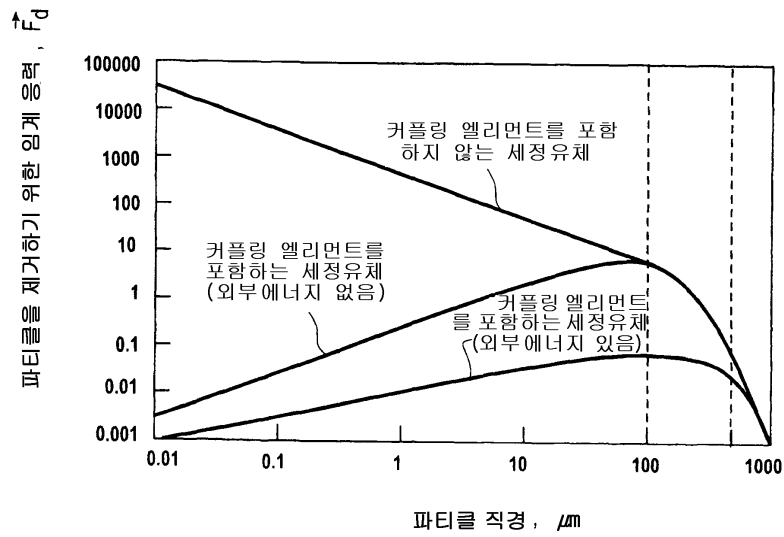
도면1



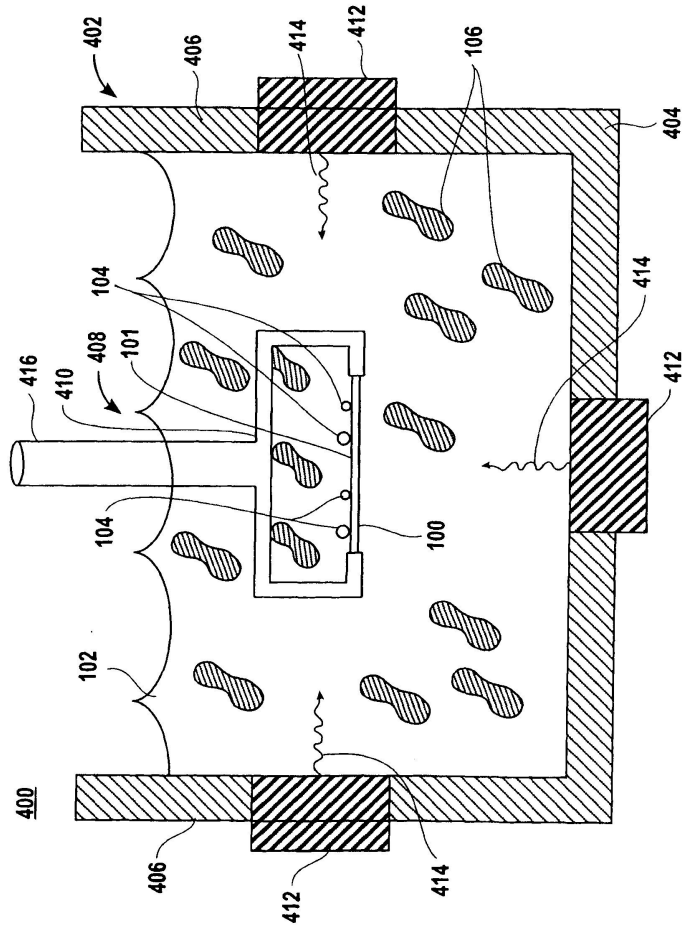
도면2



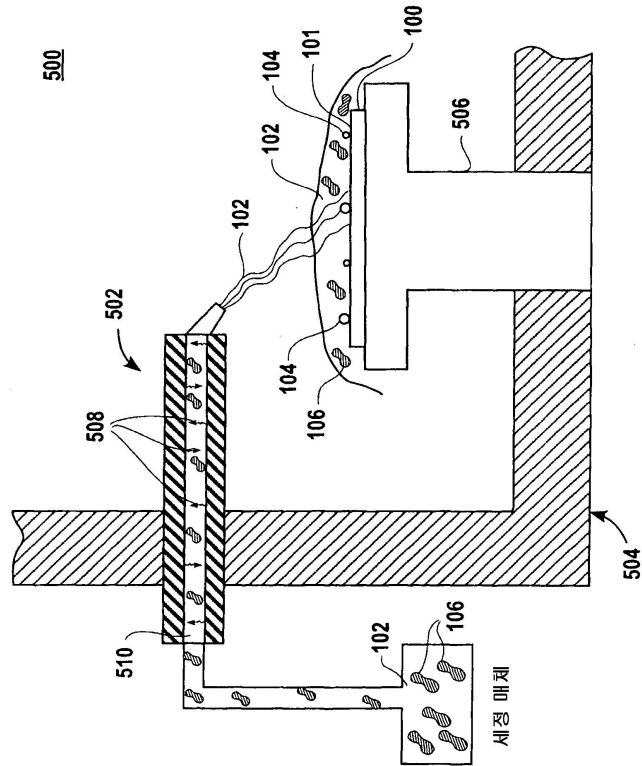
도면3



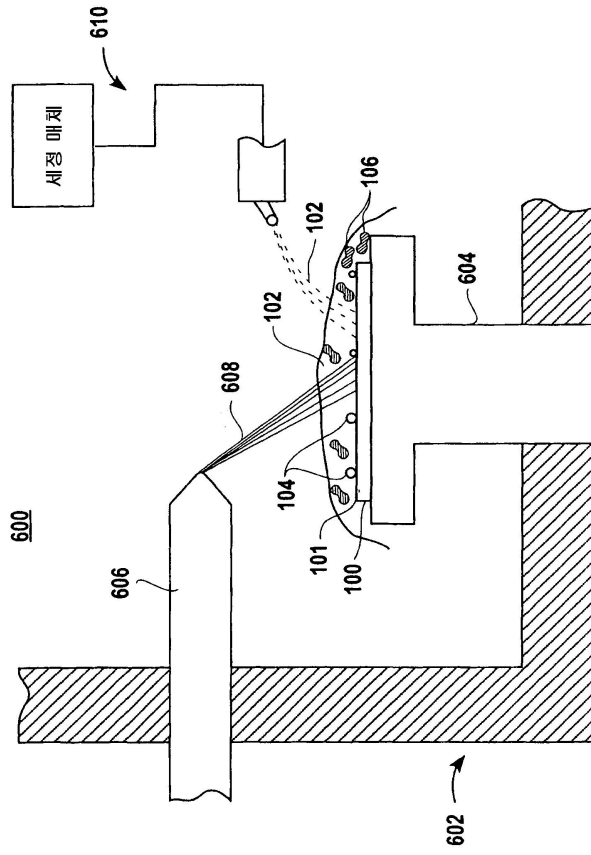
도면4



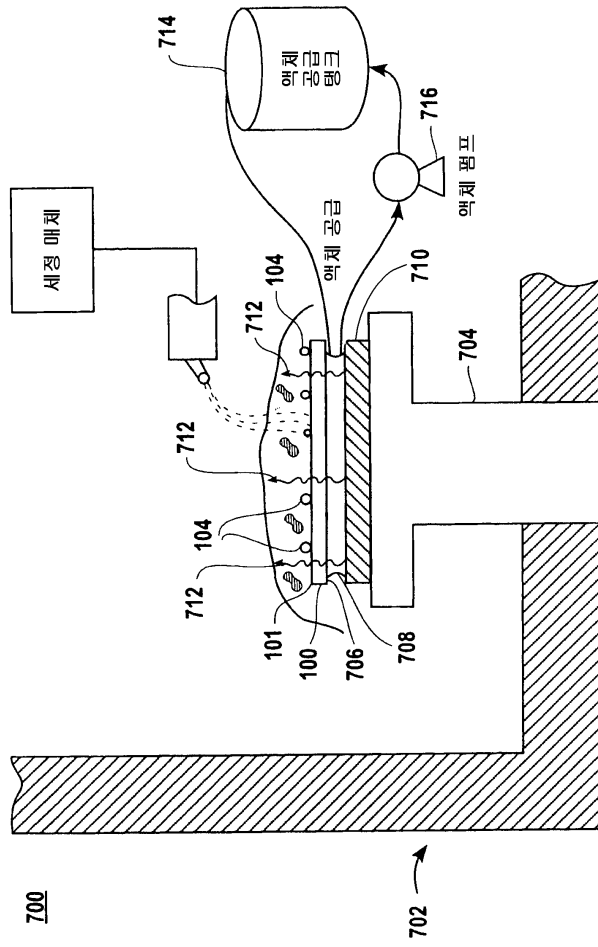
도면5



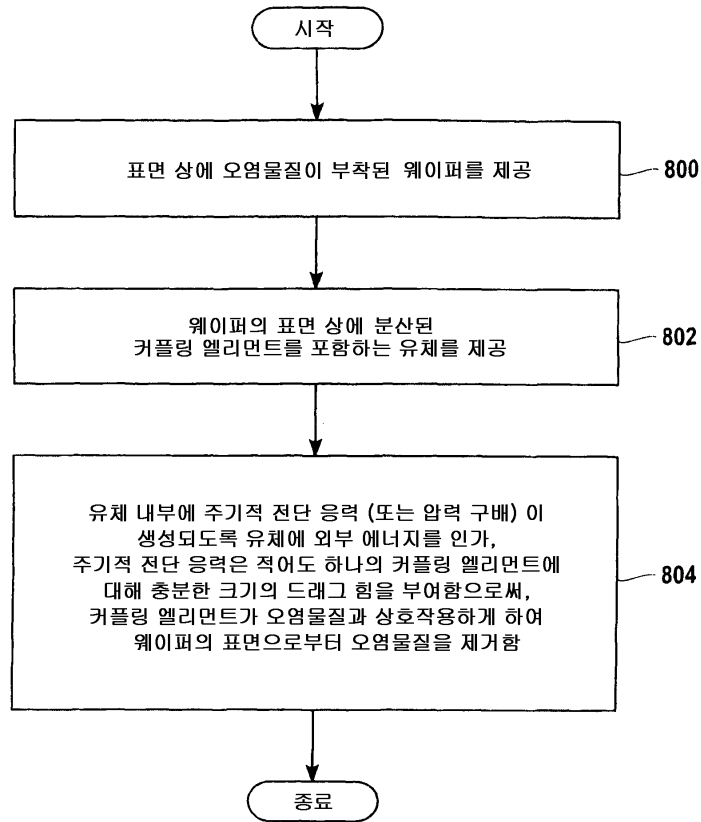
도면6



도면7



도면8



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 27

【변경전】

상기 표면에서의

【변경후】

표면에서의

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 18

【변경전】

다량의 세정 매체

【변경후】

세정 매체