(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월25일
(11) 등록번호 10-2721673
(24) 등록일자 2024년10월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 7/20 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03F 7/70775 (2023.05)
G03F 7/70383 (2023.05)
(21) 출원번호 10-2018-7008800
(22) 출원일자(국제) 2016년08월31일
심사청구일자 2021년08월30일
(85) 번역문제출일자 2018년03월28일
(65) 공개번호 10-2018-0048840
(43) 공개일자 2018년05월10일
(86) 국제출원번호 PCT/US2016/049671
(87) 국제공개번호 WO 2017/040639
국제공개일자 2017년03월09일
(30) 우선권주장
62/212,013 2015년08월31일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
WO2015081167 A1*
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 23 항

(73) 특허권자
리톱텍 엘엘씨
미국, 뉴저지 07901, 서미트, 26 리지 로드
(72) 발명자
쉐튼버그, 마크
미국, 매사추세츠 01701, 프레이밍햄, 198 밀 스트리트
헨델, 루돌프
미국, 뉴저지 07901, 서미트, 25 리지 로드
글렌, 존
미국, 매사추세츠 01741, 칼라일, 251 피스케 스트리트
(74) 대리인
특허법인(유)화우

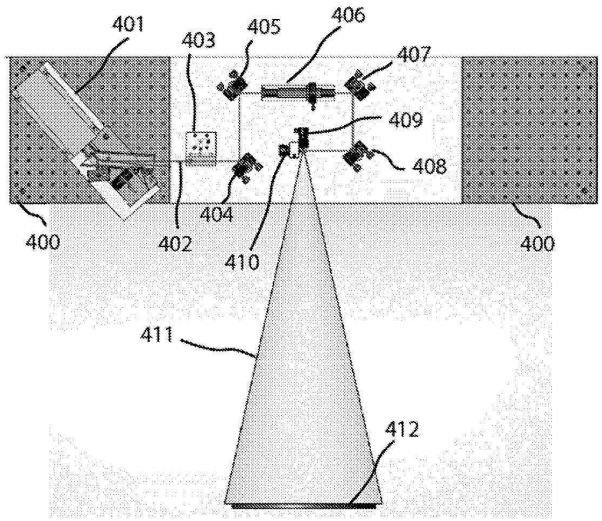
심사관 : 계원호

(54) 발명의 명칭 **막 또는 표면 수정을 위하여 주사 광 빔을 이용하기 위한 장치 및 방법**

(57) 요 약

기판을 처리하고, 특히, 전체적인 프로세스의 개선된 균일성으로 이어지는, 기판에 적용된 일차적인 프로세스의 결과들에 대한 이차적인 조절들을 행하기 위한 방법 및 장치로서, 기판은 기판 홀더 상에 위치되고; 주사 광 빔은 기판의 표면 상으로 지향되고; 그리고 주사된 빔의 진폭은 기판 시그니처에 기초한 로케이션에 의해 변동된다.

대 표 도 - 도4



(52) CPC특허분류
G03F 7/70558 (2023.05)

(56) 선행기술조사문헌
JP2010113001 A
JP05199373 A*
JP2000243696 A*
JP2010267966 A
JP2000243696 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명 세 서

청구범위

청구항 1

노출 프로세스(exposure process)의 이차적 조절을 위해 기판을 처리하는 방법으로서,

기판 홀더 상에 상기 기판을 위치시키는 단계;

광 빔을 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사하는 단계;

기판 시그니처(substrate signature) - 상기 기판 시그니처는 임계 치수(critical dimension; CD) 에러를 위치의 함수로서 나타낸 기판 시그니처 맵을 포함하고, 상기 기판 시그니처 맵은 임계 치수 에러의 로케이션 종속적 사전-노출(pre-exposure) 또는 사후-노출(post-exposure) 도우징 조절(dosing adjustment)에 의한 상기 노출 프로세스의 이차적인 조절을 통한 임계 치수 에러 보상의 목적을 위해 이용됨 - 에 기초하여 상기 표면에 걸쳐 주사될 때 로케이션에 따라 상기 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계를 포함하고,

상기 광 빔은, 상기 광 빔이 상기 표면에 걸쳐 주사될 때 상기 광 빔의 진폭에 기초하여 상기 기판 내의 임계치수 임계 치수 정정을 포함하는 이차적인 변화를 야기하는 기판과 상호작용하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 광 빔을 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사하는 단계는, 스피닝 다면형 미러(spinning multi-faceted mirror), 검류계 주사 미러(galvanometer scanning mirror), AOM 빔 편향기, EOM 빔 편향기, MEMS 주사 미러, 및/또는 압전 주사 미러 중의 적어도 하나를 통해 수행되는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기판 시그니처에 기초한 로케이션에 따라 상기 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계는 AOM, EOM, 액정 변조기, 또는 MEMS-기반 변조기를 통해 수행되는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 기판 시그니처는 상기 기판에 대응하는 에너지 시그니처에 기초하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 기판 시그니처는 상기 기판에 대응하는 임계 치수 시그니처에 기초하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 기판 시그니처는 상기 기판에 대응하는 리소그래픽 노출 시그니처에 기초하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 기판 시그니처는 상기 기판에 대응하는 열적 입력 시그니처에 기초하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 광 빔은 CW 레이저, Q-스위칭된 레이저, 또는 모드-록킹된 레이저에 의해 생성되는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 기판 시그니처에 기초한 로케이션에 따라 상기 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계는, 상기 기판 시그니처에 대응하는 기판 시그니처 정정 맵(substrate signature correction map)에 기초한 로케이션에 따라 상기 광 빔의 상기 진폭을 변동시키는 단계를 포함하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 10

노출 프로세스의 이차적 조절을 위해 기판을 처리하는 방법으로서,

기판 홀더 상에 상기 기판을 위치시키는 단계;

기판 시그니처 정정 맵을 메모리로 로딩하는 단계;

상기 기판 시그니처 정정 맵 - 상기 기판 시그니처 정정 맵은 임계 치수 에러를 위치의 함수로서 나타낸 기판 시그니처 맵을 포함하는 기판 시그니처에 대응하고, 상기 기판 시그니처 맵은 임계 치수 에러의 로케이션 종속적 사전-노출 또는 사후-노출 도우징 조절에 의한 상기 노출 프로세스의 이차적인 조절을 통한 임계 치수 에러 보상의 목적을 위해 이용되고, 상기 기판 시그니처 정정 맵은 포토레지스트 막을 노출할 목적을 위해 픽셀 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서, 또는 면적 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서 포함함 - 에 기초하여, 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사될 때 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계를 포함하고,

상기 광 빔은, 상기 광 빔이 상기 표면에 걸쳐 주사될 때 상기 광 빔의 진폭에 기초하여 상기 기판 내의 임계 치수 정정을 포함하는 이차적인 변화를 야기하는 기판과 상호작용하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 11

노출 프로세스의 이차적 조절을 위해 기판을 처리하는 방법으로서,

기판 홀더 상에 상기 기판을 위치시키는 단계;

기판 시그니처 정정 맵을 메모리로 로딩하는 단계;

상기 기판 시그니처 정정 맵 - 상기 기판 시그니처 정정 맵은 임계 치수 에러를 위치의 함수로서 나타낸 기판 시그니처 맵을 포함하는 기판 시그니처에 대응하고, 상기 기판 시그니처 맵은 임계 치수 에러의 로케이션 종속적 사전-노출 또는 사후-노출 도우징 조절에 의한 상기 노출 프로세스의 이차적인 조절을 통한 임계 치수 에러 보상의 목적을 위해 이용되고, 상기 기판 시그니처 정정 맵은 포토레지스트 막을 노출할 목적을 위해 픽셀 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서, 또는 면적 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서 포함함 - 에 기초하여, 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사될 때 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계를 포함하고,

상기 기판 시그니처 정정 맵에 기초하여 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사될 때 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계는,

상기 기판 시그니처 정정 맵으로부터 선형화된 주사 파일을 생성하는 단계;

상기 선형화된 주사 파일에 기초하여 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사된 상기 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계를 포함하고,

상기 광 빔은, 상기 광 빔이 상기 표면에 걸쳐 주사될 때 상기 광 빔의 진폭에 기초하여 상기 기판 내의 임계 치수 정정을 포함하는 이차적인 변화를 야기하는 기판과 상호작용하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 12

제 10 항에 있어서,

상기 기판 시그니처 정정 맵에 기초하여 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사된 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계는,

스캐너 속성들 및 스캐너 제어 방법들에 기초하여 상기 기판 시그니처 정정 맵으로부터 에러 정정된 노출 파일을 생성하는 단계;

상기 에러 정정된 노출 파일에 기초하여 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사된 상기 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계를 포함하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 13

노출 프로세스의 이차적 조절을 위해 기판을 처리하기 위한 장치로서,

빔을 방출할 수 있는 레이저;

상기 기판의 표면에 걸쳐 상기 레이저에 의해 방출된 빔을 주사할 수 있는 빔 편향기;

빔 파워 또는 에너지 제어 드라이버;

상기 기판에서의 복수의 위치에 대한 빔 파워 또는 에너지 제어 정보 및 빔 위치 정보를 포함하는 기판 시그니처 정정 맵 - 상기 기판 시그니처 정정 맵은 임계 치수 에러를 위치의 함수로서 나타낸 기판 시그니처 맵을 포함하는 기판 시그니처에 대응하고, 상기 기판 시그니처 맵은 임계 치수 에러의 로케이션 종속적 사전-노출 또는 사후-노출 도우징 조절에 의한 상기 노출 프로세스의 이차적인 조절을 통한 임계 치수 에러 보상의 목적을 위해 이용되고, 상기 기판 시그니처 정정 맵은 포토레지스트 막을 노출할 목적을 위해 픽셀 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서, 또는 면적 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서 포함함 - ;

제어기 - 상기 제어기는 상기 기판 시그니처 정정 맵에서의 상기 빔 파워 또는 에너지 제어 정보를 상기 빔 파워 또는 에너지 제어 드라이버로 출력하고, 상기 기판 시그니처 정정 맵에서의 상기 빔 위치 정보를 상기 빔 편향기로 출력하고, 상기 빔 편향기는 상기 기판의 표면에 걸쳐 빔을 차례로 주사하여, 상기 빔이 상기 기판에 걸쳐 주사될 때 상기 기판 내에 임계 치수 정정을 포함하는 이차적인 변화를 야기함 - 를 포함하는, 기판을 처리하기 위한 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 제어기는,

디지털 프로세서;

상기 기판 시그니처 정정 맵을 수신할 수 있는 외부 통신 인터페이스;

상기 기판 시그니처 정정 맵을 저장할 수 있는 저장 메모리; 및

상기 빔 에너지 또는 파워 제어 정보 및 상기 빔 위치 정보를 출력할 수 있는 제어 신호 출력부를 포함하는, 기판을 처리하기 위한 장치.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 빔을 상기 기판 상으로 포커싱하기 위해 상기 빔 편향기와 기판 사이에 렌즈가 요구되지 않는, 기판을 처리하기 위한 장치.

청구항 16

제 1 항에 있어서,

상기 광 빔을 상기 기판의 표면 상으로 포커싱하기 위해 렌즈가 요구되지 않는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 17

제 10 항에 있어서,

상기 광 빔을 상기 기판의 표면 상으로 포커싱하기 위해 렌즈가 요구되지 않는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 18

노출 프로세스의 이차적 조절을 위해 기판을 처리하는 방법으로서,

기판 홀더 상에 상기 기판을 위치시키는 단계;

기판 시그니처 정정 맵을 메모리로 로딩하는 단계;

광 빔을 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사하는 단계; 및

기판 시그니처 - 상기 기판 시그니처는 임계 치수(critical dimension; CD) 에러를 위치의 함수로서 나타낸 기판 시그니처 맵을 포함하고, 상기 기판 시그니처 맵은 임계 치수 에러의 로케이션 종속적 사전-노출(pre-exposure) 또는 사후-노출(post-exposure) 도우징 조절(dosing adjustment)에 의한 상기 노출 프로세스의 이차적인 조절을 통한 임계 치수 에러 보상의 목적을 위해 이용되고, 상기 기판 시그니처 정정 맵은 포토레지스트 막을 노출할 목적을 위해 픽셀 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서, 또는 면적 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서 포함함 - 에 기초하여 상기 표면에 걸쳐 주사될 때 로케이션에 따라 상기 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계를 포함하고,

상기 기판 시그니처 정정 맵에 기초하여 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사될 때 상기 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계는,

상기 기판 시그니처 정정 맵으로부터 선형화된 주사 파일을 생성하는 단계;

상기 선형화된 주사 파일에 기초하여 상기 기판의 표면에 걸쳐 주사된 상기 광 빔의 진폭을 변동시키는 단계를 포함하고,

상기 광 빔은, 상기 광 빔이 상기 표면에 걸쳐 주사될 때 상기 광 빔의 진폭에 기초하여 상기 기판 내의 임계 치수 정정을 포함하는 이차적인 변화를 야기하는 기판과 상호작용하는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 19

노출 프로세스의 이차적 조절을 위해 기판을 처리하기 위한 장치로서,

빔을 방출할 수 있는 레이저;

상기 기판의 표면에 걸쳐 상기 레이저에 의해 방출된 빔을 주사할 수 있는 빔 편향기;

빔 파워 또는 에너지 제어 드라이버;

상기 기판에서의 복수의 위치에 대한 빔 파워 또는 에너지 제어 정보 및 빔 위치 정보를 포함하는 기판 시그니처 정정 맵 - 상기 기판 시그니처 정정 맵은 임계 치수 에러를 위치의 함수로서 나타낸 기판 시그니처 맵을 포함하는 기판 시그니처에 대응하고, 상기 기판 시그니처 맵은 임계 치수 에러의 로케이션 종속적 사전-노출 또는 사후-노출 도우징 조절에 의한 상기 노출 프로세스의 이차적인 조절을 통한 임계 치수 에러 보상의 목적을 위해 이용되고, 상기 기판 시그니처 정정 맵은 포토레지스트 막을 노출할 목적을 위해 픽셀 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서, 또는 면적 당 증착된 에너지를 픽셀 위치의 함수로서 포함함 - ;

제어기 - 상기 제어기는 상기 기판 시그니처 정정 맵으로부터 선형화된 주사 파일을 생성하고, 상기 기판 시그니처 정정 맵에서의 상기 빔 파워 또는 에너지 제어 정보를 상기 선형화된 주사 파일로서 상기 빔 파워 또는 에너지 제어 드라이버로 출력하고, 상기 기판 시그니처 정정 맵에서의 상기 빔 위치 정보를 상기 선형화된 주사 파일로서 상기 빔 편향기로 출력하고, 상기 빔 편향기는 상기 기판의 표면에 걸쳐 빔을 차례로 주사하여, 상기 빔이 상기 기판에 걸쳐 주사될 때 상기 기판 내에 임계 치수 정정을 포함하는 이차적인 변화를 야기함 -

를 포함하는, 기판을 처리하는 장치.

청구항 20

제 1 항, 제 10 항, 제 11 항 및 제 18 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광 빔은 10 kHz보다 큰 펄스 레이트를 갖는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 21

제 13 항 및 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 빔은 10 kHz보다 큰 펄스 레이트를 갖는, 기판을 처리하는 장치.

청구항 22

제 10 항, 제 11 항 및 제 18 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광 빔은 CW 레이저, Q-스위칭된 레이저, 또는 모드-록킹된 레이저에 의해 생성되는, 기판을 처리하는 방법.

청구항 23

제 13 항 및 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 빔은 CW 레이저, Q-스위칭된 레이저, 또는 모드-록킹된 레이저에 의해 생성되는, 기판을 처리하는 장치.

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 그 전체적으로 참조로 본원에 편입되는, "Apparatus and Method for Using Scanning Light Beam for Film or Surface Modification(막 또는 표면 수정을 위하여 주사 광 빔을 이용하기 위한 장치 및 방법)"이라는 명칭으로 2015년 8월 31일자로 출원된 미국 가출원 제62/212,013호의 이익을 주장한다.

[0003] 본 발명은 일반적으로 막 또는 표면 수정에 관한 것으로, 더 상세하게는, 막 또는 표면 수정을 위한 에너지 증착(energy deposition)의 목적을 위해 주사 광 빔을 이용하는 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명은 하나의 예로서, 전체적인 프로세스의 개선된 균일성으로 이어지는 프로세스 파라미터들의 이차적인 조절(secondary adjustment)에 적용된다.

배 경 기 술

[0004] 진보된 반도체 프로세싱 및 프로세스 능력의 핵심 척도의 결정적 요건은 임계 치수(Critical Dimension; CD)로서 통상적으로 지칭된, 회로에서의 가장 작은 피처 치수(feature dimension)들 또는 가장 작은 공간의 균일성과 같은 프로세스 파라미터들의 엄격한 균일성; 또는 전체 웨이퍼 구역 상에서의 오버레이(Overlay; OL)로서 통상적으로 지칭된, 회로에서의 상이한 패턴화 층들 사이의 정렬의 균일성이다. 이 요건은 스케일링을 통해 요구된 피처 크기들의 계속된 감소(산업은 지금 10 nm 기술 노드에 있을 것을 요구함) 및 웨이퍼들의 증가하는 크기(현재 300 mm 직경이며, 450 mm 직경이 가까운 미래에 예상됨)가 주어질 경우에 점점 더 도전적으로 되고 있다. 예를 들어, 패턴의 최소 피처 크기를 표시하는 임계 치수(CD)가 오직 수십 나노미터(nanometer)이고, 요건은 CD의 < 5% 변동에 대한 것일 경우, 프로세스 제어는 < 1 nm로 변동하는 CD를 산출해야 한다. 그 정도의 정확도까지의 임의의 프로세스의 제어는 매우 도전적이다. 이러한 이유로, 일차적인 프로세스의 결과들(이 경우, CD)의 이차적인 조절이 바람직하다. 이것은 일차적인 프로세스(예를 들어, 포토리소그래픽 노출 프로세스(photolithographic exposure process) 또는 기판 에치 프로세스(substrate etch process))가 수행되고 그 프로세스로부터 획득된 결과가 최종적인 프로세스 제어 요건을 충족시키지 않고, 이에 따라, 일차적인 프로세스에 대한 이차적인 조절을 요구한다는 것을 의미한다.

[0005] 예를 들어, 포토리소그래픽 노출 프로세스는 투영 리소그래피 노출(projection lithography exposure)을 이용한 포토마스크로부터 실리콘 웨이퍼 상으로의 회로 패턴의 광학적 전사를 이용하여 수행될 수도 있다. 반도체 패턴화 프로세스들에서는, 노출 이전에, 기판들이 포토마스크의 투영된 이미지에 의해 제공된 바와 같은 방사

(radiation)에 대한 노출에 의해 변경되는 감광성 폴리머(포토레지스트)로 전형적으로 코팅된다. 포토레지스트로 흡수된 바와 같은 투영된 에너지 패턴은, 그것이 후속하는 화학적 현상 프로세스에서 선택적으로 제거될 수 있도록, 막 재료를 변경한다. 그 다음으로, 현상된 레지스트는 예를 들어, 회로 패턴들을 생성할 목적을 위해 포토레지스트 패턴을 하지 기판(underlying substrate)으로 전사하기 위한 후속하는 에치 프로세스 동안에 마스크로서 이용될 수 있다. 포토마스크 패턴, 및 포토리소그래픽 투영 시스템의 특성들은 제어된 CD를 갖는 이미지를 웨이퍼 상의 각각의 로케이션(location)으로 전달하도록 신중하게 설계된다. 그러나, 이미지 투영 시스템에서의 투영 조명 균일성 또는 코팅 프로세스들 동안의 포토레지스트 두께 변동들과 같은 많은 프로세스 변동들은 타겟 값들로부터의 CD의 편차들을 야기시킬 수도 있다. 이 편차들은 회로 성능을 열화시킬 수 있고, 제어하기가 어려울 수 있다.

[0006] 반도체 기판들 상의 패턴들의 CD 균일성은 KLA-Tencor(광학적 CD 계측법) 또는 Applied Materials(SEM CD 계측법)와 같은 몇몇 벤더들에 의해 제공된 CD 맵핑 툴(mapping tool)들을 이용하여 획득될 수 있다. 이 툴들은 기판 상의 많은 포인트들에서 회로 패턴 CD를 측정할 수 있음으로써, 기판에 걸쳐 CD 에러들의 2D 맵을 생성할 수 있다. 많은 경우들에는, 측정된 CD 맵들이 하나의 기판으로부터 다음까지의 다량의 반복가능성(repeatability)을 디스플레이한다. 반복가능한 패턴들은 패턴을 생성하기 위하여 이용되었던 특정한 프로세스들 또는 프로세스 툴들의 시그니처(signature)들이다. 이러한 반복가능한 패턴들은 기판 시그니처들로서 지칭된다. 기판 시그니처는 웨이퍼를 프로세싱하기 위하여 이용된 특정 반도체 프로세싱 장비에 의해 주로 결정된다. 이에 따라, 기판 프로세싱을 위해 이용된 장비가 변경되거나 교체될 경우, 기판 시그니처가 또한 변경될 수도 있고 재측정될 필요가 있을 수도 있다.

[0007] 기판 시그니처는 나노미터 단위들로 측정된 바와 같은 CD 에러들의 2D 맵에 의해 전형적으로 표현된다. 이것은 기판 시그니처 맵으로 칭해진다. 이 맵은 로케이션 종속적 사전-노출(pre-exposure) 또는 사후-노출(post-exposure) 도우징 조절(dosing adjustment)에 의한 일차적인 (노출) 프로세스의 이차적인 조절을 통한 CD 에러 보상의 목적을 위해 이용될 수 있다. 노출 프로세스의 이차적인 조절의 경우에 대하여, 기판 시그니처 맵에서의 각각의 위치에 대하여 요구된 사전- 또는 사후-노출 정정의 양이 측정되고 저장될 수도 있어서, 정정의 목적을 위해 후속하는 기판들에 적용될 수 있는 미리 결정된 2D 정정 맵을 형성할 수도 있다. 노출 프로세스의 이차적인 조절의 경우에 대하여, CD 에러를 나노미터 단위들인 위치의 함수로서 전형적으로 표현하는 기판 시그니처 맵은, 포토레지스트 막을 노출할 목적을 위해 픽셀 당 증착된 에너지를 (예컨대, 밀리-주울(milli-Joule)의 단위들인) 픽셀 위치의 함수로서, 또는 대안적으로, 면적 당 증착된 에너지를 (예컨대, 밀리-주울/cm^2의 단위들인) 픽셀 위치의 함수로서 전형적으로 표현하는 기판 정정 맵으로 프로세싱될 필요가 있을 수도 있다. 이 예에서, 기판 시그니처 맵을 기판 정정 맵으로 변환하는 프로세스는 포토레지스트 벤더들로부터 전형적으로 입수가능한 포토레지스트 광화학적 노출 파라미터들의 지식을 요구한다.

[0008] 전형적으로, 기판 시그니처 맵은 반도체 기판들에 적용된 장비의 특정한 피스(piece)들 또는 개별적인 프로세스 단계들의 프로세스 제어 변동들 특성의 실질적으로 반복가능한 맵이다. 포토폴리머(photopolymer)들의 도포(application) 또는 기판 상의 박막(thin film)들의 증착 및 에칭과 같은 다른 프로세싱 단계들은 또한, 이차적인 조절을 통해 측정되고 보상될 수 있는 기판 시그니처들을 나타낼 수도 있다. 기판 시그니처가 바람직하지 않은 프로세스 변동들, 예를 들어, CD 변동들을 야기시키는 프로세스 단계, 예를 들어, 베이킹(baking) 또는 에칭(etching) 단계의 열적 특성(thermal characteristic)들에 의해 야기되는 경우에 대하여, 프로세스의 열적 또는 에너지 시그니처가 측정될 수도 있고 이차적인 조절의 목적을 위해 기판에 적용될 수도 있다. 열적 또는 에너지 프로세스의 이차적인 조절의 경우에 대하여, 기판 시그니처 맵이 측정되고 저장될 수도 있어서, 정정의 목적을 위해 후속하는 기판들에 적용될 수 있는 미리 결정된 열적 입력 시그니처를 형성할 수도 있다. 기판 시그니처가 프로세스 단계의 열적 특성들에 의해 야기되는 경우에 대하여, CD 에러를 나노미터 단위들인 위치의 함수로서 전형적으로 표현하는 기판 시그니처 맵은, 국소적 온도를 변경할 목적을 위해 기판으로의 픽셀 당 증착된 에너지를 (예컨대, 밀리-주울의 단위들인) 픽셀 위치의 함수로서, 또는 대안적으로, 면적 당 증착된 에너지를 (예컨대, 밀리-주울/cm^2의 단위들인) 픽셀 위치의 함수로서 전형적으로 표현하는 기판 정정 맵으로 프로세싱될 필요가 있을 수도 있다. 이 예에서, 기판 시그니처 맵을 기판 정정 맵으로 변환하는 프로세스는 특정한 CD 타겟을 달성하기 위하여 필요한 국소적 온도 상승의 지식을 요구할 것이다.

[0009] ("deVilliers"로서 이후로 집합적으로 지칭된) 각각 deVilliers 등에 대한 미국 특허 공개 제2015/0147827A1호, 제2015/0146178A1호, 제2015/0212421A1호, 및 제2016/0048080A1호는 CD-균일성을 포함하는, 다수의 프로세스들에 대한 이러한 이차적인 조절을 다룬다. DeVilliers는 상업적으로 입수가능한 마이크로

-미러(micro-mirror) 마이크로-전기기계 시스템(micro-electromechanical system; MEMS) 디바이스와 같은 공간적으로 변조된 어레이를 이용하여 변조된 세기 맵(intensity map)을 웨이퍼 상으로 투영함으로써 이차적인 조절을 달성하는 것을 설명한다. 이러한 마이크로 미러 어레이(micro mirror array; MMA)들은 "디지털 광 프로세서(Digital Light Processor; DLP)들" 또는 "격자 광 밸브(Grating Light Valve; GLV)들"로 흔히 칭해지고, 디지털 모션 픽처 투영기(digital motion picture projector)들에서 통상적으로 이용된다. 그렇게 투영된 이미지들은 가시 광 스펙트럼에 있으므로, 상업적으로 입수가능한 MMA들은 (400 nm 내지 800 nm 사이의) 전자기적 방사의 가시 대역에 대하여 최적화된다. 반도체 프로세싱에서의 조절을 필요로 하는 응용들의 대부분은 더 짧은 파장들을 요구한다. 193 nm 및 248 nm의 파장들이 전형적이다. 그러나, 이 더 짧은 파장에서의 광은 가시 광보다 더 많은 에너지이고, 어떤 MMA 디바이스들을 손상시킬 수 있다.

[0010] 도 1은 deVilliers에서 설명된 타입의 디지털 광 프로세서를 위한 투영 이미징 시스템을 도시한다. 방사 소스(radiation source)(101), 예를 들어, UV 방사를 방출하는 발광 다이오드 디바이스(light emitting diode device; LED)로부터의 광은 MMA 디바이스(104)를 실질적으로 균일하게 조명하는 빔(103)으로 렌즈(102)에 의해 콜리메이팅(collimate)된다. MMA 디바이스(104)는 전자 시스템(도시되지 않음)에 의해 희망하는 패턴들로 구동된다. 렌즈(107)는 기판 홀더(111)에 척킹(chuck)되는 기판(109) 상으로 상기 MMA 패턴의 이미지를 형성한다. 도면에서, MMA 패턴은 MMA 디바이스(104) 상의 예시적 포인트(105)로부터 이미지 빔(106)을 생성하도록 도시되어 있고, 그 다음으로, 투영 렌즈(107)에 의하여 투영 빔(108)을 통해 기판(109) 상의 대응하는 포인트(110) 상으로 투영된다. 결국, MMA 디바이스(104) 상의 많은 다른 예시적 포인트들은 널리-공지된 이미징 광학과 부합하는 방식으로, 기판(109) 상의 대응하는 포인트들로 투영하도록 구해질 것이다. 이 방법으로, MMA 디바이스(104)에 의해 생성된 전체 패턴은 기판(109) 상의 대응하는 이미지로 동시에 투영된다. 렌즈(107)의 촛점 길이, MMA 디바이스(104)까지의 렌즈(107)의 거리, 및 기판(109)까지의 렌즈(107)의 거리에 따라서는, 기판(109) 상의 이미지가 렌즈 이론의 널리-공지된 원리들에 따라, MMA 디바이스(104) 상의 이미지에 대한 크기에 있어서 감소되거나 확대될 수도 있다.

[0011] 예를 들어, 레이저에 의해 생성된 빔을 이용하여 기판들을 프로세싱하기 위한 주사 광 빔들의 일반적인 이용이 당해 분야에서 공지되어 있다. 표면 패턴화 또는 수정을 위하여 주사된 레이저 빔들을 이용하는 많은 방법들이 당해 분야에서 설명되었다. 전형적인 응용은 예를 들어, 어닐링(annealing)을 제공하거나 작은 표면 양각 피처들을 달성하기 위하여, 재료를 용융(melt)하거나 절제(ablate)함으로써 표면들 또는 표면 막들을 수정한다.

[0012] 레이저들의 가장 조기의 상업적인 응용들 중의 하나는 Western Electric Engineering Research Center(1965)에 의해 만들어진, 다이아몬드 다이들에서 구멍들을 드릴링하기 위하여 이용된 생산 레이저 절단 머신(production laser cutting machine)이었다. 1967년에는, 영국이 금속들에 대한 레이저-보조된 산소 제트 절단(laser-assisted oxygen jet cutting)을 개척하였다. 1970년대의 초반에는, 레이저 기술이 항공우주 응용들을 위하여 티타늄을 절단하기 위한 생산에 투입되었다. 상이한 재료들을 절단하기 위하여 이용된 상이한 타입들을 갖는 레이저들을 이용하여 절단하기 위한 많은 상이한 방법들이 있다. 방법들의 일부는 증발, 용융, 및 블로우(blow); 용융, 블로우, 및 번(burn); 열적 응력 크랙킹(thermal stress cracking); 스크라이빙(scribing); 냉각 절단(cold cutting); 및 버닝 안정화된 레이저 절단(burning stabilized laser cutting)이다. 이 방법들의 개요에 대하여, https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_cutting을 참조한다.

[0013] 반도체 제조 시에, 상업적인 레이저 프로세싱 툴들(예를 들어, Ultratech LSA100A)은 극히-얕은(ultra-shallow) 접합 및 고도로 활성화된 소스/드레인 콘택트들을 제작하는 어려운 도전에 대한 해결책들을 제공한다. 레이저 스파이크 어닐링(Laser Spike Annealing; LSA)은 1,350℃에 이르는 온도에서 순간-근접 타임프레임(near-instantaneous timeframe)들에서 동작한다. 이 온도에서는, 최소 확산을 갖는 도펀트(dopant)들의 거의 완전한 활성화가 마이크로초 타임프레임들에서 달성된다. 레이저 빔들은 또한, 화학적 수정을 제공할 수 있거나, 기판 상에서, 또는 그 상에 도포된 박막들에 발생하도록 화학적 제거 또는 증착을 유도할 수 있다. 많은 양의 에너지를 재료의 국한된 영역들로 정확하게 전달하기 위한 레이저들의 능력은 벌크(bulk)를 변경하지 않으면서, 표면 화학작용, 결정 구조, 및/또는 멀티스케일 모폴로지(multiscale morphology)의 수정을 허용한다. 이러한 응용들의 개요는 레이저 정밀도 마이크로제작의 13 장; 편집자들: Koji Sugioka, Michel Meunier, 및 Alberto Pique; ISBN: 978-3-642-10522-7(인쇄본), 978-3-642-10523-4 (온라인), 2010에 포함된다.

[0014] 주사 포토리소그래피(scanning photolithography)로 칭해진 프로세스는 예를 들어, 후속하는 단계가 표면 토포그래피(topography) 또는 피처들을 제거하거나, 그렇지 않을 경우에 드러낼 수 있도록, 기판 상의 표면 또는 표면 막의 화학작용을 변경한다. 예를 들어, 주사 포토리소그래피는 포토마스크들의 생산에서 이용되고, 여기서, 그것은 콘택트 또는 투영 포토리소그래피의 널리-공지된 프로세스들을 이용하여 기판 상으로의 후속하는 복제를

위한 임의적인 패턴들을 생성한다. 2004년에 도입된 Applied Materials ALTA(R) 4700 마스크 패턴 생성 시스템(Mask Pattern Generation system)은 90 nm 및 대부분의 65 nm 임계적 레벨들에 대한 마스크 층들을 산업에 제공하였다. 이 시스템, 레이저-기반 DUV ALTA 4700은 우수한 마스크 분해능, 패턴 충실도, 임계 치수 제어, 및 배치 성능을 제공하는 42x, 0.9 NA 대물 렌즈를 특징으로 하였다. http://www.appliedmaterials.com/company/news/press-releases/2004/11/applied-materials-new-alta-4700-laser-mask-writer-takes-on-65nm-critical-layer-manufacturing 참조. Applied Materials 기술은 예를 들어, 미국 특허 제5,386,221호 및 제7,483,196B2호에서 설명된다.

[0015] 대안적으로, 스웨덴 회사 Mycronic, AB는 주사 포토리소그래피를 디스플레이 기술 및 진보된 전자 패키징 응용들에 적용하고 있다. 이 기술은 예를 들어, 미국 특허 제8,822,879B2호 및 미국 특허 출원 공개 제US20150125077A1호에서 설명된다.

[0016] 주사 포토리소그래피를 디스플레이 기술 및 진보된 전자 패키징 응용들에 적용하기 이전에, Mycronic은 (Micronic의 명칭 하에서) 주사 포토리소그래피를 마스크 층들의 제조에 적용하였다. 이 기술은 예를 들어, 미국 특허 제6,624,878B1호, 제7,446,857B2호, 및 제8,958,052B2호에서 설명된다.

[0017] 주사 포토리소그래피 동안, UV 광의 포커싱된 빔은 주사되고, 포토레지스트 또는 레지스트로 칭해진 박막 상으로 지향되고, 그 다음으로, 광에 의해 수정(또는 노출)되어, 높은 분해능의 마이크로- 또는 나노-스케일 패턴들로 귀착된다. 여기서, UV 광은 레지스트 분자들에서의 결합들을 파괴하거나 교차 링크(cross link)함으로써 막을 화학적으로 수정한다. 후속하는 화학적 현상 프로세스 동안, 막의 노출된 영역들은 포지티브 포토레지스트의 경우에 대하여, 화학적으로 제거되는 반면, 노출되지 않은 포토레지스트 막의 영역들은 남아 있다. 네거티브 포토레지스트의 경우에는, 노출을 받지 않았던 영역들이 화학적으로 제거되고, 노출을 받은 영역들은 남아 있다. UV 광 빔들을 이용하여 임의적인 패턴들을 갖는 기판 막들을 노출할 목적을 위한 이러한 빔 주사 툴의 예는 Applied Materials, Inc.에 의해 제조된 ALTA 포토마스크 패턴화 툴이다. 그 툴은 기판에 걸쳐 빔들을 주사하기 위하여 스피닝 다각형 미러 휠(spinning polygonal mirror wheel)을 이용한다.

[0018] 이러한 빔 주사 방식들은 기판 상에서 패턴들의 어레이를 생성하도록 전형적으로 추구하고, 상기 패턴들은 작은 것으로부터 큰 것까지의 다양한 크기들인 피처들로 이루어진다. 최소 피처들을 가능한 한 작게 하기 위한 강한 희망이 있다. 종래 기술의 주사에서는, 최소 피처 크기가 전형적으로 빔의 크기와 유사하거나, 빔의 크기보다 약간 더 크다. 레이저 빔 표면 패턴화를 위하여, 희망하는 최소 표면 피처는 (예를 들어, 4 내지 9 사이의) 작은 수의 픽셀들로 분해될 수도 있다. 전형적으로, 이 경우, 빔에 의해 패턴화되고 있는 최소 크기 피처는 기판 상의 빔 스폿 크기(beam spot size)와 동일한 크기이거나, 그보다 더 크다. 예를 들어, 1 마이크로미터 직경의 주사 빔 스폿은 기판 상에서 임의적인 패턴들을 생성하기 위하여 이용될 수 있고, 상기 패턴들은 대략 3 마이크로미터들의 최소 피처 크기로 임의적인 로케이션들에서 배치된다.

[0019] 빔 또는 이미지에 의한 기판 또는 기판 막으로의 에너지 입력은, 제곱 면적 당 에너지, 예를 들어, mJ/cm^2의 단위들로 전형적으로 표시되거나 측정되는 "도우즈(dose)"로서 일반적으로 지칭된다.

[0020] 일반적으로, 2 개의 주요한 타입들의 빔 주사 기법들: 벡터 주사(vector scanning) 및 래스터 주사(raster scanning)가 있다. 벡터 주사 동안, 기판 상의 패턴들은 기판 상의 빔을 하나의 임의적인 포인트 A로부터 제2의 임의적인 포인트 B로 이동시키는 빔 조향 방법(beam steering method)을 이용함으로써 생성된다. 주사 동안, 기판으로의 희망하는 에너지 입력 패턴을 달성하기 위하여, 빔은 포인트 A로부터 B로의 운동 전, 그 운동 동안, 또는 그 운동 후에, "블랭크(blank)"될 수도 있거나, 또는 급속하게 턴 온 및 오프될 수도 있다. 벡터 주사 방법에서는, 포인트 A로부터 포인트 B까지의 경로가 정의된 후, 후속하는 주사는 전체 희망하는 패턴이 기입될 때까지 급속하게 연속적으로 포인트 C로부터 포인트 D까지, E에서 F 등의 경로를 정의한다.

[0021] 다른 한편으로, 래스터 주사 동안, 빔은 직교 방향에서 기판에 걸쳐 느리게 스윕(sweep)되면서, 하나의 방향에서 기판에 걸쳐 급속하게 전후로 스윕(sweep)되어, 약간의 시간 후에, 빔은 기판 상의 모든 포인트들을 횡단하였다. 이 주사 프로세스 동안, 희망하는 패턴이 기판으로 전사되도록, 빔은 전자 제어 하에서 급속하게 블랭킹(즉, 턴 및 오프)된다.

[0022] 일부 기입 전략들은 양자의 벡터 및 래스터 주사를 조합한다(예를 들어, 미국 특허 출원 공개 제US20070075275호 참조).

[0023] 일반적으로, 양자의 주사 방식들에 대하여, 빔 온/오프 스위칭 시간(즉, 블랭킹 시간)은 레이저 빔 기입 동안에 충분히 짧아서, 주사 스폿이 기판의 충분히 작은 최소 영역에 에너지 입력을 전달할 것이라는 것이 희망된다.

이에 따라, 블랭킹 시간이 충분히 짧을 경우, 결과적인 최소 피처들의 크기는 빔의 크기에 필적할 것이다. 우리는 상기 고속 블랭킹 단계로부터 기인하는 기판 상의 최소 전달된 에너지 스폿 폭을 다운-트랙(down-track) 픽셀 크기로서 지칭한다. 기판 상에서 최적의 최소 가능한 피처 크기를 달성하기 위하여, 다운-트랙 픽셀 크기 및 빔 직경은 크기에 있어서 필적하다는 것이 희망된다. 이 경우, 최소 피처는 도트(dot) 또는 디스크(disk)와 유사할 것이다. 상기 최소 피처 크기는 1D 또는 2D 기준들을 이용하여(예를 들어, 반치전폭(full-width-at-half-max) 기준들을 이용하여) 측정될 수 있다. 최소 피처 크기는 임계 치수(CD)로서 전형적으로 지칭된다.

발명의 내용

[0024] 본원에서 설명된 바와 같이, 주사 광 빔들은 종래 기술의 경우와 같이, 일차적인 프로세스에서 최소 피처 크기(CD)들을 기입할 목적을 위해서가 아니라, 오히려, 최종적인 프로세스 제어 요건을 충족시키기 위한 일차적인 프로세스의 이차적인 조절의 목적을 위해 에너지를 기판의 영역들로 전달하기 위하여 이용된다. 예를 들어, 주사 빔들은 포토마스크 패턴화의 목적을 위해 반도체 웨이퍼 포토리소그래픽 프로세싱에 적용되었지만, 일반적으로 반도체 기판들을 패턴화하는 것에 직접적으로 적용되지는 않았다. 여기서, 반도체 기판 상으로의 포토마스크 마스크 패턴의 포토리소그래픽 복제(photolithographic replication)의 프로세스는 일차적인 프로세스이고; CD 정정의 목적을 위한 주사 광 빔들의 이용은 일차적인 프로세스의 이차적인 조절이다. 포토리소그래피 프로세스의 이차적인 조절의 경우에 대하여, 주사 빔은 CD 정정의 목적을 위해 UV 광 에너지를 포토레지스트 막으로 전달하기 위하여 이용될 수도 있다. 에칭 또는 베이킹 프로세스의 이차적인 조절의 경우에 대하여, 주사 빔은 CD 정정의 목적을 위해 가시 또는 적외선 광 에너지를 표면 또는 표면 막으로 전달하기 위하여 이용될 수도 있다.

[0025] 또한, 일차적인 프로세스의 이차적인 조절의 목적을 위해, 투영된 광 에너지를 이용하는 것에 대한 대안으로서, 주사 광 빔들의 이용이 본원에서 설명된다. 일차적인 프로세스의 이차적인 조절의 목적을 위해 투영된 광 에너지를 이용하여 웨이퍼들 상에서의 반도체 패턴화에 전통적으로 적용되는 광 소스들(예컨대, 193 nm 및 248 nm 파장들을 갖는 엑시머 레이저(excimer laser)들)의 이용은 2 개의 주요한 이유들로 주사 빔 응용들에서의 이용을 위하여 바람직하지 않다. 첫째, 그 펄스 레이트들(kHz 범위)은 본원에서 설명된 일차적인 프로세스의 이차적인 조절들과 같은 주사 빔 응용들에 대하여 전형적으로 너무 느리다. 전형적인 기판 시그니처 정정 맵은 200,000 개를 초과하는 픽셀들을 포함할 수도 있다. 2 kHz 펄스 레이트에서 픽셀 당 단지 하나의 펄스를 전달하는 것은 수정을 위한 전체 웨이퍼 표면을 노출하기 위하여 100 초가 걸릴 것이고, 그러므로, 웨이퍼를 로딩하고, 언로딩하고, 정렬하는 오버헤드 시간들을 고려하기 전에, 수율을 시간 당 37 개의 웨이퍼들로 제한할 것이다. 레이저 펄스-대-펄스(pulse-to-pulse) 변동들은 픽셀 당 다수의 펄스들을 추가로 요구할 수도 있다. 픽셀 당 100 개의 펄스들에 대한 필요성을 가정하는 것은 수율을, 임의의 상업적인 응용들에 대하여 수용불가능하게 느린, 시간 당 1보다 더 적은 웨이퍼로 감소시킬 것이다. 둘째, 기판들이 프로세싱될 수 있는 속력에 대한 극심한 제약들을 설정하는 것에 추가하여, 느린 펄스 레이트는 영향을 받을 수 있는 조절의 분해능을 추가로 제한하고, 이러한 레이저들의 높은 펄스 세기들은 포토레지스트 막들의 희망하지 않는 열적-유도된 변경 또는 손상으로 이어진다. 대조적으로, 이 개시물은 주사 광 빔들을 적용하기 위한 대안적인 타입들의 레이저들의 이용을 교시하고, 이것은 이 문제들을 회피한다.

도면의 간단한 설명

[0026] 본 발명의 실시형태들은 첨부한 도면들을 참조하여 지금부터 설명될 것이다.

도 1은 종래 기술의 투영 이미징 시스템의 도면이다.

도 2는 얇은 DUV 레지스트에서의 열 상승의 열적 모델의 결과들을 도시한다.

도 3은 공간적으로 변동하는 속성의 일 예의 기판 시그니처를 표현하는 예시도이다.

도 4는 본 발명의 실시형태에 따라 장치의 구성을 도시하는 도면이다.

도 5는 기판을 튜닝하기 위한 일 예의 주사 광 빔 시스템의 개략적인 예시도이다.

도 6은 본 발명의 실시형태에 따라 기판 시그니처 정정의 방법을 예시하는 플로우차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 본원에서 개시된 기법들은 반도체 제조 시에 프로세스 파라미터들의 이차적인 조절에서의 유용한 결과를 달성하

기 위하여 광 에너지의 변동하는 레벨들을 표면에 제공하기 위해, 예를 들어, CD 제어를 엄격하게 할 목적을 위해 UV 에너지를 어떤 구역들에 제공하기 위하여 주사된 빔을 이용한다.

[0028] deVilliers에 의해 교시된 종래 기술의 방법은 파라미터 변동들에 대해 조절하기 위하여 변조된 세기 맵을 투영한다. 픽셀 이미징 동안, 전체 웨이퍼, 또는 웨이퍼의 상당한 부분은 광학적 투영 시스템을 이용하여 능동 픽셀 디바이스(active pixel device)로부터 즉시 이미징된다. 능동 픽셀 이미징 디바이스는 마이크로 미러 디바이스일 수도 있다. 투영된 픽셀-이미징 기반 접근법들은 복잡하고 고가의 광학적 투영 시스템들을 요구할 수도 있고, 파장 또는 세기 한정들로 인해 상업적으로 입수가능한 픽셀 이미저(pixel imager)들로 달성하기가 어려울 수도 있다. 최종적으로, 그것들은 상업적으로 매력적인 것보다 더 큰 체적의 공간 및/또는 더 고가의 시스템을 요구할 수도 있다.

[0029] 본원에서 설명된 바와 같이, 주사 빔 접근법은 희망하는 결과를 제공하지만, 투영된 픽셀 이미징 디바이스의 이용을 회피한다. 그 대신에, 스캐너(scanner)로 칭해진 기계적 또는 전기-광학적 주사 디바이스는 빔 또는 작은 수의 빔들이 기판을 직렬로 횡단하게 한다. 다양한 실시형태들에서, 스캐너는 단독으로 또는 조합하여 이용된, 다음 종류들의 널리-공지된 주사 디바이스들을 이용할 수도 있다:

[0030] 육각형 미러와 같은, 스피닝 다면형 미러(spinning multi-faceted mirror);

[0031] 검류계 주사 미러(galvanometer scanning mirror);

[0032] 음향-광학 변조기 빔 편향기(acousto-optic modulator beam deflector);

[0033] 전기-광학 변조기 빔 편향기(electro-optic modulator beam deflector);

[0034] MEMS 주사 미러; 및

[0035] 압전 주사 미러(piezo electric scanning mirror).

[0036] 본원에서 논의된 기법들은 연속파(continuous wave; CW) 레이저 소스 또는 펄스화된 레이저 소스(pulsed laser source)를 이용할 수도 있다. 그러나, 자외선(UV) 범위에서 본 발명을 실시하는 경우에 대하여, CW 툴들은 일부 단점들을 가질 수도 있다.

[0037] UV 범위에서의 CW 레이저들은 주파수 증배 또는 주파수 변환으로 또한 칭해진, 추후에 빔 파장 분할되는 상대적으로 긴 파장 광으로 시작하기 위한 필요성으로 인해 대형이고 고가인 경향이 있다. 이 기법은 UV 범위에서 긴 파장 레이저 빔들을 더 짧은 파장 빔들로 변환하는 통상적으로 실시된 방법이다. (물리학 원리들로부터, 파장 및 주파수는 역으로 관련되고, 동등하게 논의될 수 있다는 것에 주목함.) 주파수 증배 변환 프로세스는 높은 세기 및 우수한 빔 품질의 긴 파장 빔들이 예를 들어, 1 내지 2 마이크론 파장 대역에서 동작하는 다이오드-펌핑된 고체 상태(diode-pumped solid state; DPSS) 레이저를 이용함으로써 저렴하게 생성될 수 있기 때문에 바람직하다.

[0038] DPSS 레이저 빔들 및 다른 종류들의 레이저 빔들의 주파수 변환을 위한 바람직한 방법은 레이저 빔들을 긴 파장들로부터 짧은 파장들로 변환하는 소위 주파수 배수화 또는 주파수 혼합 결정들(예를 들어, "Optical Waves in Crystals," A. Yariv and P. Yeh, Wiley-Interscience, 1984에서의 Chapter 12 참조)을 사용한다. 이 디바이스들은 빔 세기가 증가함에 따라 그 효율을 강력하게 증가시킨다. CW 빔들은 전형적으로 낮은 세기를 가지므로, 주파수 증배 프로세스는 비효율적이고, 이것은 광 손실 및 열 생성으로 귀착된다. 이러한 이유로, 주파수 변환을 편입시키는 CW 레이저들은 대형이고, 고가이고, 비효율적인 경향이 있다.

[0039] CW 레이저에 대한 대안은 펄스화된 레이저, 예를 들어, Q 스위칭된 레이저이다. 주어진 레이저 평균 파워 레벨(power level)에 대하여, 펄스화된 레이저는 펄스화 동안의 빔의 높은 피크 세기로 인해 긴 파장 광자(photon)들을 짧은 파장으로 더 효율적으로 변환할 것이다. 이러한 이유로, 주파수 변환을 편입시키는 펄스화된 레이저들은 유사한 평균 파워의 CW 레이저보다 더 간결하고, 덜 고가이고, 더 효율적인 경향이 있다.

[0040] 펄스화된 또는 CW 레이저 빔들은 픽셀-이미지 기반 투영 방식들에서 용이하게 이용될 수 있다. 그러나, 빔이 기판을 가로질러 급속하게 주사할 때, 펄스화된 빔은 짧은 주기들 동안에 오직 온(on)일 것이어서, 기판의 오직 격리된 아일랜드(island)가 노출될 것이라는 이유로, 동일한 목적을 위해 기판을 패턴화하기 위한 빔 주사를 갖는 일부 UV 레이저들로부터의 펄스화된 빔들을 이용하는 것은 더 문제가 있다. 게다가, 주사 속력이 충분히 느리거나, 빔이 충분히 커서, 기판의 매 부분이 적어도 하나의 레이저 펄스를 보더라도, 오직 몇몇 펄스들이 기판의 주어진 구역을 노출시킬 경우에는, 증착된 에너지(mJ/cm^2)의 통계적 제어가 열악할 수도 있다. 이것은 부분

적으로, 펄스화된 레이저들이 전형적으로 1% 내지 5% 사이의 일부 양의 펄스-대-펄스 에너지 지터(energy jitter)를 가지는 경향이 있기 때문이다. 펄스들의 더 긴 스트링들에 대한 평균화는 더 낮은 통계적 등락을 갖는 개선된 평균 도우즈로 귀착된다. CD 변동을 제어하기 위하여, 패턴화 동안에 낮은 도우즈 등락을 가지는 것이 바람직하다. 수율을 증가시키고 비용을 감소시키기 위해서는, 급속한 기입 프로세스 및 에너지 증착의 매우 낮은 통계적 편차를 가지는 것이 바람직하다. 이러한 이유로, 어떤 통상적인 펄스화된 레이저 빔들은 일부 상황들에서, 본원에서 설명된 바와 같은 기판을 패턴화하기 위한 빔 주사를 위하여 바람직하지 않을 수도 있다.

[0041] 예를 들어, UV 및 딥 UV(deep UV) 포토리소그래피를 위해 종종 이용되는 레이저의 타입은 예를 들어, 305 nm, 248 nm, 193 nm, 및 157 nm의 전형적인 파장들을 갖는, 상업적으로 입수가능한 엑시머 레이저이다. 이 레이저들은 수 킬로헤르쯔, 예를 들어, 5 kHz의 펄스 레이트 및 나노초(nanosecond), 예를 들어, 10 ns의 펄스 폭을 가진다. 펄스화된 엑시머 빔이 기판, 예를 들어, 300 mm 직경의 실리콘 웨이퍼 상에서 이동하는 것을 수반할 수도 있는 반도체 생산 프로세스를 고려하고, 여기서, 에너지 증착의 목적을 위해, 0.3 mm 직경의 빔이 기판을 가로질러 주사되는 주사 프로세스를 가지는 것이 희망된다. 이 응용에 대하여, 웨이퍼는 0.3 mm 직경의 스폿(spot)들 또는 픽셀들로 분할될 수 있다. 노출 도우즈의 1% 제어를 위하여, 픽셀 당 적어도 100 개의 펄스들을 가지는 것이 희망될 수도 있다. 전체 웨이퍼에 대하여, 이것은 총합하여 대략 $100*(30\ cm/0.03\ cm)^2 = 10^8$ 개의 펄스들을 암시한다. 5 kHz에서의 엑시머 펄스화를 위하여, 이러한 웨이퍼 노출은 20,000 초가 걸릴 것이다. 그러나, 반도체 프로세싱을 위하여, 60 초 미만, 또는 심지어 10 초 미만으로 총 웨이퍼 노출의 완료를 희망하기 위한 상업적인 이유들이 있다.

[0042] 또 다른 예에서, Q-스위칭된 고체-상태 레이저로 칭해진 레이저의 타입이 고려된다. 이 타입의 레이저는 전형적으로, 5 내지 100 kHz 사이의 주파수들로 펄스화하고, 전형적으로, 수십 나노초의 펄스 폭을 가진다. 이 타입의 레이저에 대한 레이저 평균 파워는 전형적으로 30 내지 50 kHz 사이의 펄스 주파수들에 대하여 피크로 된다. 예를 들어, 펄스화된 Q-스위칭된 빔이 기판, 예를 들어, 300 mm 직경의 실리콘 웨이퍼 상에서 이동하는 것을 수반할 수도 있는 반도체 생산 프로세스를 고려하고, 여기서, 에너지 증착의 목적을 위해, 0.3 mm 직경의 빔이 기판을 가로질러 주사되는 주사 프로세스를 가지는 것이 희망된다. 이 예에 대하여, 이전의 예에서와 같이, 웨이퍼는 대략 10^8 개의 펄스들을 요구할 것이다. 50 kHz에서의 Q-스위칭된 레이저 펄스화를 위하여, 웨이퍼 노출은 2,000 초가 걸릴 것이다. 다시, 그러나, 반도체 프로세싱을 위하여, 60 초 미만, 또는 심지어 10 초 미만으로 총 웨이퍼 노출의 완료를 희망하기 위한 상업적인 이유들이 있다.

[0043] 최종적으로, 또 다른 예에서, 모드 록킹된 레이저(mode locked laser)로 칭해진 레이저의 타입이 고려된다. 이 레이저는 그것이 전형적으로, 수 메가헤르쯔 레이트, 예를 들어, 100 MHz 또는 심지어 1 GHz에서 펄스화하도록 설계된다. 펄스화된 모드-록킹된 빔이 300 mm 직경의 실리콘 웨이퍼 상에서 이동하는 것을 수반할 수도 있는 반도체 생산 프로세스를 고려하고, 여기서, 에너지 증착의 목적을 위해, 0.3 mm 직경의 빔이 기판을 가로질러 주사되는 주사 프로세스를 가지는 것이 희망된다. 이 예에서는, 이전의 예와 유사하게, 웨이퍼가 대략 10^8 개의 펄스들을 요구할 것이다. 100 MHz에서의 모드 록킹된 레이저 펄스화를 위하여, 웨이퍼 노출은 1 초가 걸릴 것이다. 이러한 짧은 노출 시간은 높은 레이트의 생산을 허용한다. 이러한 이유로, 모드 록킹된 레이저는 종종 본 발명의 실시형태들에 따른 펄스화된 빔 주사 프로세스들에 대한 바람직한 선택이지만, 더 낮은 수율(시스템 스루풋)이 고려된 응용들에 대하여 상업적으로 수용가능할 경우에, 다른 타입들의 레이저가 또한 이용될 수 있다.

[0044] 빔을 블랭킹하는, 특히, 주사 빔을 블랭킹하는 많은 방법들이 당해 분야의 당업자들에게 공지되어 있다. 일반적으로 실시된 바와 같이, 기판 상에서 주사하는 특정한 세기의 빔은 전혀(또는 낮은) 파워를 받아들이지 않는 어떤 구역들 상에서 블랭킹될 수도 있고, 100% 파워를 받아들이는 다른 구역들 상에서 비블랭킹(unblank)될 수도 있다. 이것은 기판 상에서 생성된 이진 패턴(binary pattern)으로 귀착된다. 그러나, 본 발명의 실시형태에 따르면, 이진 패턴이 아니라, 그레이 스케일 패턴(grey scale pattern)을 가지는 것이 희망되고, 여기서, 기판의 각각의 구역은 희망하는 레벨의 증착된 에너지를 받아들인다. 우리는 이 프로세스 빔을 그레이 스케일 블랭킹(grey scale blanking; GSB)으로 칭한다. GSB 프로세스가 성공하도록 하기 위하여, 그것은 특정한 응용에 의해 요구된 정밀도까지, 각각의 픽셀로 증착된 에너지의 양을 제어할 수 있어야 할 뿐만 아니라, 빔이 픽셀들 사이를 통과하는 레이트를 맞추기 위해 충분한 속력으로 희망하는 파워 레벨들 사이에서 빔을 전이시킬 수도 있어야 한다. 예를 들어, 기판이 10^6 개의 픽셀들로 분할되었고, 10 초 내에 기판을 주사하는 것이 희망될 경우, GSB 기법은 $10/10^6$ 초와 비교하여 작은 시간, 또는 10 마이크로초 미만, 예를 들어, 1 마이크로초 내에 개별 파

워 상태들 사이에서 빔을 전이시킬 수 있어야 한다.

[0045] CW 레이저의 경우에 대하여, GSB를 달성하는 몇몇 방법들이 있다. 세기 변조로 칭해진 하나의 방법은 빔의 투과 또는 반사의 급속한 변화들이 가능한 광학적 디바이스를 사용한다. 예를 들어, 음향-광학 변조기, 전기-광학 변조기, 액정 변조기, 또는 MEMS-기반 변조기가 이 목적을 위해 이용될 수도 있다. 음향-광학 변조기(acousto-optic modulator)("AOM") 디바이스는 예를 들어, 소위 1차 빔을 투과할 것이고, 여기서, 상기 빔의 세기는 디바이스에 적용되는 RF 파워에 비례한다. AOM 디바이스들은 1 마이크로초와 비교하여 작은 시간 내에 빔 파워 투과 레벨들 사이에서 전이할 수 있다.

[0046] CW 빔을 위한 GSB를 달성하는 또 다른 방법은 펄스 폭 변조(pulse width modulation; PWM)로 칭해진다. 이 경우, 픽셀들 사이의 통과 시간보다 더 작은 시간 스케일에서, 빔의 0%(또는 최소) 또는 100%(또는 최대) 투과가 가능한 블랭킹 디바이스가 이용된다. 예를 들어, 음향-광학 변조기, 전기-광학 변조기, 액정 변조기, 또는 MEMS-기반 변조기가 이 목적을 위해 이용될 수도 있다. 각각의 픽셀 로케이션에서, 빔은 픽셀들 사이의 통과 시간의 희망하는 백분율인 시간 동안에 최대 상태로 전이되고 제어된다. 예를 들어, 특정한 픽셀이 최대 도우즈에 대한 미량의 도우즈 F를 가지도록 희망되고, 빔이 시간 T 내에 픽셀들 사이를 통과할 경우, 또한, T에 의해 주어진, 빔이 실질적으로 픽셀 상에 있는 시간 동안, 빔은 그것이 시간 T*F 동안에 최대 세기로, 그리고 시간 T*(1-F) 동안에 최소 세기로 체류하도록 시간 내에 변조되어야 한다. 이 경우, 블랭킹 변조기는 픽셀들 사이의 전이 시간보다 훨씬 더 빠른 레이트에서 최소 및 최대 상태들 사이에서 전이할 수 있어야 한다. 예를 들어, D의 미량의 정밀도로 최소 및 최대 도우즈 값들 사이의 픽셀 도우즈의 제어를 획득하는 것이 희망될 경우, 최소 및 최대 상태들 사이의 전이의 속력은 D*T보다 더 빨라야 한다.

[0047] PWM을 위한 빔 블랭킹 디바이스들은 Q 스위칭된 또는 모드 록킹된 레이저와 같은 펄스화된 레이저와 함께 이용될 수도 있다. 그러나, 일부 Q 스위칭된 또는 모드 록킹된 레이저들은 생성된 펄스들의 레이트를 게이팅(gate)하기 위하여 내부 빔 블랭킹 디바이스를 사용한다. 예를 들어, 음향-광학 변조기(AOM) 또는 전기-광학 변조기(Electro-Optic Modulator; EOM) 디바이스는 이 목적을 위해 레이저에서 내부적으로 사용될 수도 있다. 이 경우, 레이저 주사 동안 PWM 도우즈 제어의 목적을 위한 외부 빔 블랭킹 디바이스는 레이저가 예를 들어, 외부 전자 신호에 의해 제공된 그 내부 빔 블랭킹 컴포넌트의 제어 수단을 제공할 경우에 회피될 수도 있다.

[0048] 예를 들어, 모드 록킹된 레이저에 의해 제공된 펄스화된 빔들은 세기 또는 PWM 변조 방식들의 어느 하나에 의해 그레이-스케일 블랭킹될 수도 있다. 그러나, 레이저 펄스들 사이의 시간과 픽셀들 사이의 빔의 통과 시간 사이의 상대적인 차이에 대해 특정한 주의가 기울여져야 한다. 펄스화된 빔에 의한 세기 변조를 이용할 때, 예를 들어, 픽셀 당 적어도 하나의 펄스를 가지는 것이 희망된다. 작은 수의 펄스들이 각각의 픽셀에 할당될 경우, 픽셀 레이트에 의해 게이팅된 바와 같은 세기 변조 전이들의 레이트는 각각의 픽셀이 동일한 수의 펄스들을 받아들이도록, 레이저 펄스들의 레이트와 사려깊게 동기화되어야 한다. 이 조건이 위반될 경우, 픽셀 도우즈에서의 수용불가능한 지터가 발생할 수도 있다. 펄스화된 빔에 의한 PWM의 이용은 큰 수의 레이저 펄스들이 픽셀들 사이의 통과 시간 동안에 발생할 경우에 바람직하다. 작은 수의 레이저 펄스들이 픽셀 통과 시간 동안에 발생할 경우, 정밀한 동기화가 픽셀 레이트와 펄스 레이트 사이에서 달성되지 않으면, 양호한 도우즈 제어를 달성하는 것은 어려울 수도 있다. 이것은 개별적인 레이저 펄스들의 매우 짧은 기간으로 기인하여, PWM 변조 디바이스는 개별적인 레이저 펄스들을 선택할 수도 있지만, 미량의 레이저 펄스를 선택함에 있어서 어려움을 가질 수도 있다. 예를 들어, 레이저가 빔이 하나의 픽셀을 통과하는데 걸리는 시간 내에 10 개의 펄스들을 생성할 경우, PWM 변조를 이용할 때의 픽셀 도우즈 제어의 세분화도(granularity)는 정밀한 동기화가 달성되지 않을 경우에는 10%일 수 있다. 이것은 열악한 도우즈 제어로 귀착될 것이다.

[0049] 다른 한편으로, 레이저 펄스 레이트가 큰 수의 펄스들이 픽셀 통과 시간 동안에 발생하도록 충분히 높을 경우, 픽셀 도우즈 지터는 정밀한 동기화의 부재 시에도, PWM 방식을 이용할 때에 작을 것이다. 예를 들어, 레이저가 빔이 하나의 픽셀을 통과하는데 걸리는 시간 내에 1000 개의 펄스들을 생성할 경우, PWM 변조를 이용할 때의 픽셀 도우즈 제어의 세분화도는 0.1%일 것이다.

[0050] 펄스화된 레이저에 의한 세기 변조 기법을 이용할 때, 레이저가 픽셀 통과 시간 동안에 작은 수의 펄스들을 생성할 경우에는, 펄스화된 레이저들이 전형적으로 작은 펄스 에너지 지터를 갖는 개별적인 펄스들을 생성하므로, 도우즈 제어가 여전히 열악할 수도 있다. 예를 들어, 단일 펄스가 각각의 픽셀에 할당되는 세기 변조 기법에서 이용될 때, 펄스 에너지에서의 1% 펄스-대-펄스 지터를 갖는 펄스화된 레이저는 1% 픽셀 도우즈 에러로 귀착될 것이다. 다른 한편으로, 1000 개의 펄스들이 각각의 픽셀에 할당될 경우, 1% 지터가 1000 개의 펄스들에 대하여 평균화될 것이므로, 픽셀 도우즈 에러는 훨씬 더 낮을 것이다.

[0051] 위에서 논의된 이유들로, 세기 변조 또는 PWM 변조 기법들의 어느 하나에 의한 펄스화된 레이저들을 이용할 때에는, 픽셀들 사이의 통과 시간 동안에 큰 수의 펄스들을 생성하는 레이저를 이용하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 10^6 개의 픽셀들을 갖는 기판이 10 초 내에 주사되도록 희망할 경우, 픽셀 통과 시간 당 10 개보다 더 큰, 또는 심지어 100 개보다 더 큰 펄스들을 생성하는 레이저는 수용가능한 도우즈 제어를 달성하기 위하여 바람직할 수도 있다. 이 경우, 레이저는 1 MHz보다 더 큰, 또는 심지어 10 MHz보다 더 큰 레이트에서 펄스들을 생성해야 한다.

[0052] 픽셀-투영 패턴화 방식들을 이용할 때, 에너지 및 파워는 전체 기판 상에서 분포되어, UV 노출 프로세스의 부산물로서 발생하는 임의의 열은 폭넓게 그리고 균일하게 분산되고 이에 따라, 웨이퍼 척 시스템에 의해 효율적으로 멀리 전도될 가능성이 있고, 기판 포토레지스트 막의 온도에서의 상당한 증가를 야기시키지 않을 것이다. 그러나, 레지스트의 각각의 픽셀이 매우 높은 피크 펄스 파워를 갖는 빔으로 순차적으로 노출되는 펄스화된 빔 주사 기법의 경우, 레지스트에서 매우 높은 온도 펄스들을 생성할 위험이 있다. 레지스트 막에서의 열적 탈선들의 효과에 대해 사려깊은 주의가 행해져야 할 필요가 있다.

[0053] 레이저 펄스들 동안에 온도 변동을 회피하는 것은 소위 화학적으로 증폭된 포토레지스트들(chemically amplified photoresists; CAR)로 통상적으로 실시되는 UV 및 딥 UV(DUV) 대역들(150 nm 내지 400 nm)에서의 포토리소그래피를 위해 중요하다. CAR 레지스트들은 UV 노출이, 추후의 열처리가 연쇄 반응에서 레지스트를 통해 확산하게 하여, 원래의 도우즈 분포를 효율적으로 증폭시키는 광-산(photo-acid)을 해제하도록 설계된다. 강렬한 UV 펄스로의 노출에 의해 레지스트 막에 전달될 수도 있는 바와 같은 조기의 열 입력은 조기의 산 확산 및 이미지 CD 제어의 손실을 야기시킬 수 있다. 따라서, 매우 엄격한 CD 제어가 반도체 제조 프로세스들 동안에 희망된다.

[0054] 도 2는 1000 nm-두께 SiO_2 층으로 실리콘 웨이퍼 상에서 코팅된 얇은 DUV 레지스트(200 nm 두께)에서의 열 상승의 열적 모델의 결과들을 도시한다. 전형적인 레지스트의 특정 파라미터들, 및 전형적인 레이저 파라미터들(30 kHz 펄스 주파수, 20 ns 펄스 길이, 및 500 mW 평균 파워를 갖는 특정 파장의 Q-스위칭된 레이저)을 이용하면, 모델은 4.6 K의 레지스트에서의 온도 상승을 예측한다. 대안적으로, 동일한 레지스트 파라미터들, 및 100 MHz 펄스 주파수, 10 ps 펄스 길이, 및 200 mW 평균 파워를 갖는 레이저 파장의 모드-록킹된 레이저를 이용하면, 모델은 단지 0.062 K의 레지스트 온도 상승을 예측한다. 이 경우, 모드 록킹된 레이저는 Q-스위칭된 레이저에 의해 생성된 것보다 100 배 더 작은 온도 상승을 생성하였다. 일반적으로, Q-스위칭된 레이저로부터 기인하는 온도 상승은 동등한 평균 파워의 모드 록킹된 레이저로 보여진 온도 상승과 비교하여 10 내지 100 배 더 높을 수 있다. 이러한 이유로, CW 레이저 또는 모드-록킹된 레이저는 포토레지스트 막들을 주사할 때에 바람직할 수도 있다.

[0055] 도 3은 deVilliers 픽셀-기반 투영 방법(미국 특허 공개 제US 2015/0146178 A1호, 도 3 참조) 또는 이 출원의 픽셀 주사 방법에 의해 정정될 수 있는, 웨이퍼 상의 CD 변동들의 전형적인 기판 시그니처를 도시한다. (의도된 값으로부터의 CD의 더 큰 편차를 표시하는) 이미지의 더 어두운 구역들은 더 밝아지도록 하기 위하여 본원에서 설명된 방법들 및 장치들을 이용하여 조절될 수 있고, 그러므로, 의도된 값들로부터의 CD의 더 작은 편차들 및 이에 따라, 더 엄격한 분포로 귀착될 수 있다.

[0056] 예시적인 실시형태

[0057] 당해 분야의 당업자는 개시된 발명의 응용이 본원에서 제공된 교시사항들을 응용함으로써 많은 특정 실시형태들에서 실현될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 특정한 실시형태가 도 4를 참조하여 설명된다. 광학적 벤치(optical bench)(400)는 예를 들어, 266 nm 또는 512 nm의 파장의 빔(402)을 방출하는 레이저(401)를 지지하고, 상기 빔은 빔 블랭킹 또는 그레이 스케일 빔 블랭킹의 목적을 위해 AOM(403)에 의해 변조된다. 그 다음으로, 상기 빔은 미러들(404 및 405)에 의해 공간 필터(406)로 지향된다. 공간 필터는 사이드 로브(side lobe)들, 잡음, 및 다른 아티팩트(artifact)들을 제거하고, 이에 따라, 빔을 더 평탄하고 더 대칭적인 상태로 렌더링하기 위하여 레이저 빔들을 클리닝(cleaning)하기 위한 당해 분야에서 널리 공지된 디바이스이다. 대칭적인 평탄한 빔은, 기판에 걸쳐 주사될 때, 누적된 에너지 도우즈의 규칙적이고 평탄한 추가를 달성하는 것을 보조하여, 에너지 증착의 증가된 제어 및 감소된 에러로 귀착된다. 공간 필터(406) 이후에, 미러들(407 및 408)은 빔을 한 쌍의 검류계 미러 스캐너들(409 및 410)로 지향한다. 제1 스캐너(409)는 X 축을 따르는 고속 주사를 제공하는 반면, 제2 스캐너(410)는 Y 축을 따르는 저속 주사를 제공한다. 이러한 방식으로 배열된 한 쌍의 검류계 스캐너들은 래스터 주사 프로세스를 수행할 수 있다. 래스터 주사를 위하여 구체적으로 설계된 쌍을 이룬 검류계 스캐너들은 많은 벤더들로부터 입수가능하다. 주사된 빔은 막 또는 표면 수정을 위한 에너지

증착의 목적을 위해 원뿔(411) 내에서 기판(412)으로 편향된다. 원뿔(411)은 스캐너들(409 및 410)에 의해 가능하게 된 빔 이동의 극단들을 표현한다.

[0058] 도면에서 도시되고 본원에서 설명된 특정한 실시형태는 본 발명을 이 특정 예에서 설명된 방법들 및 컴포넌트들로 한정하는 것으로서 해석되지 않아야 한다. 예를 들어, AOM 디바이스 대신에, EOM 디바이스가 빔 블랭킹을 제공하기 위하여 채용될 수 있다. 대안적으로, 빔 블랭킹은 레이저의 구성에 대해 내부적인 AOM 디바이스에 의해 제공될 수 있다. 또한, 한 쌍의 검류계 빔 편향기들 대신에, 한 쌍의 AOM 빔 편향기들이 이용될 수 있다. 모드-록킹된 레이저 대신에, Q-스위칭된 레이저 또는 다른 타입의 레이저가 이용될 수 있다. 당해 분야의 당업자는 막 또는 표면 수정을 위한 에너지 증착의 목적을 위해 주사 광 빔을 이용하기 위하여, 단수 및 조합하여, 본원에서 교시된 레이저들, 변조기들, 빔 편향기들, 블랭킹 방식들, 및 변조 방식들의 타입들 중의 임의의 것을 응용할 수 있다.

[0059] 도 5로 돌아가면, 주사 빔 기판 시그니처 정정 제어기(550)는 도 4에서 도시된 장치의 동작을 제어한다. 그것은 외부 통신 인터페이스(501), 예를 들어, 외부 정보를 수신할 수 있는 이더넷(Ethernet) 접속 또는 임의의 다른 타입의 네트워크 또는 다른 접속; 제어 프로세서(502); 제어 프로세서(502)를 위한 필요한 일시적인 저장을 제공하는 동작 메모리(503); 기판 시그니처 맵들, 기판 시그니처 정정 맵들, 에러 정정된 시그니처 정정 맵들, 및 선형화된 주사 파일들을 저장하기 위한, SRAM, FLASH 메모리, 자기적 또는 광학적 디스크 스토리지, 또는 임의의 다른 타입의 메모리와 같은 저장 메모리(504); 외부 센서 입력부(505); 및 빔 파워 및 위치결정을 제어하기 위하여 이용된 디지털 및/또는 아날로그 출력 신호들을 제공하는 제어 신호 출력 섹션(520)을 포함한다.

[0060] 기판 시그니처 맵은 jpeg 파일, 비트 맵(bmp) 파일, 엑셀 파일, 및 콤마 분리된 값(comma separated value; CSV) 파일을 포함하지만, 이것으로 제한되지는 않는 다양한 상이한 포맷들일 수도 있다. 일반적으로, 특정한 포맷에 관계없이, 기판 시그니처 맵은 각각의 위치 또는 픽셀에 대하여, 타겟 CD 값으로부터의 편차(즉, 그 위치 또는 픽셀 또는 위치들 또는 픽셀들의 그룹에 대한 CD 에러)를 포함한다. 기판 시그니처 정정 맵은 또한, jpeg 파일, 비트 맵(bmp) 파일, 엑셀 파일, 및 콤마 분리된 값(CSV) 파일을 포함하지만, 이것으로 제한되지는 않는 다양한 상이한 포맷들일 수도 있다. 일반적으로, 특정한 포맷에 관계없이, 기판 시그니처 맵은 각각의 위치 또는 픽셀에 대하여, 타겟 CD 값으로부터의 편차를 정정하기 위하여 요구된 파워(즉, 그 위치 또는 픽셀 또는 위치들 또는 픽셀들의 그룹에 대한 CD 에러를 정정하기 위하여 요구된 파워)의 양을 포함한다. 하나의 실시형태에서, 기판 시그니처 정정 맵은 각각의 픽셀에 대하여, 웨이퍼 상의 특정 포인트에서 레이저에 의해 전달될 필요가 있는 노출 도우즈의 값을 포함한다. 예를 들어, 노출 프로세스의 이차적인 조절의 경우에 대하여, 기판 시그니처 맵은 나노미터 단위들로 픽셀 또는 픽셀들의 그룹에 대한 CD 에러를 포함할 수도 있고, 기판 시그니처 정정 맵은 각각 밀리-주울들 또는 밀리-주울/cm^2의 단위들로 픽셀 또는 픽셀의 그룹에 대한 CD 에러를 정정하기 위하여 요구된 픽셀 당 에너지를 포함할 수도 있다. 이 예에서, 기판 시그니처 맵을 기판 시그니처 정정 맵으로 변환하는 프로세스는 포토레지스트 벤더들로부터 전형적으로 입수가능한 포토레지스트 광화학적 노출 파라미터들의 지식을 요구한다.

[0061] 기판 시그니처 정정 맵은 예를 들어, 당해 분야에서 공지된 바와 같이, 외부 CD 계측 시스템에 의해 생성될 수도 있고, 이더넷 접속과 같은 외부 통신 인터페이스(501)를 통한 네트워크 접속을 통해 주사 빔 시그니처 정정 제어기(550) 내의 메모리(504)로 로딩될 수도 있다. 대안적으로, 기판 시그니처 맵은 예를 들어, 외부 CD 계측 시스템으로부터 로딩될 수도 있고, 주사 빔 시그니처 정정 제어기(550)에 의해 기판 시그니처 정정 맵으로 변환될 수도 있다. 각각의 기판 시그니처 정정 맵은 단지 실제적인 노출 이전에, 웨이퍼(514)가 주사 빔 기판 시그니처 정정 제어기에 제시되는 시간과 동시에 로딩될 수도 있다. 도 6의 플로우차트에서 도시된 모든 에러 정정 단계들은 바람직하게는, 시스템의 수율에 악영향을 주지 않도록 신속하게 수행된다. 대안적으로, 다수의 2D 기판 시그니처 정정 맵들, 또는 대안적으로, (이하에서 설명된) 선형화된 및/또는 에러 정정된 노출 파일들은 메모리 내에 저장될 수 있고, 그 다음으로, 필요에 따라 노출 큐(exposure queue)로 시퀀싱(sequence)되도록 이용가능하다.

[0062] 외부 센서 인터페이스(입력부)(505)는 레이저(509)의 출력 파워의 주기적인 모니터링을 제공하는 광검출기 센서로의 접속을 가능하게 한다. 레이저들은 노출 도우즈 제어와 타협할 수도 있는 시간을 갖는 파워 출력의 느린 드리프트를 경험할 수도 있다. 레이저 파워의 센서 입력부는 기판 노출 동안에 정확한 빔 파워 제어를 달성하기 위하여 레이저 파워 제어기(506)에 의한 드리프트 보상을 가능하게 한다. 외부 센서 인터페이스(505)는 또한, 웨이퍼 위치 에러를 측정할 목적을 위해 웨이퍼 위치 또는 웨이퍼 에지 위치를 감지하는, 웨이퍼(514)의 위치를 모니터링하는 센서들, 예를 들어, 카메라 또는 광검출기(도시되지 않음)로의 접속을 가능하게 한다. 웨이

퍼 위치 에러의 보상은 이하에서 그리고 도 6에서 설명된 바와 같이 제공될 수 있다.

[0063] 제어 신호 출력부(520)는 제어 신호들을, 레이저(509)의 파워 레벨을 제어하는 레이저 파워 제어 구동기(506)로 전송한다. 제어 신호 출력부(520)는 또한, 제어 신호들을, 스캐너에서의 빔 편향기들의 x-방향 및 y-방향을 제어하는 빔 위치 구동기로 전송한다. 특히, 빔 위치 구동기의 X-방향(507)은 스캐너에서 빔 X 편향기(511)로 전송되고, 빔 위치 구동기의 Y-방향(508)은 스캐너에서 빔 Y 편향기(517)로 전송된다. 빔(510)이 빔 편향기들(511 및 512)을 횡단한 후, 주사된 빔(513)은 기판(514)으로 지향된다. 레이저 파워(506)를 제어하는 레이저 파워 제어 구동기는 레이저 제조자에 의해 요구된 적당한 입력(예를 들어, 제어 신호의 전압 또는 듀티 사이클(duty cycle))을 제공함으로써, 또는 403(도 4)과 같은 외부 음향-광학 변조기(AOM)를 이용하여 레이저 파워를 제어함으로써 그렇게 행할 수 있다. 빔 편향기들(511 및 512)은 각각 검류계들(409 및 410)로서 도 4에서 도시되어 있다. 빔 편향기들 및 레이저 파워 제어를 동작시키기 위하여 요구된 연관된 전자기기들 및 구동기들은 당해 분야에서 공지되어 있고, 도 4에서 도시되어 있지 않다.

[0064] 본원에서 설명된 시스템은 투영된 이미지가 아니라, 주사된 빔을 이용하므로, 도 3에서 도시된 개별적인 픽셀들은 바람직하게는, 시스템이 웨이퍼(514) 상의 각각의 희망하는 로케이션에서 요구된 노출 도우즈를 전달하는 것을 허용하는 선형 시퀀스(선형화된 기판 시그니처 정정 맵)에서 배열된다. 주사는 좌우교대 주사(boustrophedonic scan) 또는 단일 방향 "플라이-백(fly-back)" 주사로서 또한 공지된 "전후" 주사일 수 있고, 여기서, 노출은 오직 하나의 방향이고, 빔은 레이저 턴 오프됨으로써, 웨이퍼의 일 측으로 신속하게 돌아가게 된다. 주사는 또한, 벡터 주사 접근법을 이용할 수도 있고, 이 경우, 벡터 주사 정보는 기판 시그니처 정정 맵에서 저장된다.

[0065] 도 6으로 돌아가면, 단계(601)에서, 2D 기판 시그니처 맵 또는 기판 시그니처 정정 맵은 주사 빔 기판 시그니처 정정 제어기(550) 내의 저장 메모리(504)로 로딩된다.

[0066] 임의적인 단계(602)에서, 필요한 경우, 기판 시그니처 맵 또는 기판 시그니처 정정 맵의 포맷은 주사 빔 기판 시그니처 정정 제어기(550)에 의해 요구된 포맷으로 변환되고, 저장 메모리(504) 내에 저장된다. 예를 들어, 주사 빔 기판 시그니처 정정 제어기(550)가 맵이 비트맵 포맷일 것을 요구하지만, 로딩된 맵이 예를 들어, jpeg 포맷일 경우, 맵은 jpeg 포맷으로부터 비트맵 포맷으로 변환된다.

[0067] 단계(603)에서는, 기판 시그니처 맵이 단계(601)에서 로딩되었을 경우, 기판 시그니처 정정 맵은, 다시 예를 들어, 포토레지스트 벤더들로부터 입수가능한 정보에 기초할 수도 있는 기판 시그니처 맵에서의 그 위치에 대한 CD 에러에 대응하는 각각의 픽셀 위치에 대한 노출 도우즈의 값을 결정함으로써 생성된다. 다시, 기판 시그니처 맵은 임계 치수들(CD)의 측면에서 제공될 수도 있다. 그 다음으로, 희망하는 타겟 값으로부터의 편차들은 관찰된 CD를 타겟 CD로 이동시키기 위하여 요구되는 CD에 대한 조절에 비례하는 노출 도우즈를 배정함으로써 표현될 수 있다.

[0068] 단계(604)에서, 다수의 시간적 및 공간적 인자들 및 잠재적인 에러들은 에러 정정된 노출 파일들을 생성하기 위하여 참작될 수도 있다. 이것들은 웨이퍼 평면과의, 일부 스캐너들에 의해 생성된 빔 위치들의 교차에 관한 기하학적 인자들, 및 스캐너들의 상이한 제조 및 제어 방법들에 전형적인 빔 스캐너 파라미터들의 정적 및 동적 비-선형성 에러들을 포함한다. 이러한 주사 에러 기간들은 외부 자극에 대한 빔 스캐너들의 전자적 및 기계적 응답 시간에 의해 야기될 수도 있는 동적 에러들에 의해, 상이한 제조자들의 스캐너들 사이에서 상당히 상이할 수 있다. 바람직하게는, 이 지연들은 스캐너가 빔 파워가 제어되는 정확한 시간에 웨이퍼 상의 올바른 로케이션을 지시한다는 것을 보장하기 위하여 고려된다.

[0069] 여기에서 열거된 에러들은 에러 인자들의 완전한 리스트가 아니라, 관찰될 수도 있는 에러들의 예들이다. 추가적인 에러 정정들이 포함될 수도 있다. 희망하는 로케이션으로부터의 레이저 빔 위치의 편차를 야기시키는 임의의 에러 인자는 여기에서 설명된 방법들에 의해 포착되고 정정될 수 있다.

[0070] 단계(605)에서, 타겟(전형적으로 웨이퍼)은 그것이 올바르게 위치되고 배향되어 있는지를 결정하기 위하여 검사된다. 이것은 당해 분야의 당업자들에게 친숙한 계측 방법들로 행해질 수 있다. 그러할 경우, 단계(610)에서, 기판 시그니처 정정 맵은 하나의 실시형태에서, x-위치, y-위치, 및 주사된 타겟의 각각의 위치에 대한 요구된 도우즈로 구성되는 선형 주사 파일로 변환된다.

[0071] 노출 타겟 위치 및/또는 배향이 올바르지 않을 경우, 레이저는 잘못된 웨이퍼 로케이션에서 도우즈를 전달할 것이다. 그러할 경우, 단계(606)에서는, 에러의 통지가 제어기의 조작자에게 전송되거나, 또는 대안적으로, 제어기가 자동적으로 에러를 정정할 수도 있다. 단계(607)에서, 올바르지 않은 위치/배향은 예를 들어, 다음의 옵

션들 중의 하나 이상을 이용하여 정정될 수도 있다: (1) 예를 들어, 자동화된 로딩 로봇들을 이용하여 달성될 수 있는, 웨이퍼를 올바르게 재위치결정하는 것(단계(608)), 또는 (2) 에러들을 정정하기 위한 소프트웨어로 노출 주사 위치들을 시프트 및/또는 회전시키는 것을 통해 레이저 빔을 재위치결정하는 것(단계(609)). 정정의 선택은 시스템 능력들 및 수율 요건들의 세부사항들과 같은 다수의 인자들에 종속된다.

[0072] 단계(610)에서는, 에러 정정된 2D 기판 시그니처 정정 맵이 채용된 주사 전략(예를 들어, 플라이백, 좌우교대, 또는 벡터 주사 전략들)에 따라 빔 파워 및 스캐너들을 구동하고 제어하기 위하여 요구된 1D(선형화된) 주사 파일로 변환된다.

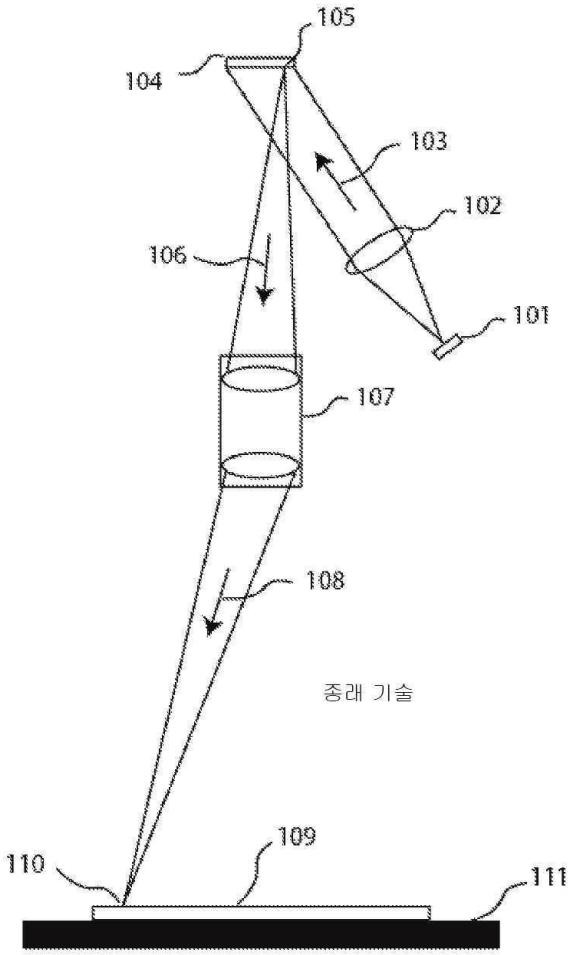
[0073] 단계(611)에서, 선형된 주사 파일에 기초하여, 에러 정정되고 선형화된 빔 위치 및 레이저 빔 에너지 값들의 선형 시퀀스는 제어기(550)에 의해, 레이저 빔의 실제적인 위치결정을 수행하고 그것이 희망하는 로케이션으로 이동할 때에 빔의 에너지 또는 파워를 제어하는, 빔 스캐너들 및 레이저 빔 에너지 제어를 위한 전자 구동기들에 제공된다.

[0074] 모든 픽셀들에 희망하는 노출 도우즈가 주어진 후, 시스템은 프로세스의 종료를 시그널링하거나, 다음 표면 수정 프로세스로 진행한다.

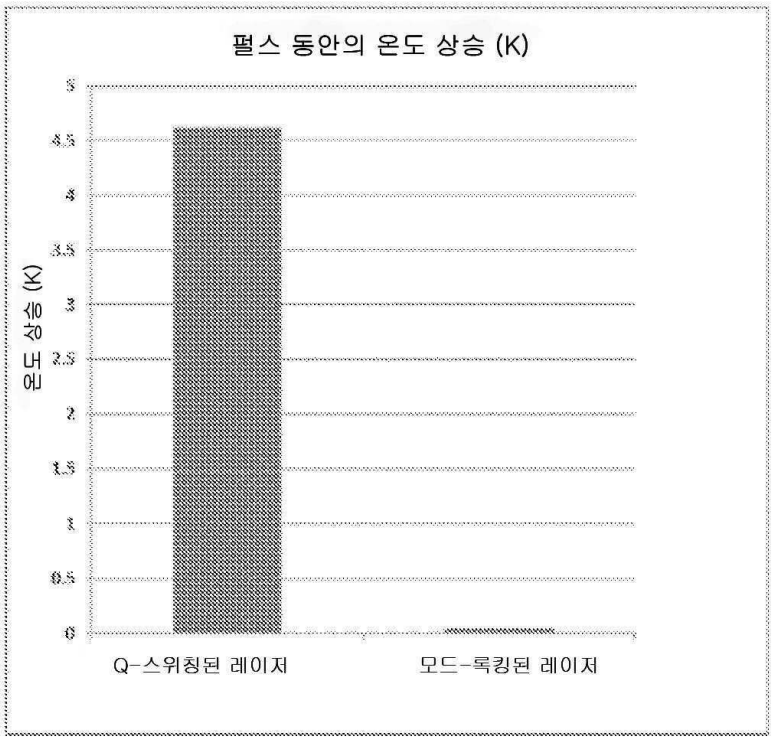
[0075] 당해 분야의 당업자들은 본 발명의 동일한 목적들을 여전히 달성하면서, 본원에서 교시된 기법들 및 장치에 대해 행해진 많은 변형들이 있을 수 있다는 것을 이해할 것이다. 이러한 변형들은 이 개시물의 범위에 의해 포괄되도록 의도된 것이다. 이와 같이, 본 발명의 실시형태들의 상기한 설명들은 제한적인 것으로 의도된 것이 아니다. 오히려, 본 발명의 실시형태들에 대한 임의의 제한들은 다음의 청구항들에서 제시된다.

도면

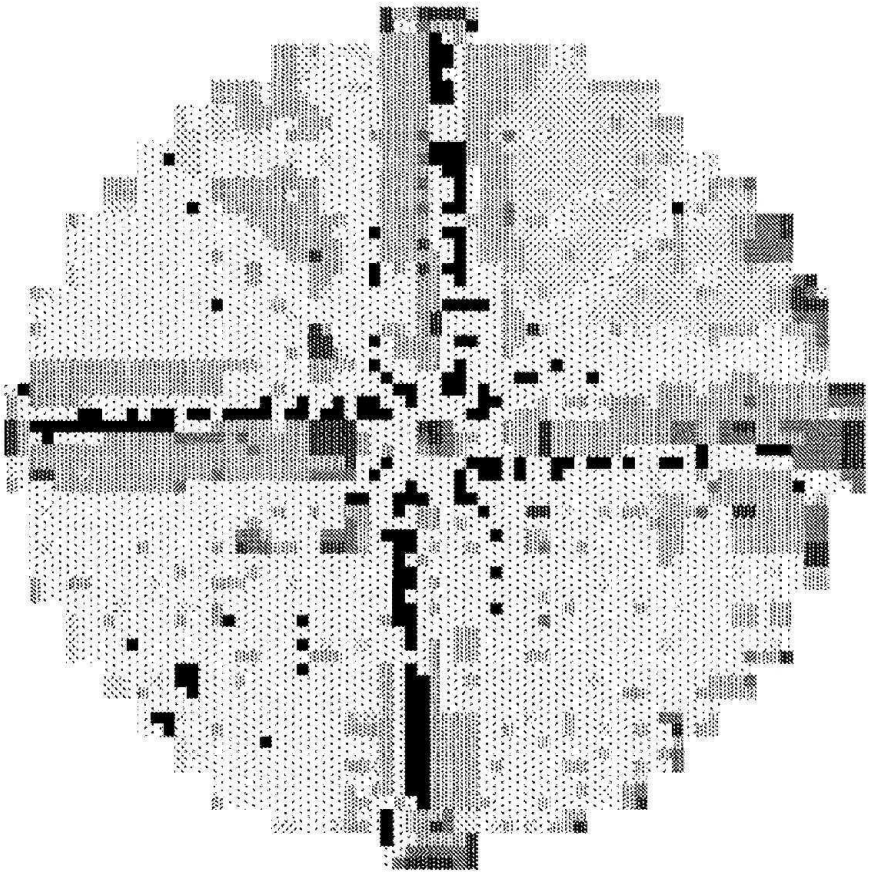
도면1



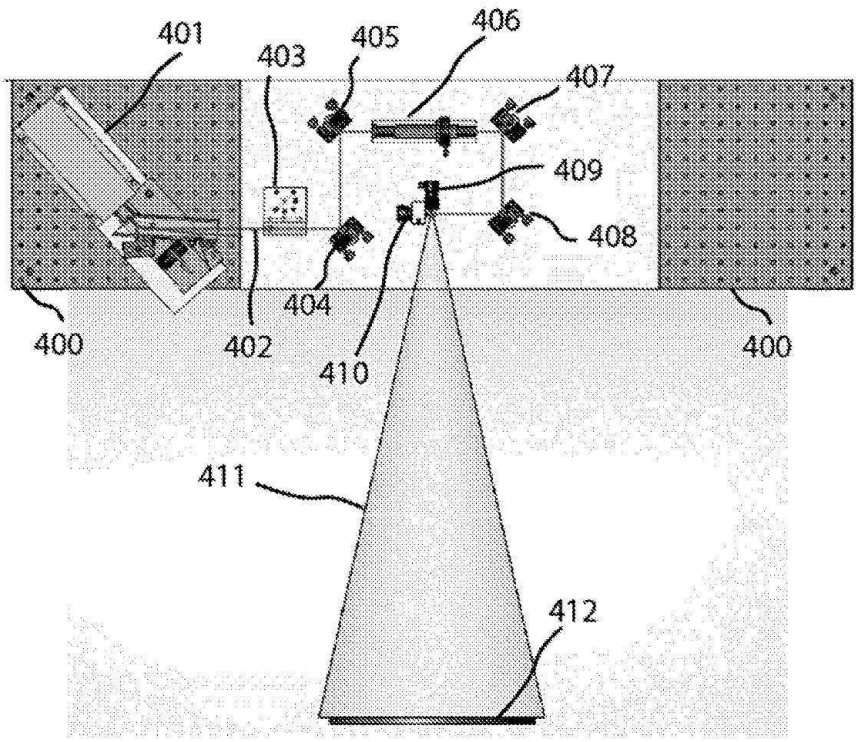
도면2



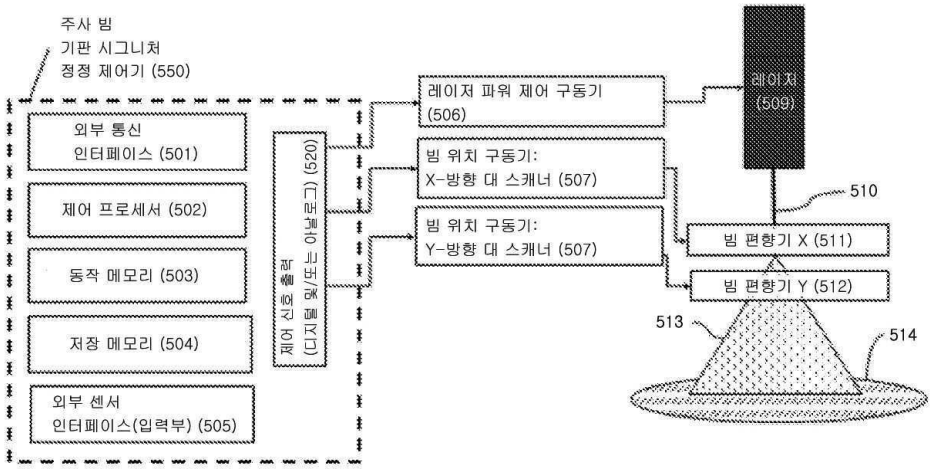
도면3



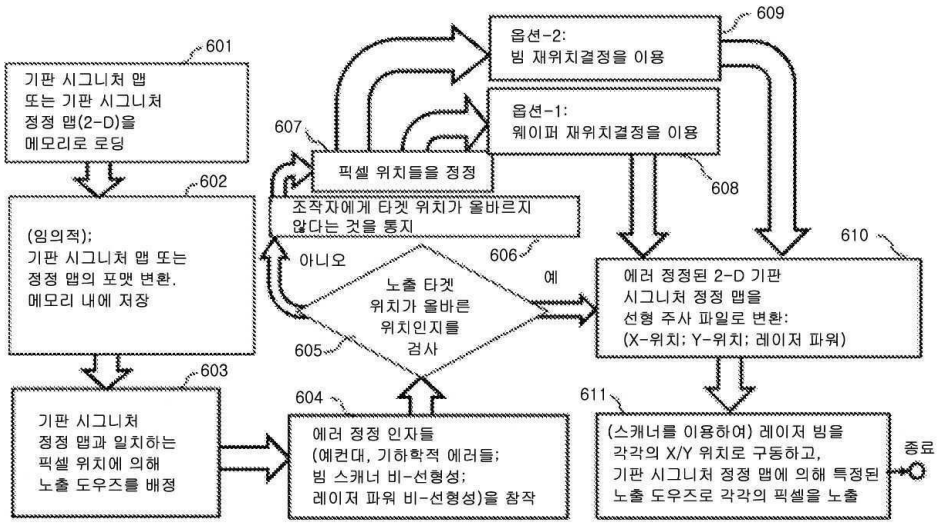
도면4


401
403
405
406
407
409
408
404
400
402
410
400
411
412

도면5


주사 빔
기판 시그니처
정정 제어기 (550)
외부 통신
인터페이스 (501)
제어 프로세서 (502)
동작 메모리 (503)
저장 메모리 (504)
외부 센서
인터페이스(입력부) (505)
제어 신호 출력
(디지털 및/또는 아날로그) (520)
레이저 파워 제어 구동기
(506)
빔 위치 구동기:
X-방향 대 스캐너 (507)
빔 위치 구동기:
Y-방향 대 스캐너 (507)
레이저
(509)
510
빔 편향기 X (511)
빔 편향기 Y (512)
513
514

도면6



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 21

【변경전】

제 13 항 및 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광 빔은 10 kHz보다 큰 펄스 레이트를 갖는, 기판을 처리하는 장치.

【변경후】

제 13 항 및 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 빔은 10 kHz보다 큰 펄스 레이트를 갖는, 기판을 처리하는 장치.

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 23

【변경전】

제 13 항 및 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광 빔은 CW 레이저, Q-스위칭된 레이저, 또는 모드-록킹된 레이저에 의해 생성되는, 기판을 처리하는 장치.

【변경후】

제 13 항 및 제 19 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 빔은 CW 레이저, Q-스위칭된 레이저, 또는 모드-록킹된 레이저에 의해 생성되는, 기판을 처리하는 장치.