



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0083125
(43) 공개일자 2010년07월21일

(51) Int. Cl.

B08B 3/12 (2006.01) H01L 21/302 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-7005270

(22) 출원일자(국제출원일자) 2008년07월30일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2010년03월09일

(86) 국제출원번호 PCT/US2008/071546

(87) 국제공개번호 WO 2009/020808

국제공개일자 2009년02월12일

(30) 우선권주장

12/055,178 2008년03월25일 미국(US)

60/954,989 2007년08월09일 미국(US)

(71) 출원인

레이브 엘엘씨

미국, 플로리다 33445, 텔레이 비치, 스위트 7,
에스. 칸그레스 에비뉴 430

(72) 발명자

르클레르, 제프리 이.

미국, 플로리다 33433, 보카 라톤, 베이브리즈 웨
이 11083

외슬러, 케네스 길버

미국, 플로리다 33431, 보카 라톤, 노스 웨스트
30 로드 2096

브링클리, 데이비드

미국, 메릴랜드 21209, 발티모어, 설그레이브 에
비뉴 2207

(74) 대리인

특허법인대아

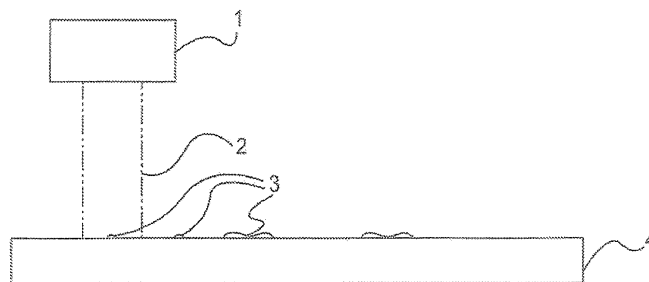
전체 청구항 수 : 총 49 항

(54) 간접적 표면 세정 장치 및 방법

(57) 요약

세정 대상인 표면 바로 상부의 환경에 대해 제한된 접근로를 갖거나 아예 갖지 않은 타겟 표면을 레이저 표면 세정하는 방법이 개시된다. 본 방법은 기관 손상의 위험성을 줄이면서 표면을 세정하는 능력을 포함한다. 본 방법은 오염된 기관 표면을 직접 레이저 여기시키는 것과 기관에서 오염성 미립자 또는 오염층으로 열 전달하는 것을 포함한다. 본 방법은 또한 표면 세정을 수행하는 데 요구되는 온도를 기관 재료의 열적 손상 수준보다 낮게 유지함으로써 열에 기초한 제거를 수행하고 기관 손상의 위험성을 감소시킨다. 또한, 본 방법은 비교적 장펄스 폭을 이용함으로써 기관 손상의 위험성을 감소시키는 것과, 작은 오염물/입자의 제거를 향상시키는 것과, 기관 환경 인클로저의 일부인 표면에 대해 배치되는 재료를 통해 비임을 인도하는 것도 포함한다.

대표도 - 도1a



특허청구의 범위

청구항 1

표면에 오염물이 있는 기판을 향해 레이저를 인도하는 단계;
상기 레이저를 이용하여 상기 기판 재료에 제1 열적 증가를 일으키는 단계;
상기 기판 재료에서의 상기 제1 열적 증가로 인해 상기 오염물에 제2 열적 증가를 유도하는 단계; 및
상기 오염물을 열적으로 분해하거나 물리적 상태 변화를 일으키는 단계를 포함하는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 기판의 온도는 상기 기판에 손상이나 해로운 영향을 일으키는 온도 미만으로 유지되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 기판의 온도는 상기 기판에 대해 배치되는 재료에 손상이나 해로운 영향을 일으키는 온도 미만으로 유지되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 기판의 온도는 상기 기판을 포함하는 장치나 제품에 손상이나 해로운 영향을 일으키는 온도 미만으로 유지되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 기판은 하나 또는 그 이상의 재료로 이루어지는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 기판은 적어도 하나의 박막층을 포함하는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 기판은 하나 이상의 재료로 이루어지되, 모재 기판의 부분들이 박막 코팅을 갖지 않도록 패턴 처리되는 박막층을 포함하는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 방법은 건성 레이저 표면 세정 방법인 레이저 표면 세정 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 기판은 포토마스크인 레이저 표면 세정 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 레이저의 출력은 펄스형인 레이저 표면 세정 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 레이저의 출력은 펄스 폭이 변경되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 기판은 펠리클에 의해 부분적으로 또는 완전히 폐쇄 또는 보호되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 레이저는 상기 기관에 대해 배치되는 재료를 통해 인도되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 레이저의 파장은 상기 기관에 의해 상기 레이저의 에너지가 흡수되도록 선택되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 15

제1항에 있어서, 서로 다른 파장을 갖는 하나 또는 그 이상의 레이저 또는 조율 가능한 레이저가 이용함으로써, 기관이 적어도 두 개의 재료로 이루어지는 경우 상기 기관이 가열되도록 하는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 16

제1항에 있어서, 냉각을 허용하도록 히트 싱크(heat sink)가 상기 기관에 인접해서 배치되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 17

제1항에 있어서, 상기 기관은 잔류물 또는 결과물의 효과를 완화하도록 물리적으로 조작되거나 배향되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 18

제1항에 있어서, 상기 기관은 대류에 의해 냉각되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 19

제1항에 있어서, 하나 이상의 계측이 상기 세정 방법과 결합하여 이용되는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 20

제1항에 있어서, 상기 레이저는 상기 오염물에서의 열적 증가에 직접적으로 관여하는 레이저 표면 세정 방법.

청구항 21

에너지 공급원을 이용하여 상기 기관에 제1 열적 증가를 일으키고 상기 제1 열적 증가가 상기 오염물의 제2 열적 증가를 유도함으로써 상기 오염물의 열 분해 또는 물리적 상태 변화를 초래하는 단계를 포함하는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 에너지 공급원은 상기 기관의 외부에 있는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 23

제21항에 있어서, 상기 에너지 공급원은 전자기 에너지 공급원인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 24

제21항에 있어서, 상기 에너지 공급원은 레이저인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 25

제21항에 있어서, 상기 기관의 온도는 상기 기관에 손상이나 해로운 영향을 일으키는 온도 미만으로 유지되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 26

제21항에 있어서, 상기 기관의 온도는 상기 기관에 대해 배치되는 재료에 손상이나 해로운 영향을 일으키는 온도 미만으로 유지되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 27

제21항에 있어서, 상기 기관의 온도는 상기 기관을 이용하는 장치나 제품에 손상이나 해로운 영향을 일으키는 온도 미만으로 유지되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 28

제21항에 있어서, 상기 기관은 하나 또는 그 이상의 재료로 이루어지는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 29

제21항에 있어서, 상기 기관은 박막층을 포함하는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 30

제21항에 있어서, 상기 기관은 하나 또는 그 이상의 재료로 이루어지되, 모재 기관의 부분들이 박막 코팅을 갖지 않도록 패틴 처리되는 박막층을 포함하는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 31

제21항에 있어서, 상기 기관 표면은 건성인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 32

제21항에 있어서, 상기 기관은 포토마스크인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 33

제21항에 있어서, 냉각을 허용하도록 히트 싱크가 상기 기관에 인접해서 배치되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 34

제21항에 있어서, 상기 외부 에너지 공급원은 상기 오염물에서의 열적 증가에 직접적으로 관여하는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 35

제21항에 있어서, 하나 이상의 계층이 이용되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 36

제21항에 있어서, 상기 기관은 잔류물 또는 결과물의 효과를 완화하도록 물리적으로 조작되거나 배향되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 37

오염된 표면에 대해 배치되는 재료를 통해 에너지 공급원을 인도하여, 상기 기관에 제1 열적 증가를 일으키고 상기 제1 열적 증가가 상기 오염물의 제2 열적 증가를 유도함으로써 상기 오염물의 열 분해 또는 물리적 상태 변화를 초래하도록 하는 단계를 포함하는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 38

제37항에 있어서, 상기 에너지 공급원은 상기 기관 표면을 향해 집중되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 39

제37항에 있어서, 상기 에너지는 전자기 에너지 공급원에 의해 제공되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 40

제37항에 있어서, 상기 에너지 공급원은 레이저인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 41

제40항에 있어서, 상기 레이저의 출력은 펄스형인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 42

제40항에 있어서, 상기 레이저의 펄스형 출력은 폭이 변경되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 43

제40항에 있어서, 상기 레이저의 파장은 상기 기관의 표면에 의해 상기 레이저의 에너지가 흡수되도록 선택되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 44

제37항에 있어서, 상기 기관은 포토마스크인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 45

제37항에 있어서, 상기 오염된 표면에 대해 배치되는 재료는 펠리클 및 막인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 46

제37항에 있어서, 상기 오염된 표면에 대해 배치되는 재료는 외부 에너지 공급원으로부터 에너지를 흡수하는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 47

제37항에 있어서, 상기 오염된 표면에 대해 배치되는 재료에서의 열적 증가를 감소시키기 위한 수단이 마련되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 48

제47항에 있어서, 상기 수단은 강제 대류의 형태인 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

청구항 49

제37항에 있어서, 상기 기관은 잔류물 또는 결과물의 효과를 완화하도록 물리적으로 조작되거나 배향되는 기관상의 표면 오염 효과를 완화시키기 위한 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 표면 세정에 유용한 장치와 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 통상 반도체 산업, 광학 등에 사용되는 구성요소의 표면을 세정하기에 유용한 장치와 방법에 관한 것이다. 본 명세서에 개시된 장치와 방법은 포토마스크 레티클의 사용 수명을 연장하는 데 적용할 수 있다.

[0002] 본 출원은 그 개시된 내용이 본 출원에서 전체적으로 인용되는 2007년 8월 9일 출원된 발명의 명칭이 "간접적 표면 세정 장치 및 방법"인 미국 가특허출원 제60/954,989호와 2008년 3월 25일 출원된 발명의 명칭이 "간접적

표면 세정 장치 및 방법"인 미국 특허출원 제12/055,178호의 우선권을 주장한 것이다.

배경 기술

- [0003] 전자기 복사선은 오랫동안 표면 세정에 이용되어 왔다. 이들 공정의 예로는 표면 오염의 제거, 페인트와 같은 얇은 재료층 코팅의 제거 또는 금속 작업면에서의 오일 제거가 있다. 일부 최초의 예에서는 플래시 램프 복사선 공급원을 이용했다. 이들 시스템은 도달 가능한 최고 출력 때문에 그 용도가 제한될 수 있다.
- [0004] 도달 가능한 높은 최고 출력, 고 에너지 안정성 및 파장 선택성으로 인해 이런 유형의 공정에 더욱 많이 이용되고 있다. 이런 특징은 국부화 정도를 높이고 재료 선택성을 개선하고 세정 효과의 깊이 조절을 허용한다. 레이저 표면 세정 공정은 크게는 표면 오염층 제거 및 미립자 제거로 구분될 수 있다. 표면 오염층의 제거는 일반적으로 레이저 용제(laser ablation)에 의해 달성된다. 입자 제거는 전반적인 오염 제거를 수반한다.
- [0005] 이들 두 분류 하에서의 세정 공정은 보다 높은 최고 출력을 제공하는 데 펄스형 레이저 복사선을 이용함으로써 이익을 얻을 수 있다. 특히 단펄스형 복사선은 개선된 처리를 제공할 수 있다. 단펄스형 복사선은 레이저 용제 처리에서 열영향부(heat affected zone)를 감소시키는 것으로 밝혀졌다. 이는 제거 깊이의 보다 미세한 조절을 허용할 뿐만 아니라 용제식 제거(ablative removal)의 국부화를 개선한다. 단펄스형 복사선은 또한 입자 및/또는 기관 내부에서 열증가 속도를 증가시켜서 입자 제거를 수행하는 가속력을 증가시킴으로써 미립자 제거를 향상시킬 수 있다.
- [0006] 용제식 및 미립자 제거 공정 모두에서 기관 손상이 문제될 수 있으며 이런 효과를 최소화하기 위해 여러 기술이 개발되고 있다. 용제식 공정의 경우, 오염물의 흡수를 증가시키는 파장을 선택하는 것이 에너지 밀도 요건을 줄임으로써 기관 손상을 감소시킬 수 있다. 더불어, 충분한 오염물 제거를 위해 복수의 펄스를 이용하는 것이 요구되는 에너지 밀도를 감소시킬 수 있다. 그러나, 파장 선택과 복수의 펄스 제거 공정을 이용한다 하더라도 선택 파장에서 높은 흡수성을 갖는 기관은 오염물과 같이 제거되기 쉽다. 기관 계면에서 제거 공정을 최종 중단하는 능력은 이런 경우에 제한된다. 이런 문제는 보다 작은 크기의 오염인 경우 오염물에 대한 흡수 단면이 기관에 대해 감소되기 때문에 상당히 증가된다.
- [0007] 용제식 제거 공정에서와 같이, 미립자 제거 공정도 처리 파장에서 높은 흡수성을 갖는 기관과 민감한 기관에 대해 기관 손상을 일으킬 수 있다. 이 문제는 소형 입자의 제거의 경우 입자와 기관 간의 증가된 밀착력과 입자 하부의 레이저의 자기 집속 때문에 증가된다. 입자 세정 공정의 경우, 기관 손상의 위험성을 줄이기 위해 개발된 장치들과 방법들은 오염된 표면 상부의 환경을 조절하는 것을 수반한다. 감소된 에너지 밀도 수준으로 가능한 미립자 레이저 공정의 예로는 습식 레이저 세정, 스팀 레이저 세정 및 증가된 습도 세정이 있다. 레이저 및 그 밖의 세정 공정(예칭, 유기 용매 및 초음파)의 조합이 세정 효율성을 증가시키는 것으로 밝혀졌으며 기관 손상의 위험성을 줄일 수 있다. 그러나, 건식 레이저 세정 공정을 제외하고, 설명된 모든 미립자 제거 공정은 기관 표면 상부의 환경(environment)에 대한 접근을 필요로 한다. 이는 일부 시스템에 대해서는 비실용적일 수 있다.
- [0008] 대안적인 건성 레이저 미립자 세정 공정들이 개발되고 있다. 레이저 음향파 세정과 레이저 충격파 세정은 미립자 세정을 위한 것으로도 평가 받는 건성 레이저 세정 방법들이다. 레이저 음향파 세정은 기관에 대한 직접 여기 과정을 필요로 하며, 따라서 특히 상술한 바와 같은 작은 입자의 경우, 기관 손상 잠재성이 높다. 레이저 충격파 세정은 미립자 제거를 개선하는 것으로 밝혀졌는데, 기관 표면 상부에 레이저를 집속하고 미립자와 충격파의 상호 작용에 의존함으로써 기관 손상의 위험성을 줄일 수 있다. 이 기술도 소형 입자의 제거에 적용될 때 어려움이 커진다. 더불어, 충격파는 기관 표면이나 그 근처에 있는 다른 민감한 특징부를 손상시킬 수 있다. 기관 표면 상부에 민감한 물질이 있는 경우 특히 그러한데, 이는 충격파가 기관 상부에 집속되는 레이저의 강도를 비교적 높게 요구하기 때문이다.
- [0009] 최신의 건성 레이저 기술이라 하더라도 기관 상부 환경에 대한 접근이 현실적이지 않은 경우(예컨대 폐쇄 시스템)에는 제한될 수 있다. 제거 공정은 입자가 표면 전체로부터 제거되기 때문에 폐쇄 시스템의 경우 기관 상의 다른 위치로 입자를 이동시킬 뿐이다. 통상적으로, 이들 기술은 세정 중인 기관에서 입자를 완전히 제거하기 위해 추가적인 조절 장치와 방법들을 이용한다. 이들 방법으로는 유도식 공기 유동, 감소된 압력(진공) 또는 중력의 이용이 있으며, 이들 대부분은 기관 표면 상부 환경에 대한 개방된 접근을 필요로 한다.
- [0010] 반도체 제조는 레이저 세정 방법을 포함한 표면 세정 공정을 이용하는 주요 산업 분야 중 하나이다. 요구되는 많은 세정 공정이 기관 손상의 허용 수준에 대해 엄격한 공차(tolerance)를 갖는다. 더불어, 소형의 제품 특징부들이 제품 하자를 방지하기 위해 아주 작은 입자를 반드시 제거하도록 하고 있다. 세정은 복수의 웨이퍼 처

리 단계에서의 문제이며 확장된 오염층(예컨대 레지스트 제거) 및 미립자 오염 제거를 포함한다.

[0011] 표면 세정은 웨이퍼 제조 공정에서 사용되는 광학체(예컨대 포토마스크)에 대한 요건이기도 하다. 특히 포토마스크의 경우, 웨이퍼 인쇄 공정에서 마스크의 일상적인 사용 동안 오염 축적이 관찰된다. 이들 마스크는 웨이퍼 상으로 마스크 패턴을 인쇄할 때 사용되는 일상적인 처리 동안 심자외선(DUV) 복사선에 노출된다. 이런 복사선에 대한 노출은 조사되는 복사선을 흡수하는 작은 입자 형태의 오염 성장을 초래한다. 이런 성장을 일반적으로 헤이즈(haze)라고 한다.

[0012] 헤이즈 형성은 입자의 크기가 증가해서 포토마스크를 통해 투과되는 상당량의 광을 차단하기 때문에 웨이퍼 인쇄 공정에서 문제가 된다. 결과적으로, 헤이즈 오염은 웨이퍼 상에서 포토마스크의 인쇄 화상에 손상을 야기할 정도로 충분히 광을 흡수한다. 헤이즈 오염이 이런 수준에 도달하기 전에, 포토마스크 표면이 세정되어야만 한다. 이런 세정 요건은 헤이즈를 제거하는 데 사용되는 종래의 공정이 마스크 상의 흡수성 막을 손상시키기 때문에 포토마스크의 사용 수명을 감소시키는 효과를 초래한다. 부분 흡수성 막의 경우, 종래의 세정 방법은 막 두께를 감소시킴으로써 막 투과도와 위상 특성에 영향을 미친다. 위상 및/또는 투과도의 변화는 웨이퍼 상의 인쇄 특징부의 크기와 형상을 허용 가능한 공차를 넘어 변경시킴으로써 레티클 수명을 감소시킨다. 포토마스크의 사용 수명을 초과했을 때 제조 과정을 지속하기 위해서 포토마스크의 복제 세트를 만들어야 한다. 복제 세트는 오염된 포토마스크가 세정되는 동안 사용하기 위해서도 요구된다. 세정 공정은 통상 서로 다른 시설에서 수행되기 때문에 마스크가 세정되어 확인되기 전에는 여러 날의 요건이 필요할 수 있다. 반도체 제조를 위한 요구되는 특징부의 크기가 감소함에 따라, 인쇄 결함을 초래하는 헤이즈 성장의 크기도 감소한다. 이와 같이 헤이즈 성장에 대한 민감도의 증가는 최신 포토마스크가 보다 빈번하게 세정되어야 하고 보다 짧은 사용 수명을 갖게 되리라는 것을 의미한다.

[0013] 포토마스크 표면의 헤이즈 오염을 제거하는 데 대안적인 세정 방법을 적용하는 것은 포토마스크 표면(들)에 부착되는 펠리클(pellicle)의 사용으로 인해 제한된다. 펠리클은 포토마스크 표면에 접촉식으로 접합되는 프레임과 펠리클 프레임을 가로질러 연신되는 얇은 막피로 이루어진다. 펠리클은 외부에 생성되는 입자들이 인쇄 공정에 영향을 줄 수 있는 포토마스크의 표면 상에 안착되어 것을 방지하는 데 이용된다. 외부에 생성되는 입자들은 이들 입자들이 마스크 표면 상부의 막피에 안착됨으로써 인쇄 공정에 대한 영향이 크게 줄어든다. 압력 평형을 허용하기 위해 펠리클 프레임에 배치되는 작은 필터 밸브를 제외하고, 포토마스크의 상면은 펠리클 부착에 의해 국부 환경(local environment)로부터 효과적으로 실링(seal)된다.

[0014] 헤이즈 제거에 허용되는 종래의 방법에서는 웨이퍼 제조업자가 오염된 포토마스크를 마스크 제조업자나 제3자에게 반송해야만 한다. 여기서 펠리클 프레임은 포토마스크에서 제거되고 마스크는 세척되어 결함 검사되고 새로운 펠리클이 포토마스크에 부착되며, 많은 경우, 마스크는 웨이퍼 제조업자에게 재선적되기 전에 입자 결함에 대해 다시 검사된다. 이는 통상적으로 완료까지 수일이 걸리며, 추가 처리로 인해 포토마스크 비용을 증가시키고 세정 공정으로 인해 포토마스크 품질을 저하시킨다. 더불어, 일반적으로 접촉제가 펠리클에서 분리되어 포토마스크의 인쇄 가능 영역에 떨어짐으로 인해, 마스크가 헤이즈 제거 공정에 의해 사용할 수 없을 정도로 손상될 작은 잠재성이 있다.

[0015] 포토마스크 상에서의 헤이즈 성장과 관련된 문제를 개선하기 위한 종래의 노력은 완전한 펠리클 세정과 관련되는 곤란성 때문에 펠리클이 첨가되기에 앞서 수행될 수 있는 공정에 초점이 맞춰져 있다. 이런 노력들은 주로 세정 공정에서 대안적인 화학물질의 사용과 표면 전처리에 초점이 맞춰져 있다. 대안적인 화학물질은 헤이즈 오염층을 변화시키지만 그 성장을 제거하지 못하는 것으로 밝혀졌다. 이들 모두 기껏해야 성장 속도의 감소를 보일 뿐이고 세정 요건을 없애지 않는다. 보다 최근에는, 불활성 환경의 사용이 포토마스크 상에서 헤이즈 형성의 성장 속도를 감소시키는 것으로 밝혀졌다. 이 방법의 적용은 포토마스크가 노출되는 모든 공정 시설을 포함한 모든 환경에 대한 조절을 요구한다. 개발 중인 다른 방법에서와 같이, 이 공정은 성장율을 감소시킬 잠재성은 있지만 세정에 대한 요건과 세정의 역효과를 제거하지 못한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 적어도 전술한 점들을 고려하면, 종래의 세정 공정이 갖는 역효과를 방지하는 포토마스크 표면에서 헤이즈 오염을 제거하기 위한 대안적인 세정 방법 및/또는 장치를 개발하는 것이 유리할 것이다.

[0017] 또한, 제시된 레이저 세정 방법의 제한된 적용성으로 인해 펠리클 제거 없이 포토마스크 표면으로부터 헤이즈

오염을 제거하기 위한 신규의 레이저 세정 방법 및/또는 장치를 개발하는 것이 유리할 것이다.

- [0018] 또한, 포토마스크 표면에서 헤이즈 오염을 제거하기 위한 방법 및/또는 장치를 웨이퍼 제조 공정에 통합하는 것이 유리할 것이다.
- [0019] 또한, 입자/오염 크기에 최소로 의존하거나 무관한 포토마스크 표면에서 헤이즈 오염을 제거하기 위한 방법 및/또는 장치를 개발하는 것이 유리할 것이다.
- [0020] 또한, 기관이나 흡수성 막 재료를 최소로 변화시키거나 전혀 변화시키지 않고 포토마스크의 수명을 연장시키는 포토마스크에서 헤이즈 오염을 제거하기 위한 방법 및/또는 장치를 개발하는 것이 유리할 것이다.
- [0021] 또한, 포토마스크 상의 부분 흡수성 막의 위상을 개질시키거나 변경함으로써 포토마스크의 수명을 연장하는 방법 및/또는 장치를 개발하는 것이 유리할 것이다.
- [0022] 헤이즈 재성장 또는 재형성을 완화시키는 방법을 개발하는 것이 유리할 것이다.

과제의 해결 수단

- [0023] 전술한 필요성은 본 발명의 특정 실시예들에 의해 상당한 정도로 충족된다. 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기관 손상의 위험성이 감소된 레이저 표면 세정 방법이 제공된다. 본 방법은 오염된 기관 표면에 대한 직접적 레이저 여기와 기관에서 오염성 미립자 또는 오염층으로의 (예컨대 대류 또는 전도에 의한) 열 전달을 포함한다. 이로 인한 오염물의 최종적인 온도 증가는 기화 및 분해를 포함하되 이에 제한되지 않는 열에 기반한 제거를 일으킨다. 본 방법은 표면 세정을 수행하는 데 요구되는 온도가 기관 재료(들)의 열적 손상 수준보다 낮기 때문에 기관 손상의 위험성을 감소시킨다. 또한, 복수의 광자 흡수 공정에 대한 잠재성을 감소시키는 비교적 장펄스 폭을 이용할 수 있기 때문에 기관 손상의 위험성이 다른 기술에 비해 감소된다. 본 방법은 입자 크기에 대한 의존성이 최소이기 때문에 작은 오염물/입자의 제거를 향상시킨다. 본 방법은 오염된 기관 상부의 환경가 실질적으로 또는 완전히 폐쇄되는 용도의 경우 특별한 장점을 제공한다. 이들 경우에, 본 방법은 기관 환경 인클로저(enclosure)의 일부인 표면에 대해 배치되는 재료를 통해 비임(beam)을 인도(direct)하는 것도 포함할 수 있다. 예컨대 본 발명의 방법은 펄리클 처리된 포토마스크의 표면에서 헤이즈 오염을 세정하는 데 이용될 수 있다.
- [0024] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상술한 방법을 이용하는 레이저 표면 세정 장치가 제공된다. 본 장치는 세정 공정 전, 동안 및/또는 후에 표면 오염의 검사 및 재료 특성 분석을 위한 계측을 포함할 수 있다.
- [0025] 본 장치는 기관 및/또는 인접한 재료의 온도를 조절하기 위한 구성요소를 포함할 수도 있다. 이들 구성요소는 예컨대 국부적 온도 조절부 또는 전체적 온도 조절부를 포함할 수 있다.
- [0026] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 상술한 방법 및/또는 상술한 장치를 이용하는 웨이퍼 제조 공정이 오염된 포토마스크 표면의 세정을 위해 제공된다. 제조 공정은 웨이퍼 제조 시설 내에서 세정 단계를 수행하는 것을 포함할 수 있다. 특정 실시예에 따르면, 웨이퍼 제조 공정에서 원본 포토마스크가 건성 레이저 세정 사이클을 받는 동안 복제 포토마스크의 사용은 요구되지 않는다.
- [0027] 본 발명의 특정 실시예는 기관 표면 상부의 환경 조절나 표면 전처리를 하지 않고도 표면을 세정할 능력을 제공한다. 특정 실시예는 기관 손상의 위험성이 감소된 건성 레이저 표면 세정 공정을 제공한다. 또한, 특정 실시예는 오염 크기에 최소로 의존하고 그리고/또는 펄리클 제거 없이 포토마스크 표면을 세정하는 능력을 제공한다. 또한, 본 발명의 특정 실시예는 포토마스크 세정 시간을 감소시키고 그리고/또는 웨이퍼 인쇄에 사용되는 포토마스크의 수명을 연장시킨다. 더불어, 본 발명의 특정 실시예는 포토마스크 복제물의 수 감소를 포함한 웨이퍼 제조 비용을 감소시키고 그리고/또는 웨이퍼 제조 동안의 중단 시간을 감소시킨다.
- [0028] 이와 같이, 이하의 본 발명의 상세한 설명을 보다 잘 이해할 수 있고 당업계에 대한 본 발명의 기여를 보다 잘 판단할 수 있도록 본 발명의 몇몇 특징들을 다소 광범위하게 개괄적으로 설명하였다. 후술하고 본 명세서에 첨부된 청구 범위의 주제를 이루는 본 발명의 추가적인 특징들도 있음은 물론이다.
- [0029] 이런 점에서, 본 발명의 적어도 하나의 실시예를 상세하게 설명하기에 앞서, 본 발명은 그 용도가 이하의 상세한 설명에 기재하거나 도면에 도시한 세부 구성, 및 구성 요소들의 배치에 제한되진 않는다는 점을 이해해야 할 것이다. 본 발명은 다른 실시예들도 가능하고, 다양한 방식으로 실시되고 수행될 수 있다. 또한, 본 명세서뿐만 아니라 요약서에서 이용하는 표현 및 용어는 설명을 위한 것이지 한정하고자 하는 것으로 간주하여서는 안 된다는 점을 이해해야 할 것이다.

[0030] 따라서 당업자라면 본 발명의 기초가 되는 개념이 본 발명의 다수의 목적을 수행하기 위한 다른 구조체, 방법, 및 시스템의 설계하는 데 있어서의 기초로서 쉽게 활용될 수 있다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 사상 및 범위로부터 벗어나지 않는다면 청구 범위가 이런 등가의 구성을 포함하는 것으로서 간주되어야 한다는 점은 중요하다.

발명의 효과

[0031] 본 발명에 따르면, 포토마스크 표면에서 헤이즈 오염을 제거하기 위한 대안적인 세정 방법 및/또는 장치는 종래의 세정 공정이 갖는 부정적 효과를 방지한다.

도면의 간단한 설명

[0032] 첨부된 여러 도면은 본 발명의 다양한 실시예들을 예시한다.

도1a는 레이저 여기 및 표면 오염의 개략도이다.

도1b는 기관 표면의 개략도로서 오염 제거를 예시한다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 복수의 종(species)들이 마스크에서 제거될 수 있으며 이들 종들은 가스, 액체, 고체 등의 형태일 수 있다.

도2는 박막 상에 그리고 기관 상에 오염을 포함하는 상부에 박막 흡수제가 배치된 포토마스크 표면을 예시하는 도면이다.

도3은 전자기 스펙트럼의 심자외선(deep ultraviolet)에서 원적외선에 이르는 영역에서 석영의 흡수 스펙트럼의 그래프이다.

도4는 표면에 부착된 펄리클을 포함하는 박막 흡수제를 갖는 포토마스크 표면을 예시하는 도면이다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 박막 및/또는 기관 상에 오염이 있을 수 있다.

도5a는 펄리클을 통해 포토마스크 표면 상에 집속되는 레이저 비임을 나타내는 펄리클을 갖는 포토마스크의 개략도이다.

도5b는 펄리클 상의 비임 스폿 크기 대 집속에 의해 생성된 마스크 상의 비임 스폿 크기를 예시하는 개략도이다.

도5c는 펄리클을 통해 포토마스크 표면 상에 집속되는 레이저 비임과 펄리클 상의 비임 스폿의 측면도를 나타내는 펄리클을 갖는 포토마스크의 개략도이다.

도6b는 가우스 비임 에너지 분포 및 이에 대응하여 생성된 온도 프로파일을 나타내는 단면도이다.

도6b는 탑-햇(top-hat) 비임 에너지 분포 및 이에 대응하여 생성된 온도 프로파일을 나타내는 단면도이다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 가우스, 플랫-탑(flat-top) 및/또는 탑-햇 에너지 분포가 이용될 수 있다.

도7은 냉각 플레이트가 포토마스크의 저부에 접촉해 있는 포토마스크를 예시하는 도면이다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 접촉 지점은 예컨대 냉각 플레이트를 통해 흐르는 물(또는 기타 액체나 가스)이거나 열전기적 냉각을 위한 전기적 접점일 수 있다.

도8은 포토마스크 상의 영역의 강제 대류 냉각을 예시하는 도면이다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 공기 흐름이 펄리클 프레임으로 보내진다.

도9a는 국부적 열 축적을 최소화하도록 표면을 가로질러 레이저 비임을 1회만 통과시키는 것을 예시하는 도면이다. 스폿들 간에 횡방향으로 큰 간격을 둔 단일의 행 또는 열이 도시되어 있다.

도9b는 국부적 열 축적을 최소화하도록 표면을 가로질러 레이저 비임을 2회 통과시키는 것을 예시하는 도면이다. 2세트의 비임 스폿들이 펄스 세트들 간에 큰 간격을 두고 겹쳐진 단일 행이 도시되어 있다.

도9c는 기관의 소정 영역 위로 레이저를 복수회 통과시켜 기관의 그 섹션의 재질 변경 처리를 달성하도록 하는 것을 예시하는 도면이다.

도9d는 제2 치수의 기관 세정을 예시하는 도면이다.

도9e는 표면 상에 불연속 펄스를 이용하는 것을 예시하는 도면이다.

도10은 잔류물의 위치 조절에 레이저 펄스 패턴을 이용하는 것을 예시하는 도면이다.

도11a는 잔류물의 위치 조절에 중력을 이용하는 것을 예시하는 도면이다.

도11b는 잔류물의 위치 조절에 중력을 이용하는 것을 예시하는 도면이다.

도12는 열전쌍 또는 적외선 온도 모니터링 장치와 함께 오염된 기관 표면을 예시하는 개략도이다.

도13은 촬상 시스템, 현미경 시스템, 분광 시스템, 또는 그 조합 시스템과 함께 오염된 기관 표면을 예시하는 개략도이다.

도14는 촬상 시스템과 레이저 비임 전달이 공통 경로에서 이루어지는, 오염된 기관 표면을 촬상 시스템과 함께 예시하는 도면이다.

도15는 기관을 로봇을 통해 적재하고 레이저 비임에 대한 X/Y/Z 방향으로 스테이지를 이동시키는 것을 나타내는 계통도이다.

도16a는 포토마스크 습식 세정 공정을 이용하는 통상의 웨이퍼 제조 공정의 블록 다이어그램이다.

도16b는 펠리클 제거없이 레이저 포토마스크 세정의 사용을 통합한 웨이퍼 제조 공정 흐름의 블록 다이어그램이다.

도16c는 세정 공정 동안 추가의 마스크 세트를 이용하지 않고 레이저 포토마스크 세정의 사용을 통합한 웨이퍼 제조 공정 흐름의 블록 다이어그램이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하, 본 발명을 도면을 참조하여 상세하게 설명하며, 도면에서 동일한 도면 부호는 전체적으로 동일한 부품을 가리킨다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 기관 손상의 위험성이 감소된 레이저 표면 세정 방법이 제공된다.

[0034] 도1a는 여기 에너지(2)가 레이저(1)와 같은 에너지 공급원에서 방출되어 오염된 기관(4)의 표면을 향해 인도되어 기관(4) 표면에서 오염성 미립자(3) 또는 오염층으로 (예컨대 대류나 전도에 의해) 열 전달을 일으키는 본 발명의 일 실시예를 예시한다. 그러나 레이저 이외의 에너지 공급원이 이용될 수도 있다(예컨대 x-선, 극초단파, 적외선, 근자외선 등의 제너레이터를 비롯하여 전자기 스펙트럼 전역에 걸쳐 에너지를 방사할 수 있는 램프 및 기타 장치가 이용될 수 있다). 또한, 기관 표면은 임의의 재료로 형성될 수 있다(예컨대 실리콘 웨이퍼로 이루어진 표면). 오염물에 초래되는 온도 증가는 통상적으로 열에 기초한 제거를 일으키고, 기화 입자(6) 및 분해 입자(5)를 비롯하여 이들에 한정되지 않는 효과가 도 1b에 도시되어 있다. 또한, 기관(4)과 박막 흡수제(7) 상에 오염성 미립자(3)를 도시하는 도2에 예시된 바와 같이 오염성 입자(3)가 포토마스크 상에서 발견될 수 있다.

[0035] 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 본 방법은 통상적으로 표면 세정을 수행하는 데 이용되는 온도가 기관(4) 재료(들)(4)의 열적 손상 수준보다 낮기 때문에 기관 손상의 위험성이 감소된다. 또한, 기관 손상의 위험성은 몇몇 예에서 흔히 다중 광자 흡수 공정에 대한 잠재성을 감소시키는 비교적 긴 펄스 폭을 이용할 수 있기 때문에 기타 기술에 비해 통상 감소된다.

[0036] 진술한 예시적인 본 발명의 방법은 입자 크기에 대한 의존도가 최소화되기 때문에 작은 오염물/입자에 대한 제거를 개선한다. 본 방법은, 오염된 기관 상부의 환경이 실질적으로 또는 완전히 폐쇄되는(enclosed) 경우에 대해 특히 유리할 수 있다. 이런 경우, 본 방법은 또한 비임을 기관 환경 인클로저의 일부분인 표면에 대해 배치된 재료를 통과도록 비임을 인도하는 것을 포함할 수 있다. 예컨대 본 발명의 방법은 펠리클 처리 포토마스크의 표면에서 헤이즈 오염을 세정하는 데 이용될 수 있다.

[0037] 레이저 표면 세정 공정에는 오염종의 분해가 유리할 것이라고 제안되어 왔다. 그러나 본 발명의 실시예가 개발되기 전까지 열에 기초한 표면 세정을 수행하기 위해 기관의 레이저 가열을 이용하는 공정에 대한 개시는 전혀 없었다.

[0038] 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 본 방법은 기관의 강한 흡수성과 실질적으로 일치하는 레이저 파장을 선택하고, 레이저 에너지 및 펄스 폭을 원하는 세정 효과를 일으키도록 설정하는 것을 포함한다. 몇몇 예에서, 기관에서 증가된 흡수성은 세정 공정에 보다 낮은 레이저 에너지를 사용할 수 있도록 한다. 이에 따라 레이저가 표면에 인도되거나 그로부터 반사될 때 레이저와 상호 작용할 수 있는 인접한 재료에 대한 손상의 잠재성을 낮출 수 있다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 필수는 아니지만, 오염물 또는 오염물들에 의해서도 고도로 흡수될

수 있는 파장을 선택할 수 있는데, 이는 원하는 열적 제거 효과를 개선할 수 있기 때문이다. 다중 레이저 파장 및/또는 레이저 에너지의 사용은 2종 이상의 재료로 이루어진 기판이 사용되는 경우에 이용될 수 있다. 다중 레이저 에너지는, 통상 원하는 세정 공정의 제1 단계 동안 재료 또는 재료 특성의 변화를 겪을 경우 동일한 성분에 대해서도 이용될 수 있다. 다중 파장은 예컨대 복수의 레이저 공급원, 단일의 조율 가능한 레이저 공급원 또는 이들 둘 모두를 이용하여 생성할 수 있다. 다중 에너지는 레이저 내부 또는 외부의 조절 수단을 이용하여 레이저 공급원(들)의 출력 에너지를 조절함으로써 이용될 수 있다.

[0039] 실현 예

[0040] 이하는 웨이퍼 제조 공정에 이용되는 포토마스크 기판에서 헤이즈 오염의 표면 세정에 적용된 본 발명의 일 실시예에 따른 방법의 예이다. 이 예는 논의한 본 발명의 추가적인 실시예들에 걸쳐 이용될 수도 있다.

[0041] 본 발명의 특정 실시예는 웨이퍼(예컨대 실리콘 웨이퍼)의 표면에 적용 가능하다. 이들 기판에서도 헤이즈 성장의 유형이 관찰되었으며 몇몇 예에서는 웨이퍼 인쇄 전에 제거되지 않은 경우 문제가 될 수 있다. 실리콘 웨이퍼 상에서 헤이즈 성장을 조절하기 위해 환경 조절의 사용이 제시되었다. 그러나, 본 발명의 특정 실시예는 예컨대 실리콘 웨이퍼와 같은 표면 상에서의 헤이즈 완화 또는 기타 유형의 오염 제거를 위한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 실리콘 웨이퍼 기판을 열손상 한계 아래까지 레이저로 여기시킴으로써 헤이즈를 제거하는 것이 가능하다.

[0042] 본 발명의 특정 실시예에 따른 방법은 통상적으로 기판에 배치된 재료의 직접 흡수에 의존하지 않기 때문에 오염 전구 물질을 세정할 수 있다. 이런 방식으로, 본 발명의 특정 실시예에 따른 방법은 오염 형성 속도를 감소시키는 표면 전처리 기술로서 작용할 수 있다. 포토마스크 헤이즈 성장은 예컨대 웨이퍼 제조 공정에 사용하기 전에 본 발명의 특정 실시예에 따른 방법을 적용하고 헤이즈 성장 전구 물질(예컨대 산성 잔유물, 물 등)이나 핵생성 사이트를 제거 또는 재배치함으로써 감소될 수 있다. 다른 기술들도 본 발명과 결합하여 레티클이 본 발명에 따라 처리된 후 헤이즈의 재생성이나 재형성을 보다 완화시키는 데 이용될 수 있다. 예컨대 펄리클 처리 전에 표면 전처리를 하거나 처리 전, 처리 중 또는 처리 후에 환경 조절을 하면 헤이즈 재생성 또는 재형성 속도를 감소시킴으로써 레티클 수명을 증가시킬 수 있다.

[0043] 복수의 재료로 이루어진 기판에 대한 본 발명의 특정 실시예에 따른 방법의 적용은 여기 파장의 선택을 비롯하여 비임 파라미터뿐만 아니라 재료 파라미터의 고려가 필요할 수 있다. 세정 공정의 기본은 기판의 모든 오염 영역이 기판의 열손상 한계를 넘지 않고도 제거에 통상 필요한 온도에 실질적으로 근사한 온도에 도달하기에 특히 바람직하게 할 수 있다. 재료들 중 하나를 공정 온도로 승온시키는 데 통상 요구되는 레이저 에너지는 특히 재료의 흡수성 간에 상당한 편차가 있는 경우에 다른 재료에 열 손상을 일으킬 수 있다. 비임의 국부적 에너지 밀도는 노출되는 재료에 기초하여 조절될 수 있다.

[0044] 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 연속 파장(continuous wavelength : CW) 레이저를 비롯하여 이에 이르는 보다 긴 레이저 펄스 폭이 이용되어 현저히 다른 흡수계수를 갖는 재료들 간에 열 평형을 개선한다. 그러나, 이런 긴 레이저 펄스 폭의 사용은 전체 시스템에서 최고의 열 증가를 초래하여, 기판 표면에 인접한 재료가 공정 온도 아래에 열 손상 한계를 갖거나 그 온도 아래에서 열에 유발되는 다른 부정적인 영향을 받는 경우에 사용하지 못할 수 있다.

[0045] 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 기판 상의 다수 또는 모든 재료에 상당히 흡수되는 레이저 파장이 선택된다. 그러면, 동일한 레이저 에너지가 예컨대 임의의 기판 재료의 손상 한계 아래의 원하는 공정 온도를 생성하도록 이용될 수 있다. 열 특성(확산계수도 포함)을 고려함으로써, 상이한 재료들 간의 열 전달을 이용할 수도 있다. 이는 몇몇 경우에 특히 고훈수성 재료로부터의 열 에너지 흐름이 저흡수성 재료로 우선하는 경우에 전체 기판에 걸친 부분 흡수제의 개질을 감소된 처리 에너지 밀도를 이용하여 달성할 수 있게 한다.

[0046] 비임 파라미터의 조절은 헤이즈 오염에 대한 포토마스크 표면 세정에 관한 본 발명의 실시예에서 특히 바람직할 수 있다. 예컨대 파장 선택은 전형적인 포토마스크의 물리적 구조로 인해 매우 바람직하다. 도2를 참조하면, 포토마스크는 일반적으로 주요 표면에 흡수성 박막(thin film)(7)이 있는 석영 기판(4)으로 이루어진다. 금속막(film)의 경우, 생성 가능한 레이저 파장의 대부분에 대해 통상 상당한 흡수성을 가질 것이다. 그러나, 석영 기판의 경우, 대체로 제한된 파장 범위가 존재할 것이며, 이 경우 기판은 상당한 흡수성을 가지며 레이저 공급원이 통상 이용될 수 있다. 본 발명의 실시예들에 따른 특정 공정에서는 석영 대 금속층의 열적 특성을 고려하여 석영 기판재에 의해 고도로 흡수되는 파장을 이용할 수 있는데, 이는 재료들 간의 열전달이 주로 석영에서

금속층으로 일어나기 때문이다.

- [0047] 전술한 설명은 부분 흡수성 포토마스크 막의 경우에도 일반적으로 그러하다. 일반적으로, 부분 흡수성 막을 갖는 포토마스크에서의 열 유동은 부분 흡수성 막이 금속 성분을 함유하고 석영은 비교적 낮은 열 확산계수를 갖기 때문에 주로 석영에서 부분 흡수성 막으로 발생한다. 그러나 순수 금속 막에서와 달리 이들 막이 의미있는 흡수를 하지 않는 파장 영역이 있을 수 있다. 이는 기관의 석영 섹션을 우선적으로 여기시키는 데 이용될 수 있는 파장 범위를 증가시키는 잠재성을 갖는다. 열 유동과 더불어, 열적으로 유도되는 재질 변화(예컨대 산화, 어닐링 등)가 부분 흡수성 막에 대해 고려되어야 한다. 이들 재료의 위상과 투과도 특성은 그 기능을 발현하는데 중요하며 열 처리에 의해 변경될 수 있다. 열적 재질 변화가 막 성능에 부정적인 효과를 초래한다면, 제거 공정의 최대 온도를 조절하는 것이 필요할 수 있다. 열적 재질 변화가 막 성능에 유리한 효과를 초래한다면, 펄스 형상이나 펄스 중첩에 의해 공정 균일도를 조절하는 것이 필요할 수 있다.
- [0048] 본 발명에 따른 예시적인 방법의 특정 예는 포토마스크의 표면에서 암모니아 황화물 헤이즈를 제거하는 것이다. 온도 및 그 밖의 영역-암모니아 황화물은 280℃보다 높은 온도에서 분해될 것으로 기대된다. 통상의 포토마스크에 대해 최저 열 손상점은 통상 기본 석영 기관에 대한 용융/리플로우 온도일 수 있다(즉 약 1600℃). 따라서 오염 제거/세정을 위한 온도가 기관 재료의 손상 수준 아래인 있는 잠재적인 공정이 존재한다.
- [0049] 포토마스크에서 제거되는 정확한 종은 통상적으로 공정 온도 요건만을 결정한다는 것을 주목하는 것이 중요하다. 비록 오염물에서 충분한 흡수계수를 갖는 것이 유리할 수 있지만 이는 필수 요건이 아니다. 전술한 바와 같이, 재료간 흡수 특성의 잠재적 차이 때문에 기관 재료의 상대 흡수계수가 일반적으로 고려된다. 특히 석영 기관은 주로 열 유동이 흡수성 막에 비해 우선되기 때문에 공정 파장에서 상당한 흡수계수를 갖는다.
- [0050] 포토마스크에 이용되는 석영 기관은 도3의 석영 흡수 스펙트럼에 도시된 바와 같이 통상 심자외선(DUV) 파장 범위에 높은 투과도를 갖도록 특정하게 설계된다. 이는 통상적으로 불순물 수준이 극도로 낮은 합성 기관을 이용하여 달성된다. 3 μm 파장 근처의 비교적 약한 흡수성을 제외하고, 이들 재료는 통상 적외선 영역에서도 높은 투과도를 갖는다. 이들 기관에 대한 주된 흡수는 일반적으로 0.2 μm 파장 미만(below) 또는 8 μm 파장을 초과(above)하여 발생한다. 보다 짧은 파장은 통상 공기에 의해 상당히 흡수되는 한편, 높은 광자 에너지를 가져 다중 광자 공정을 생성하기 보다 쉽기 때문에 특히 바람직한 파장 범위 내에 포함되지 않는다.
- [0051] 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 8 μm 초과, 예컨대 9 μm 석영 흡수 피크 근처의 파장을 선택하는 것이 특히 바람직하다. 이는 통상 주변 환경에는 상당히 흡수되지 않고 석영 기관에서 높은 흡수계수를 초래한다. 특히 포토마스크가 금속막 층(예컨대 크롬)을 갖는 경우, 이런 파장은 금속막의 반사계수가 이 영역에서 파장 증가와 더불어 증가하기 때문에 추가적인 이점을 갖는다. 이는 통상적으로 막에 의해 흡수되도록 이용 가능한 광을 감소시키고 석영에 대한 열적 여기 성향을 일반적으로 개선한다. 이 파장은 또한 석영에 대해 비교적 높은 흡수계수 때문에 부분 흡수성 막 코팅(예컨대 MoSi)을 갖는 포토마스크에 유리할 수 있다. 일반적으로, 일정한 에너지 밀도에서 도달되는 막 재료의 온도는 석영의 높은 흡수계수와 석영에 비해 부분 흡수제의 높은 열 확산도로 인해 석영과 유사해야 할 것이다. 이는 부분 흡수성 막이 이런 파장 범위에서 비교적 높은 흡수계수를 갖는 경우라도 그럴 것으로 예상된다.
- [0052] 통상적으로, 본 발명의 특정 실시예에 따라 이용하기 위해 바로 앞서 설명한 공정은 포토마스크 표면에서 헤이즈를 제거하는 데 이용되는 종래의 세정 공정을 대체함으로써 포토마스크의 사용 수명을 증가시킨다. 헤이즈 세정에 이용되는 통상의 화학적 세정 공정과 달리, 본 발명의 특정 실시예에 따른 레이저 제거 공정은 일반적으로 흡수제 두께 및/또는 흡수제 막의 선폭을 감소시키지 않는다. 포토마스크를 더 이상 사용할 수 없을 때까지 수행될 수 있는 "세정 공정"의 횟수는 종래 세정 공정의 결과로 재료 손실이 있기 때문에 한계가 있다. 더불어, 포토마스크 성능은 위상 및 투과도에 임계적으로 좌우되기 때문에 부분 흡수성 포토마스크의 수명은 이들 헤이즈 제거 세정제를 이용함으로써 단축되기도 한다. 따라서 무제한적인 세정 공정의 횟수가 본 발명에 따른 레이저 세정 공정에서 가능할 것이다.
- [0053] 임계 범위보다 낮은 온도를 이용하면 부분 흡수성 막에 재질 변화를 초래할 수 있는 것으로 판단되었다. 예컨대 부분 흡수성 MoSi막은 제1 온도에서 어닐링되고 막의 어닐링이 막을 통해 투과되는 광의 위상 지연 감소 또는 투과도의 상당한 손실로서 그 영향이 나타나면, 세정 공정은 상기 제1 온도보다 낮은 온도에서 수행하는 것이 필수적이다. 그렇지 않을 경우, 부분 흡수성 막 포토마스크의 수명은 현재 헤이즈 제거에 사용되는 명목상의 습식 "세정 공정"을 이용하기 때문에 감소될 것이다. 그러나 본 발명의 공정에서는 온도가 표면에 제공되는 에너지(예컨대 펄스 기간, 펄스 진폭, CW 에너지 등 조절)를 조절하여 막의 임계 온도 공차를 피해감으로써 미세하게 조절될 수 있다.

- [0054] 그러나, 막의 어닐링이 막을 통해 투과되는 광의 위상 지연을 증가시키고 투과도의 손실이 최소화되거나 손실이 없는 것으로서 그 영향이 나타나면, 상기 제1 온도보다 높은 온도에서 세정 공정을 수행하는 것이 유리할 것이다. 이들 공정은 포토마스크의 제조 과정에 통합되며 사용 전이라도 허용할 수 없는 낮은 위상 지연을 초래할 수 있다. 더불어, 본 발명과 더불어 습식 세정 공정이 요구되는 경우도 가능하다. 예컨대 결합에 관계되는 헤이즈가 존재하지 않거나 포토마스크 상에 나타나지 않는다면, 습식 세정 공정이 요구될 수 있다. 본 발명의 세정 공정 동안 부분 흡수성 막에 재질 변화를 일으키는 것은 습식 세정 처리에 의해 손실된 위상 지연을 회복함으로써 포토마스크의 수명을 연장시킬 수 있다. 또한, 본 발명의 방법을 이용하여 부분 흡수성 막에 대한 열적 개질은 (헤이즈 세정에 대한 요구없이) 습식 세정 처리 동안 손실되는 위상을 회복하여 저절로 포토마스크 레티클의 수명을 연장할 수 있다.
- [0055] 침식성 습식 세정 공정이 사용되는 이유 중 하나는 포토마스크로부터 펠리클 프레임의 제거하는 것이 접착제 잔류물을 남기기 때문이다. 습식 세정 공정은 일반적으로 국부화가 곤란하기 때문에 접착제 잔류물에 영향을 미침으로써 접착제가 마스크의 작업 영역을 오염시키게 만든다. 그러나 본 발명에서 개시하는 여러 레이저 세정 공정은 접착제 잔류물에서 멀리 떨어져 국부화됨으로써 접착제 잔류물이 영향을 받지 않게 할 수 있다. 펠리클 프레임과 접착제의 대부분을 조절된 방식으로 제거하고 뒤이어 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 세정 공정을 수행함으로써 (침식적인 또는 그 밖의) 습식 세정을 필요로 하지 않고도 후속 펠리클 부착을 허용한다. 이는 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 세정 공정이 대안적 접합 방법을 이용하거나 펠리클 교환을 위해 접착제의 노출을 요구하지 않는 복수의 부분 펠리클을 이용하는 것과 결합되는 경우 특히 그러하다.
- [0056] 본 발명의 특정 실시예에 따른 방법은 포토마스크 헤이즈 세정에 적용될 수 있으며 펠리클의 제거를 필요로 하지 않는다. 이들 레이저 세정 방법은 통상 펠리클 막의 특성에 영향을 주지 않고도 펠리클 막 재료를 통해 수행되는데, 도4에는 펠리클(8)과, 펠리클 프레임(9)과 기판 펠리클 접착제(10)가 도시되어 있다.
- [0057] 이 경우, 기판(4)의 표면에서 공정 파장 및 에너지 밀도(fluence)에서의 펠리클 막(8)의 흡수성이 통상 고려된다. 기판(4) 및 기판 막 코팅(7)의 경우와 같이, 세정 공정은 일반적으로 펠리클 막 내에서 손상 한계보다 높은 온도 상승을 초래하지 않는다. 그러나, 펠리클 막에 따라, 석영 기판에 대한 $9\mu\text{m}$ 흡수 피크 근처에서 펠리클 막에 상당한 흡수가 이루어질 수 있다. 그러나, 펠리클 막은 기판 표면 위에 배치되기 때문에 여전히 펠리클 막의 일부 영역에서 상당한 흡수가 이루어질 수 있다.
- [0058] 도5a는 여기 에너지(2)를 수렴성 비임(12)을 생성하는 집속 렌즈(11)를 거쳐 펠리클 막을 통해 기판(4) 표면에 위치한 기판 막 코팅(7)에 집속함으로써 오염성 미립자(3)를 제거한다. 파장 및 수렴 특성은 다양한 고도(elevation)에서 집속을 허용하며 펠리클 막(8)에서의 상대적 온도 증가를 감소할 수 있다. 임의의 물질에서 온도 증가는 그 표면에 가해지는 에너지 밀도에 비례한다.
- [0059] $\Delta T \sim F$ (식 1)
- [0060] 여기서, ΔT 는 재료 내에서 온도 변화이고, F 는 흡수된 레이저의 에너지 밀도이다.
- [0061] 특정 강도 또는 비임 펄스 에너지의 경우, 그 에너지 밀도는 비임 스폿의 반경의 제곱에 반비례한다.
- [0062] $F \sim E/r^2$ (식 2)
- [0063] 여기서, F 는 에너지 밀도이고, E 는 에너지이며, r 은 기판 표면 상에서 비임의 반경이다.
- [0064] 도5b는 펠리클 상에서 스폿 비임의 크기를 예시한다. 펠리클(펠리클 비임(14))에서의 비임 반경 대 마스크 표면(4)(마스크 비임(13)) 상에서의 비임 반경의 비는 통상 펠리클을 통해 비임을 집속함으로써 증가하고, 이에 따라 포토마스크 표면에 비해 펠리클 막에서의 상대적 에너지 밀도가 감소할 수 있다. 도5c는 마스크 비임(13) 지점에서의 표면(4)에 수렴된 에너지 대 펠리클(9)의 진입점(펠리클 비임(14))에서 수렴되지 않은 에너지를 도시하는 측면도이다.
- [0065] 파장에 대한 고려 사항 외에도, 시스템에서 상당한 온도 증가를 초래하는 공정의 사용(예컨대 긴 펄스 길이 또는 높은 반복 속도의 사용)은 펠리클 막의 손상 한계에 의해 제한될 수 있다. 이는 많은 포토마스크 헤이즈 구성요소에 대한 공정 온도 요건보다 통상적으로 낮다.

[0066] 펄스 형상

[0067] 펄스 폭, 순간적 펄스 형상 및 레이저의 공간 분포가 본 발명의 특정 실시예에 따른 세정 공정을 향상시키거나 본 발명의 특정 실시예에 따른 처리를 위한 안전 작업 범위를 증가시키기 위해 이용될 수 있다. 보다 짧은 펄스 폭을 이용하여 시스템(기관 및 오염)에 대한 전체적인 열 입력을 최소화할 수 있다. 보다 긴 펄스 폭은 공정 온도를 연장된 시간 동안 유지하여 열적 제거 공정의 완전성을 향상시키는 데 이용될 수 있다. 순간적 펄스 형상은 오염성 중 내에서 온도 상승을 조절하는 데 이용될 수 있다. 오랜 기간 동안의 온도 상승은 초기 효과(예컨대 용융)를 일으키고 뒤이어 2차 효과(예컨대 분해)를 생성하도록 이용될 수 있다. 보다 짧은 상승 시간은 여러 예에서 분해 공정을 제한하면서 오염물의 기화를 향상시킨다. 짧고 긴 순간 펄스 형상의 조합도 제거 공정을 최적화하도록 이용될 수 있다. 복수 펄스의 이용은 완전한 세정을 수행하는 데 바람직한 비임 에너지를 낮춤으로써 기관 손상의 위험성을 더욱 감소시키는 데 이용될 수도 있다.

[0068] 레이저 비임의 공간 분포는 공정 윈도우를 증가시키는 데 이용될 수 있다. 예컨대 도6a에서는 기관(16)에서의 온도 구배를 초래할 수 있는 통상의 가우스 공간 분포(15)를 도시하는 한편, 도6b에서는 기관(4)에서 보다 균일한 온도 상승을 허용하는 플랫폼 탑 또는 탑 햇 공간 분포(17)를 나타낸다. 이런 공간 분포는 공정 윈도우를 증가시키는 데 이용될 수 있다. 예컨대 플랫폼 탑 또는 탑 햇 공간 분포를 갖게 되면 비임 스폿 내에서 균일한 온도 상승을 허용하는 한편, 가우스 공간 분포는 통상 비임 스폿 내에서 온도 구배를 생성한다. 기관 손상의 위험성을 피하기 위해, 비임에서의 최대 에너지는 통상 가우스 분포의 피크에 의해 제한된다. 상술한 바와 같이, 복수의 재료가 기관 상에 존재할 때, 보다 긴 펄스 폭이 기관 재료 사이의 열적 평형을 허용하는 데 이용될 수 있다.

[0069] 열 관리

[0070] 본 발명의 특정 실시예는 열에 기초한 공정을 수반하기 때문에, 때로는 시스템의 전체적인 온도를 관리하여 열에 민감한 또는 쉽게 오염되는 재료에 대한 손상을 피하는 것이 바람직할 수 있다. 이는 펄리클 제거 없이 포토마스크 헤이즈 세정을 하는 경우 특히 그러하다. 펄리클 막은 통상 열 손상 한계가 낮다. 따라서 펄리클 재료로 전달되거나 그리고/또는 펄리클 재료를 손상시킬 수 있는 전체적 시스템의 온도 축적을 피하는 것이 때때로 유용하다. 여기에는 펄리클 프레임은 물론 마스크 표면과 펄리클 막 사이의 폐쇄된 환경이 포함된다.

[0071] 시스템의 온도 관리는 여러 방식으로 달성할 수 있다. 이하의 예는 샘플 냉각의 몇가지 예시적인 방법이며, 다른 방법도 존재하는 점을 이해할 것이다. 시스템의 온도를 관리하는 한가지 방법은 접촉 냉각을 통한 것이다. 예컨대, 도7에 예시된 바와 같이, 포토마스크가 마스크의 전면에서 생성된 열을 마스크의 배면쪽을 향해 빨아당기도록 히트 싱크로서 작용하는 플레이트(17)와 접촉하게 배치되며 열교환 파이프(18, 19)를 포함한다. 이는 마스크 표면 상부의 환경, 펄리클 막, 및 펄리클 프레임과 마스크 표면 사이의 접촉체로의 열 전달을 감소시킨다. 이런 냉각은 물의 유동, 마스크 및/또는 펄리클 위에서 기타 냉각 유체 또는 가스의 유동, 열전기적 냉각, 또는 마스크 및/또는 펄리클의 일부 또는 전체의 레이저에 의해 유발되는 냉각을 비롯하여 다양한 방식으로 달성될 수 있다.

[0072] 온도를 조절하기 위한 또 다른 가능한 방법은 강제 대류 냉각을 통한 것이다. 도8에 예시된 바와 같이, 여과 및/또는 냉각된 가스 또는 액체 흐름이 통상 마스크의 부분, 펄리클 막, 프레임 및/또는 접촉체 영역으로 인도되어, 이들 재료에서의 열 축적을 직접적으로 감소시킨다. 냉매의 상부 유동(20), 측면 유동(21) 또는 저부 유동(22)이 온도 조절에 이용될 수 있다. 이는 통상 펄리클 막의 손상의 위험성을 감소시킬 뿐만 아니라 통상 펄리클 프레임 및 펄리클 막 접촉체로부터 오염성 배출 가스의 생성 위험성을 감소시킨다. 시스템의 열 축적의 하드웨어적 조절 외에도, 열 축적을 처리 시간의 증가를 허용함으로써 감소시킬 수 있다. 시스템에 펄스를 보다 낮은 속도로 인가하거나 일련의 펄스 적용 간에 지연을 허용함으로써, 총 시스템 온도를 임계적 수준으로 상승시키지 않고 주입된 열이 제거될 수 있게 한다.

[0073] 또한, 유리하게는 펄스들 간의 열 축적 또한 조절될 수 있으며, 이런 열 축적은 오염, 기관 및/또는 인접 재료의 열적 특성에 좌우된다. 일반적으로, 펄스들 간의 열 축적은 단위 시간당 표면에 충돌하는 레이저 펄스의 개수를 감소시킴으로써 조절할 수 있다. 이런 온도 축적은 또한 인접한 레이저 펄스들 간의 간격을 증가시킴으로써 조절할 수 있다. 재료가 펄스들 간의 열 축적에 특히 민감한 경우(예컨대 펄리클 막 재료)에 인접한 펄스들 간에 큰 횡방향 변위를 갖는 것이 특히 바람직하다. 이 경우, 공정은 타겟 표면의 완전한 세정을 달성하기 위해 통상 레이저 비임을 거의 동일한 위치에 여러 번 위치 설정하는 것을 수반한다. 예컨대 일련의 제1 레이저 펄스(13)가 도9a에 도시된 바와 같이 표면(4)에 비교적 큰 횡방향 이격을 갖고 노출된다. 동일한 영역 위에서 두 번째 통과는 도9b에 도시된 바와 같이 제1 세트의 스폿들에 비해 약간 변위된 일련의 추가적인 펄스(13)

를 배치한다. 이런 공정은 도9b에 도시된 바와 같이 전체 영역이 레이저 펄스(13)에 노출될 때까지 계속된다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 제2의 방향에서의 중첩을 이용함으로써 도9d에 도시된 바와 같이 기관 표면(4)을 완전히 노출시킬 수 있다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 세정 공정이 완전한 제거를 위해 다중 펄스를 포함하는 것이 바람직한 경우, 이런 전체 공정을 반복하거나 그리고/또는 통과 간의 중첩을 증가시킨다. 도시한 바와 같이 표면에 대한 비입의 위치 변경은 비입 및/또는 기관을 이동시킴으로써 달성할 수 있다. 또한, 마스크에 걸쳐 보다 조직적으로 분포시키는 방식으로 펄스를 인가하면 도9e에 도시된 바와 같이 마스크에서의 열 축적 가능성을 더욱 감소시킬 수 있다.

[0074] 잔류물 조절

[0075] 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 레이저 세정 방법은 오염의 분해 산물에 따라 포토마스크 표면에 잔류물을 생성할 수 있다. 잔류물이 기관 재료의 사용에 아무런 영향을 미치지 않는다 하더라도(즉 기관에 효과적으로 세정되더라도), 여전히 그 위치와 농도를 조절할 이유가 있을 수 있다. 예컨대 세정 대상인 기관 전체에 걸쳐 인도되는 공기 유동, 물 유동을 인가하거나 감소된 압력을 생성하는 것과 같이 잔류물 형성을 조절하는 전통적인 방법이 본 발명의 특정 실시예에 따라 이용될 수 있다. 그러나, 예컨대 펠리클 처리된 포토마스크와 같이 폐쇄 시스템의 경우, 이들 환경 조절을 이용하는 것은 통상적으로 바람직하지 않다. 이처럼, 잔류물의 위치를 조절하기 위한 대안적인 방법이 본 발명의 특정 실시예에 따른 폐쇄 시스템에 이용된다. 예컨대 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 레이저 펄스의 패턴이 조절된다. 예컨대 도10은 레이저 펄스(13)의 패턴이 기관(4) 표면의 중심에서 시작하여 직경이 증가하는 원이나 치수가 증가하는 사각형 패턴(23)으로 진행되는 실시예를 도시하는데, 잔류물은 도10에 도시된 바와 같이 우선적으로 기관의 모서리를 향해 이동하게 된다. 본 발명의 특정 실시예에 따른 다른 잔류물 조절 방법은 중력을 이용한다. 도11a에 도시된 바와 같이 표면이 아래로 향하게 포토마스크를 배치하거나 도11b에 도시된 바와 같이 경사진 위치(24)에 배치함으로써 잔류물이 각각 펠리클 막이나 포토마스크의 측면에 우선적으로 축적되도록 허용한다. 다른 방법에서는, 본 발명의 특정 실시예와 연계하여 레티클이 잔류물을 마스크 중심부에서 멀리 그리고/또는 레티클 상의 비활성 영역으로 이동시키도록 회전(즉 스피닝)될 수 있다. 더불어, 도8에 도시된 바와 같이, 이런 잔류물은 기상에서 액상으로의 전이에 의해 생성되기 쉽기 때문에, 본 발명의 특정 실시예에 따라 포토마스크, 펠리클, 펠리클 프레임의 영역의 온도를 감소시키면 이들 표면에 대한 잔류물의 우선적 축적을 일으킨다. 예컨대 이런 냉각 방법으로는 선호되는 축적 영역 내에서 그리고 또는 그 주변에서의 물, 그 밖의 유체 또는 가스의 유동, 열-전기 냉각 또는 레이저 유도 냉각이 있지만 이에 제한되지 않는다.

[0076] 헤이즈 성장 및 제형성 완화

[0077] 본 발명은 레티클의 수명을 연장시키도록 표면 전처리 기술 또는 환경 조절 기술과 함께 이용될 수 있다. 이들 기술 중 일부는 펠리클 장착 전의 처리를 필요로 하는 반면, 다른 기술은 펠리클 처리 후에 수행될 수 있다. 예컨대 펠리클 처리에 앞서 수행되는 본 발명과 결합된 표면 전처리 방법은 세정 작업 간의 시간을 증가시킬 수 있다. 이는 추가적인 세정(예컨대 습식 세정)이 요구되기 전에 가능한 제한된 수의 본 발명의 방법이 있는 경우 중요할 수 있다. 본 발명의 방법의 일 실시예는 레티클의 비활성 영역에서 펠리클 하부에 시드 결정 또는 그 밖의 핵생성 재료를 배치하는 것이다. 이들 시드(seed) 결정은 헤이즈의 우선적 성장 사이트로서 작용한다. 이는 포토마스크의 활성 영역에 이용 가능한 잔류물과 전구 물질의 농도를 효율적으로 감소시키고 이들 영역의 성장 속도를 감소시킨다. 본 발명의 다른 실시예는 본 발명의 세정 공정에 의해 해체된 잔류물과 전구 물질과 작용하고 그리고/또는 중화시키는 재료로 마스크의 표면을 피복하는 것이다. 이는 이용 가능한 반응종을 제한함으로써 마스크 상의 활성 영역에서 헤이즈 성장 속도도 늦출 수 있다.

[0078] 포스트 펠리클 기술이 본 발명과 결합하여 이용될 수도 있다. 예컨대 펠리클 내외부 모두에 대한 환경 조절 또는 조작이 본 발명의 세정 공정과 결합하여 이용될 수 있다. 일 실시예는 세정 공정후 비 반응성 가스를 이용하여 펠리클 아래의 환경을 교환하는 것을 포함할 수 있다. 이는 펠리클을 제거하지 않고 펠리클 프레임 상의 필터 장착 환기구를 통해 가스를 교환함으로써 수행될 수 있다. 추가로, 본 발명과 결합하여, 헤이즈 재성장이나 제형성을 완화하도록 펠리클 외부의 불활성 환경을 유지하는 것이 유리할 수 있다. 이들 결합 공정은 본 발명을 이용한 세정 공정 사이의 시간을 연장할 수 있고 제한된 수의 세정 공정이 이용될 수 있는 경우 중요할 수 있다.

- [0079] 본 발명의 추가적인 포스트 펠리클 환경 조절 실시예는 펠리클 하부의 환경을 배기(evacuate)시키고 헤이즈 잔류물 및/또는 전구체와 반응하거나 중화시키는 재료를 도입하거나 환경을 교체할 수 있을 것이다. 이 공정은 세정 공정 전후 또는 세정 공정 중에 수행될 수 있다. 모든 경우에, 세정 공정 중에 해제되는 헤이즈 잔류물 및/또는 전구물질 중은 도입/교체된 물질과 반응하여 비-헤이즈 형성 중을 생성할 수 있다.
- [0080] 포스트 펠리클 기술이 본 발명과 결합하여 이용될 수도 있다. 이들 기술은 헤이즈 재성장 및 재형성을 방지하기 위해 표면 모폴로지 및/또는 기관 조성을 변경하는 데 본 발명의 열 효과를 이용할 수 있다. 예컨대 석영 리플로우(reflow)온도에서 또는 석영 리플로우 온도에 가까운 온도에서 작업함으로써 석영 기관의 재료 상태 또는 모폴로지의 변화를 일으킬 수 있다. 이는 결정질 헤이즈 성장의 핵생성을 야기하는 것으로 믿어지는 활성화 사이트를 감소 또는 제거함으로써 헤이즈 재성장이나 재형성의 속도를 감소시킬 수 있다. 대안적 실시예가 활성화/핵생성 사이트를 개질 또는 제거하도록 본 발명에 따른 방법의 열적 효과와 결합하여 표면 전처리 또는 환경 조절 방법을 결합할 수 있다. 전구 물질은 헤이즈 재성장이나 재형성을 감소시키도록 열처리에 의해 활성화되거나 열적으로 여기된 표면과 반응할 수 있다.
- [0081] 계측
- [0082] 본 발명의 특정 실시예에 따른 방법은, 중요한 공정 파라미터를 모니터링하고 그리고/또는 세정 공정의 진행 또는 완료를 평가하도록 계측 기술과 결합하여 이용될 수도 있다. 예컨대 기관 재료의 국부적으로 생성된 온도의 측정이 세정 공정과 결합하여 이용될 수 있다. 온도 측정은 공정의 적용 전에 평가되어 온도 관련 손상의 위험성을 검증할 수 있다. 또한, 이런 온도는 세정 공정 중에 모니터링되어 공정 조절을 검증하고 그리고/또는 재료 손상의 위험성을 감소시킬 수 있다. 예컨대 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 기관 및/또는 흡수제 막의 온도가 공정 중에 모니터링됨으로써, 원하는 공정을 유지하거나 또는 너무 큰 온도 축적이 검출된 경우에 공정을 중단하도록 인가되는 에너지에 대한 피드 백 조절 능력을 갖게 된다. 온도 모니터링을 위한 다수의 장치 및 방법이 존재하며, 도12에 도시된 바와 같이 접촉식, 예컨대 열전쌍(26)과 비접촉식, 예컨대 적외선 카메라(25)의 기술을 포함한다.
- [0083] 계측은 또한, 본 발명의 특정 실시예에 있어서는, 도13에 도시된 바와 같이, 제거 공정 전에, 그 동안에 및/또는 그 후에 기관 및/또는 재료 특성의 오염물을 분석하는 데 이용될 수 있다. 세정 공정 운행 전의 오염물 확인이 이상적인 처리 파라미터를 설정하는 데 이용될 수 있다. 이는 최소의 공정 온도를 이용할 수 있도록 함으로써 기관 손상의 위험성을 감소시킨다. 공정 동안의 오염 모니터링도 또한 세정 공정이 진행됨에 따라 측정 신호의 강도에 기초한 세정 공정의 완료에 도달하는 데 이용될 수 있다. 더불어, 공정 동안의 대안 재료에 대한 모니터링이 공정에 의해 다른 오염이 생성되고 그리고/또는 기관 재료의 바람직하지 않은 변화가 야기되는 시점을 신호하는 데 이용될 수 있다. 이 정보는 공정을 조절하고 그리고/또는 기관 손상의 위험성 및/또는 열악한 세정 결과를 감소시키는 데 이용될 수 있다.
- [0084] 계측은 또한, 본 발명의 특정 실시예에 있어서는, 도13에 도시된 바와 같이, 제거 공정 전에, 그 동안에 및/또는 그 후에 기관(4)의 재료 특성 및/또는 재료를 분석 또는 모니터링하는 데 이용될 수 있다. 예컨대 기관 상에서 부분 흡수제 막의 재료 특성의 측정이 처리 전의 재료의 위상 지연을 산출하는 데 이용될 수 있다. 이는 흡수제 막에서 적절한 위상 지연을 유도하기 위해 세정을 위한 공정 온도를 결정하는 데 이용될 수 있다. 이런 계측은 처리 동안의 위상을 모니터링하여, 공정으로 정보를 피드백하거나 공정 한계 밖에 있는 경우에 공정을 중단시키는 데 이용될 수도 있다. 기관의 재료 특성 분석이 원하는 표면 재질의 변경 또는 모폴로지 변경을 유발하도록 정확한 에너지를 결정하는 데 이용될 수 있다. 더불어, 펠리클 막의 재료 특성이 모니터링되어, 펠리클 재료에 부정적인 영향이 발생하는 지를 결정할 수 있다. 이런 정보는 처리 전에 공정 온도를 정하거나, 처리 동안에 손상이 관찰된 경우 공정을 중단시키는 데 이용될 수 있다. 예컨대 하나 이상의 엘립소미터(ellipsometers) 또는 카메라(31)를 사용하여 펠리클 막, 흡수제 막 및 기관 표면의 재료 응답을 측정할 수 있다. 그러면, 그 데이터가 막 두께, 투과도 및 위상을 비롯한 원하는 재료 특성을 산출하는 데 이용될 수 있다.
- [0085] 표면 오염의 존재와 그 양을 모니터링하는 대안적 계측이 본 발명의 특정 실시예에 따라 세정 공정 전에, 그 동안에 및/또는 그 후에 이용될 수 있다. 예컨대, 본 발명의 특정 실시예에 있어서, 오염의 존재를 검출하는 데 이용되는 계측이 측정된 기관 영역에 레이저 펄스를 인가할지 여부를 결정하는 데 이용될 수 있다. 그 후, 이런 정보는 전체 기관에 인가되는 펄스의 수를 최소화하여 전체 세정 공정 시간뿐만 아니라 시스템에 인가되는 전체 열 에너지를 감소시키는 데 이용될 수 있다.

- [0086] 본 발명의 특정 실시예에 따라서는, 오염 또는 오염성 입자의 횡방향 크기/치수, 위치, 수, 밀도 및/또는 높이 (두께)를 측정하는 계측이 세정 공정과 결합하여 이용될 수 있다. 이들 측정은 예컨대 세정 공정전 및/또는 후의 측정에 의해 공정의 효율성과 완료를 보증하는 데 이용될 수 있다. 공정이 진행되는 동안, 이들 측정은 공정의 인-시튜(in-situ) 효율성을 평가하는 데 이용될 수 있다. 예컨대 복수의 레이저 펄스가 완전한 제거를 위해 이용되는 경우, 잔류 오염의 검출은 제거에 요구되는 펄수의 수를 평가하고 추가 펄스가 필요한 경우 이용될 수 있다. 이 경우, 본 발명의 특정 실시예에 따라서는, 계측은 세정 공정이 진행되는 동안 세정되는 영역을 볼 수 있도록 구성된다. 이는 통상적으로 레이저에 의해 노출되는 영역을 촬상함으로써 수행되며 도14에 도시된 바와 같이 레이저 전달에 이용되는 동일한 광학 소자의 사용을 포함할 수 있다. 촬상 렌즈(imaging lens)(32)는 부분 반사경(29)을 통해 오염성 미립자(3)를 상세히 감시할 수 있도록 함으로써 동시 모니터링 및 세정 등을 허용한다.
- [0087] 본 발명의 실시예에 따른 입자 검출 및 입자 크기 평가를 위한 복수의 방법이 존재한다. 이들 방법으로는 예컨대 반사광 및 투과광의 세기 측정, 촬상, 저각도 산란광 검출, 간섭법, 주사 전자 비임, 주사 터널링 현미경 관찰법, 근전자기장 현미경 관찰법, 원자력 현미경 관찰법 등이 있다. 복수의 방법이 추가 정보를 제공하도록 본 발명의 특정 실시예에 따라 결합될 수 있다.
- [0088] 예컨대, 포토마스크의 경우, 복수의 계측 방법이 본 발명의 특정 실시예에 따른 세정 공정에 통합될 수 있다. 포토마스크 상에 특정 오염(예컨대 암모니아 황화물)의 존재를 확인하는 것은, 예컨대 분해 온도 요건을 정의하고 때로는 세정 공정을 수행하기에 충분히 높은 레이저 에너지의 선택을 허용한다.
- [0089] 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 투과광의 강도를 측정하고, 그 결과를 포토마스크 표면의 흡수성 막을 위해 프로그램된 구조와 비교한다. 그 후, 프로그램된 특징과 검출된 특징 간의 불일치가 오염을 확인하는 데 이용된다. 더불어, 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 대기 촬상 측정(Aerial Imaging Measurement)법을 이용하여 포토마스크의 인쇄 특성을 평가할 수 있다. 이 측정법은 통상 포토마스크의 성능에 대한 오염의 효과를 평가하는 데 이용된다. 이 측정법은 인시튜(in situ) 방식으로 이용되어 세정 공정으로부터 초래된 흡수제 층의 손상을 검출할 수 있다. 이는 특히 막의 두께가 포토마스크 성능에 직접적 관련성을 갖는 부분 흡수성 막에 관련된다. 본 발명의 특정 실시예에 따르면, 투과광 검출과 산란광 검출을 결합함으로써 포토마스크 및 포토마스크 막의 통상적인 평활막과 다를 수 있는 요철면 토폴로지를 검출함으로써 오염 확인을 개선한다.
- [0090] 본 발명의 특정 실시예에 따르면 계측은 또한 세정되는 표면에 인접한 재료의 특성을 모니터링하는 데 이용될 수 있다. 예컨대 포토마스크 상부의 펠리클 막의 온도를 모니터링하여 펠리클 막의 손상 위험성을 감소시킬 수 있다. 또한, 펠리클 막의 투과 특성을 이용하여 공정 동안에 또는 공정 후에 세정 공정의 영향을 검증할 수 있다. 더불어, 펠리클 막 내면 상의 미립자 검출이 세정 공정을 수행하기 전에 이루어질 수 있고, 그리고/또는 공정 동안 이들 입자의 손실 및/또는 바람직하게는 펠리클 및/또는 기판 재료 손상의 위험을 방지하도록 공정에 사용되는 에너지의 한계가 있어야 하는지 여부를 검출하는 데 이용될 수 있다.
- [0091] 발명의 하나 이상의 실시예를 실시할 때에 당업자라면 이해할 수 있는 바와 같이, 전술한 계측의 예는 모든 본 발명을 포괄하고자 하는 것은 아니다. 오히려, 이런 예는 본 발명에 따른 몇몇 방법 내에서의 계측 기술의 이용을 단순히 예시한다.
- [0092] 장치
- [0093] 본 발명의 실시예에 따른 특정 방법은 레이저 표면 세정 공정을 수행하는 데 이용되는 장치에 포함된다. 이런 장치의 일례가 도15에 도시되어 있으며, 기판 재료를 정밀하게 위치 설정하는 엔드-이펙터(end-effector)를 구비한 기판 재료를 조작하기 위한 로봇(35)과, 기판 샘플을 레이저 비임에 대해 위치 설정하기 위해 하나 이상의 축 방향으로 이동하기 위한 플랫폼(34)을 추가로 포함한다. 이 장치는 예컨대 전술한 바와 계측 기술 중 하나 이상을 포함하고 있으며 그리고/또는 세정 공정 중에 기판 및/또는 인접 재료의 온도를 조절하는 수단을 포함할 수 있다. 더불어, 본 장치는 기판을 스테이징 시스템, 따라서 레이저 빔에 정합시키는 데 이용되는 계측을 포함할 수 있다. 이런 계측은 또한 컴퓨터 조절식 시각적 인식 시스템을 포함할 수 있다. 또한, 본 장치는 레이저, 이동 및/또는 계측의 컴퓨터 조절도 이용할 수 있으며, 세정 공정의 소프트웨어에 기초한 레시피 조절(recipe control)를 제공할 수 있다. 예컨대 레이저 조절은 세정 공정 중에 레이저 펄스가 인가되는 시기뿐만 아니라 인가되는 에너지의 양을 조절하는 것을 포함할 수 있다.

[0094] 웨이퍼 제조 공정

[0095] 본 발명의 특정 실시예에 따른 방법 및/또는 장치는, 펠리클 처리된 포토마스크 표면에서 헤이즈 형성의 제거를 포함하는 신규의 웨이퍼 제조 공정의 일부로서 이용될 수 있다. 통상적으로, 포토마스크는 헤이즈의 수준이 웨이퍼 인쇄 공정에 부정적인 영향을 주기에 충분하게 될 때 웨이퍼 인쇄 공정에서 제거된다. 통상적으로, 포토마스크가 제거되기까지의 시간은 높은 수준의 헤이즈 오염을 직접 검출함으로써 또는 소정 기간 및/또는 웨이퍼 공정에서의 사용 수준에 기초하여 결정된다. 통상적으로, 포토마스크는 다른 시설로 전송되어 펠리클을 제거하고 포토마스크를 세정하며 다른 펠리클을 포토마스크에 부착시킨다. 이들 다른 시설(예컨대 마스크 업체)은 웨이퍼 제조 시설에서는 요구되지 않는 포토마스크 보수와 추가적인 검사를 수행할 뿐만 아니라 이런 임무들을 달성하는 데 요구되는 장비를 유지한다. 포토마스크를 세정하고 신규의 펠리클을 부착시키는 데 요구되는 시간 동안에는 포토마스크의 복제 세트가 통상 이용된다. 이들 추가적인 포토마스크는 요구되는 높은 재료비 및 설치 및 평가 비용 때문에 전체 웨이퍼 인쇄 공정에 상당한 비용을 부가한다.

[0096] 본 발명의 특정 실시예에 따른 신규의 포토마스크 제조 방법은 헤이즈의 포토마스크 표면을 세정하기 위한 전술한 방법 중 하나 이상을 이용하는 장치를 포함한다. 도16a에 도시된 본 발명의 실시예에 따른 전형적인 웨이퍼 제조 공정은 포토마스크 오염을 제거하기 위해 습식 세정 공정의 사용을 예시한다. 도16b의 흐름도에 도시된 본 발명의 특정 실시예의 범위에 속하는 대안적인 방법은 웨이퍼 제조 시설에서의 세정 작업을 펠리클 제거없이 수행하는 데 전술한 레이저 세정 공정 중 하나 이상을 이용한다. 이는 종래의 습식 세정 공정에 의해 생산되는 포토마스크 막의 추가적인 펠리클 비용 및/또는 열화를 최소화하거나 제거할 수 있다.

[0097] 본 발명의 특정 실시예에 따르는 신규의 포토마스크 제조 공정은 원본 세트가 세정되는 동안 제품 제조를 위한 추가 마스크 또는 마스크 세트를 사용하지 않게 한다. 이런 제조 공정에서, 도16c에 도시된 바와 같이, 원본 포토마스크(들)는 세정 공정 다음의 생산에 즉시 다시 배치된다. 이는 복제 마스크 세트를 이용하기 위해 요구되는 설치 시간을 감소시킬 뿐만 아니라 복제 마스크 세트를 제거하는 잠재성을 갖는다. 유리하게는, 검사 계측을 이용하여 세정 공정을 확인하는 것이 포토마스크를 생산에 다시 복귀시키기 전에 이용될 수 있다. 이런 측정은 예컨대 본 발명의 장치에 포함되거나 웨이퍼 제조시의 추가적인 장치 또는 다른 설비에 의해 제공될 수 있다. 계측에도 불구하고, 포토마스크 헤이즈 제거를 위한 전체 공정 시간은 감소될 것이다.

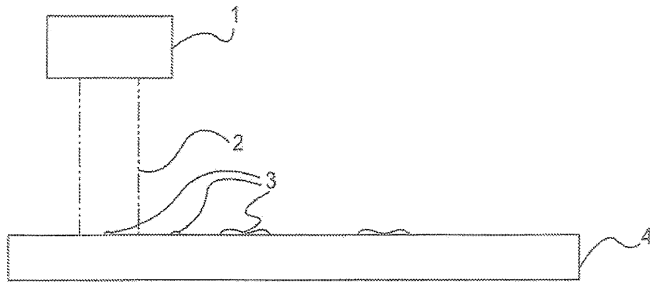
[0098] 본 발명의 수많은 특징 및 이점들은 상세한 설명으로부터 명백해졌으며, 이에 따라 첨부된 특허청구범위는 본 발명의 진정한 사상 및 범위 내에 포함되는 본 발명의 이런 특징 및 이점 모두를 커버한다. 또한, 수많은 수정 및 변형이 당업자들에게 용이하게 이루어지기 때문에, 도시하고 설명한 바와 일치하는 구조 및 작업에 본 발명을 한정하는 것은 바람직하지 않으며, 이에 따라 모든 수정에 및 등가물은 본 발명의 범위 내에 포함되는 것으로 분류할 수 있다.

부호의 설명

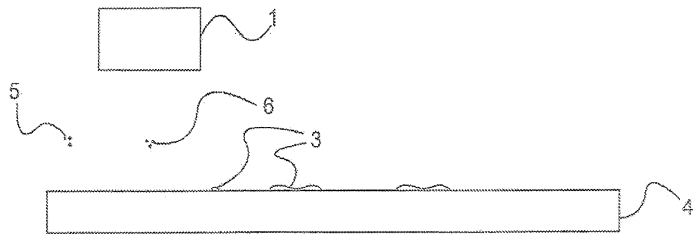
- | | | |
|--------|-------------|--------------|
| [0099] | 1 : 레이저 | 2 : 여기 에너지 |
| | 3 : 오염성 미립자 | 4 : 기관 |
| | 7 : 기관 막 코팅 | 8 : 펠리클 |
| | 9 : 펠리클 프레임 | 10 : 펠리클 접촉제 |
| | 11 : 렌즈 | 12 : 펠리클 비임 |
| | 13 : 마스크 비임 | 15 : 가우스 분포 |
| | 29: 부분 반사경 | 32: 촬상 렌즈 |
| | 34: 플랫폼 | 35: 로봇 |

도면

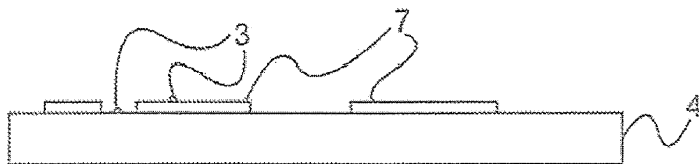
도면1a



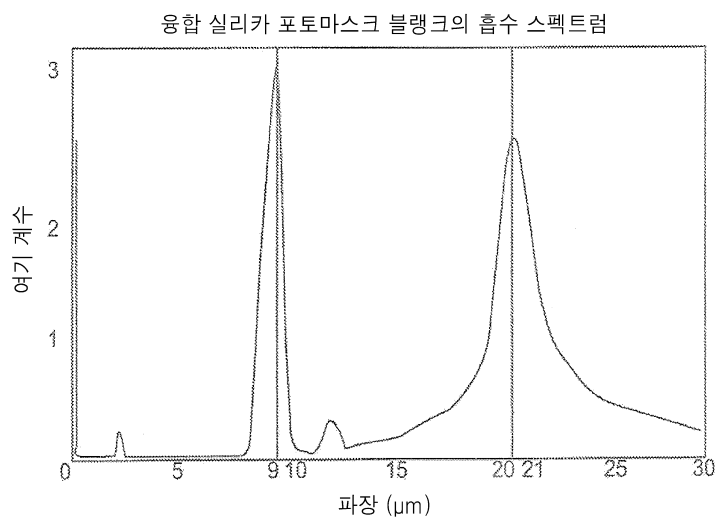
도면1b



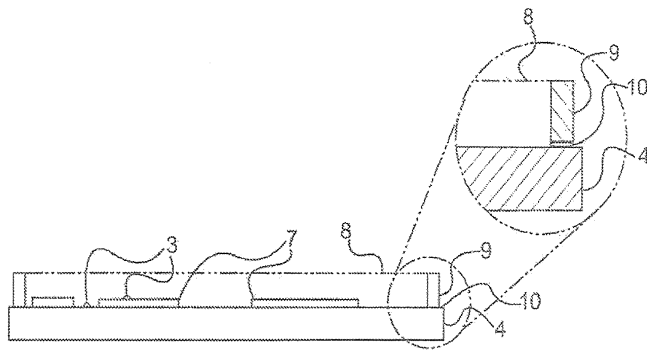
도면2



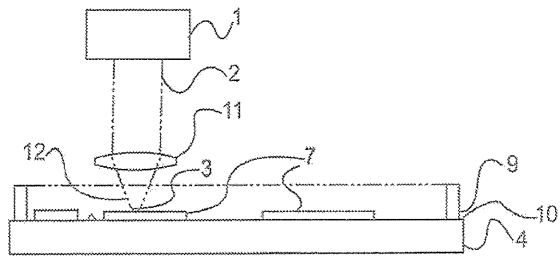
도면3



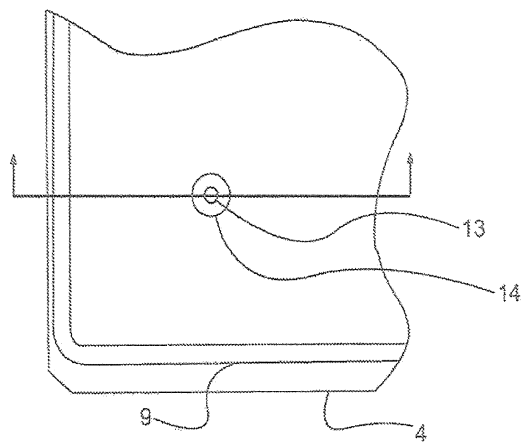
도면4



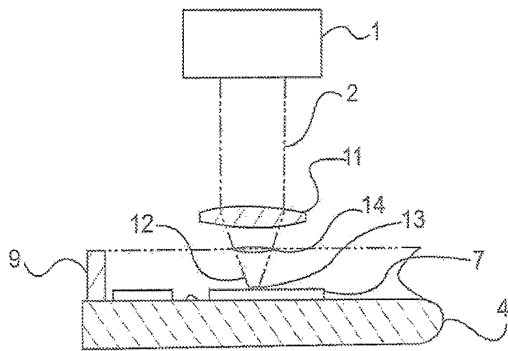
도면5a



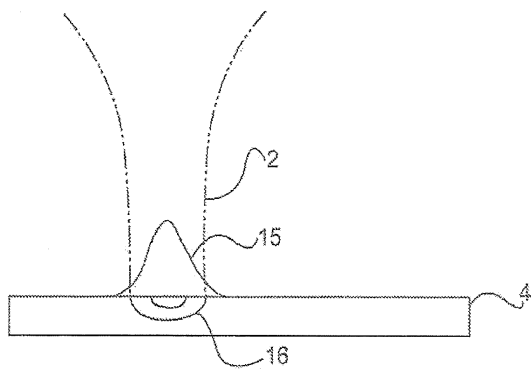
도면5b



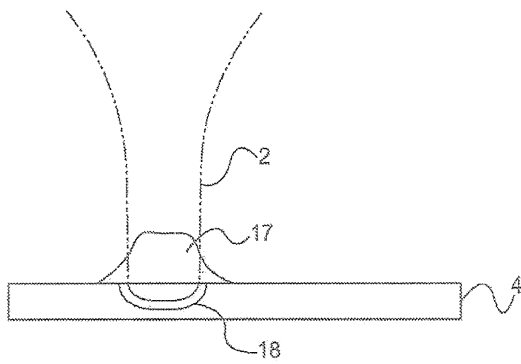
도면5c



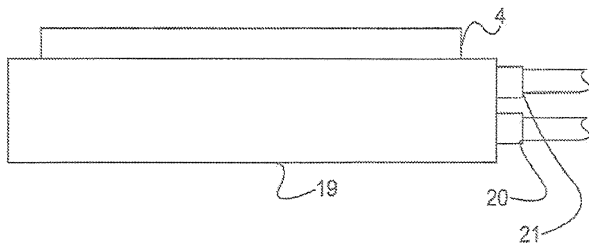
도면6a



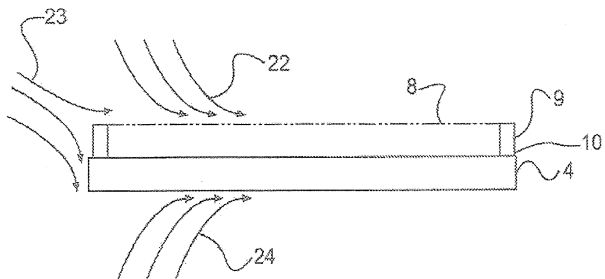
도면6b



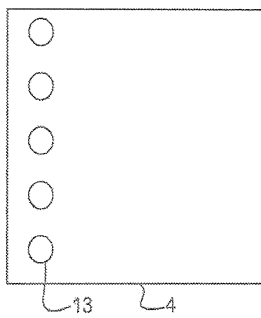
도면7



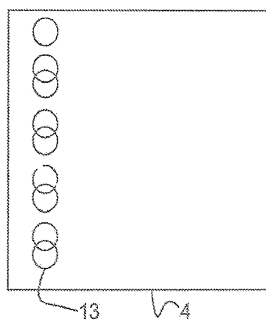
도면8



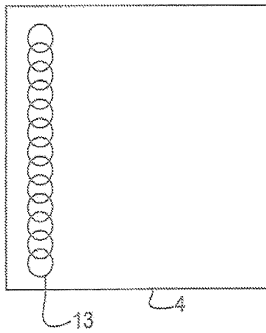
도면9a



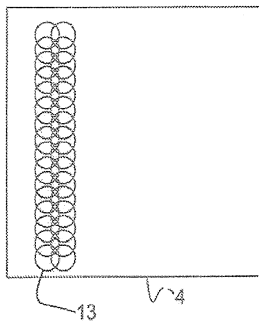
도면9b



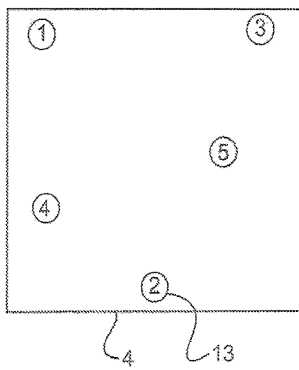
도면9c



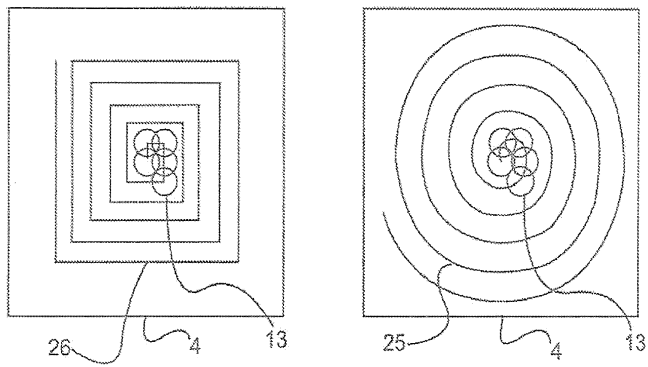
도면9d



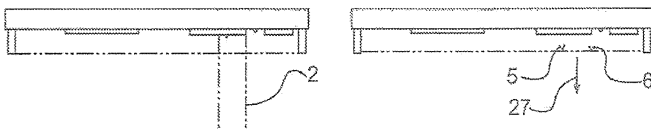
도면9e



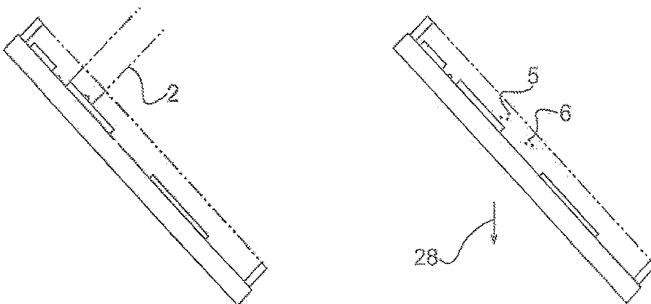
도면10



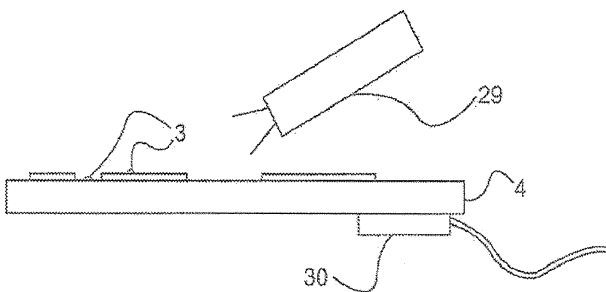
도면11a



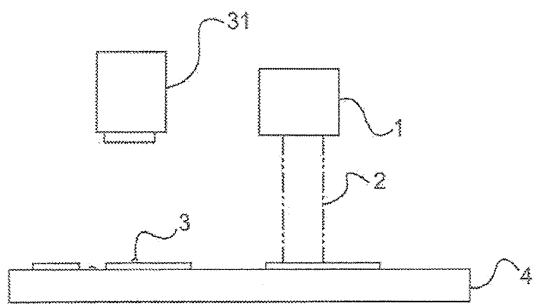
도면11b



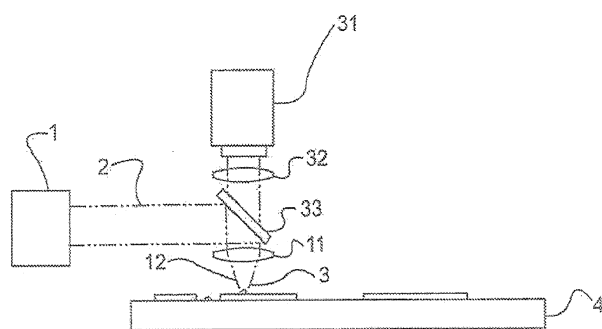
도면12



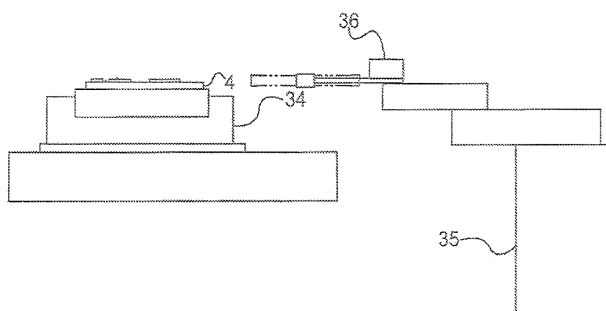
도면13



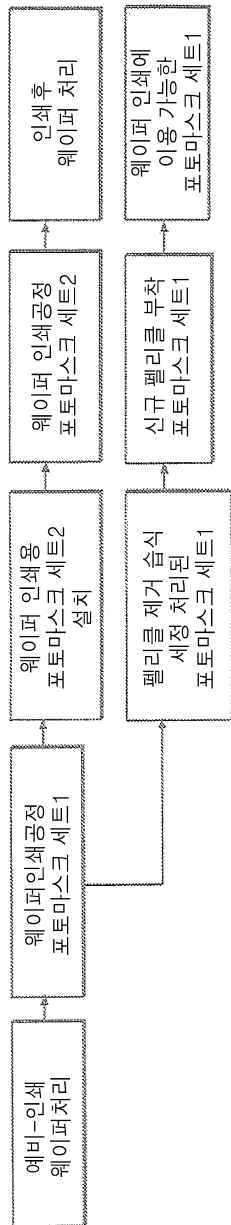
도면14



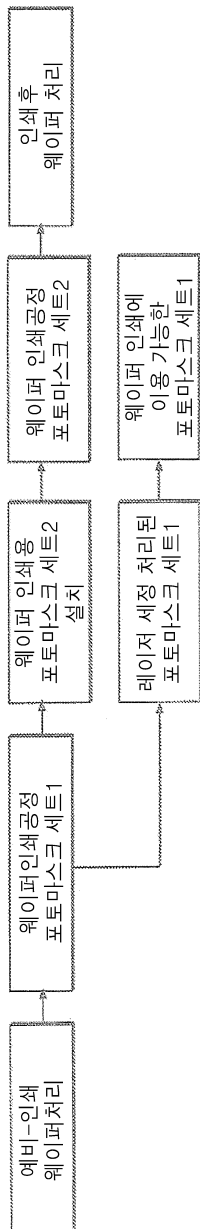
도면15



도면16a



도면16b



도면16c

