



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0098097
(43) 공개일자 2022년07월11일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03F 1/74 (2012.01) G03F 1/86 (2012.01)
H01J 37/147 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
G03F 1/74 (2013.01)
G03F 1/86 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2022-0078238(분할)</p> <p>(22) 출원일자 2022년06월27일
심사청구일자 2022년06월27일</p> <p>(62) 원출원 특허 10-2020-0013768
원출원일자 2020년02월05일
심사청구일자 2020년02월05일</p> <p>(30) 우선권주장
10 2019 201 468.2 2019년02월05일 독일(DE)</p> | <p>(71) 출원인
칼 짜이스 에스엠티 게엠베하
독일 오버코헨 73447 루돌프-에버-슈트라세 2</p> <p>(72) 발명자
부다흐, 미하엘
독일, 63456 하나우, 플라이테르스트라세 42
호인키스, 오프마
독일, 64297 다름슈타트, 링스트라세 91</p> <p>(74) 대리인
(유)한양특허법인</p> |
|--|--|

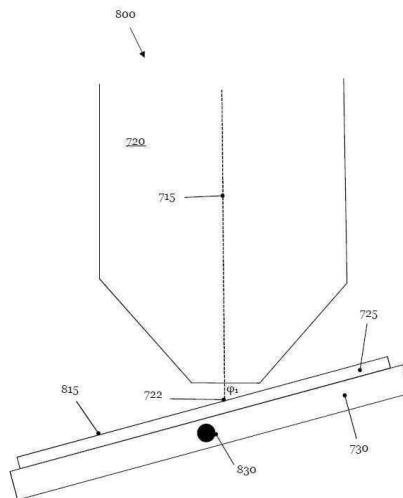
전체 청구항 수 : 총 21 항

(54) 발명의 명칭 포토리소그래피 마스크를 수리하기 위한 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)용 처리 장치(700)에 관한 것이며, 상기 장치는:(a) 상기 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500) 상에서의 국부 퇴적 반응 및/또는 국부 에칭 반응을 위해 구현되는 적어도 하나의 시변 입자 빔(410, 715);(b) 적어도 하나의 전구체 가스를 제공하기 위한 적어도 하나의 수단(740, 750, 760) - 상기 전구체 가스는 상기 국부 퇴적 반응 및/또는 상기 국부 에칭 반응 동안 상기 입자 빔(410, 715)과 상호작용 하도록 구현됨 - ; 및(c) 상기 시변 입자 빔((410, 715)과 상기 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)의 표면(115) 사이의 평균 입사각(ϕ)을 감소시키는 적어도 하나의 제 2 수단(830, 930, 1050)을 포함한다.

대표도 - 도8



(52) CPC특허분류

H01J 37/1478 (2013.01)

H01J 2237/30472 (2013.01)

H01J 2237/31732 (2013.01)

H01J 2237/31744 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)를 처리하기 위한 장치(700)로서,

- a. 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500) 상에서의 국부 퇴적 반응 및 국부 에칭 반응 중 적어도 하나를 위해 구현되는 적어도 하나의 시변(time-varying) 입자 빔(410, 715);
- b. 적어도 하나의 전구체 가스를 제공하기 위한 적어도 하나의 제 1 수단(740, 750, 760) - 상기 전구체 가스는 상기 국부 퇴적 반응 및 상기 국부 에칭 반응 중 적어도 하나 동안 상기 입자 빔(410, 715)과 상호작용 하도록 구현됨 - ;
- c. 상기 시변 입자 빔(410, 715)과 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)의 표면(115) 사이의 평균 입사각(θ)을 감소시키는 적어도 하나의 제 2 수단(830, 930, 1050);
- d. 상기 시변 입자 빔(410, 715)과 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500) 사이의 상기 평균 입사각(θ)을 감소시키도록 상기 적어도 하나의 제 2 수단(830, 930, 1050)을 제어하기 위해 구현되는 제어 장치(790)를 포함하며,
- e. 상기 제어 장치(790)는 상기 국부 퇴적 반응 및 상기 국부 에칭 반응 중 적어도 하나를 수행하기 위해 상기 적어도 하나의 전구체 가스와 상호작용 하도록 상기 시변 입자 빔(410, 715)을 제어하기 위해 더 구현되는, 장치(700).

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 제 2 수단(830, 930, 1050)은:

- 상기 입자 빔(410, 715)에 대해 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)를 틸팅(tilting)하기 위한 틸트(tilt) 장치(830);
- 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)에 대해 상기 입자 빔(410, 715)을 틸팅하기 위한 빔 소스(710)의 피벗 장치(930); 및
- 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500) 상에서 상기 입자 빔(410, 715)의 상기 평균 입사각(θ)을 감소시키기 위해 상기 입자 빔(410, 715)의 입자들에 대한 적어도 하나의 편향 장치(1050) 중 적어도 하나의 요소를 포함하는, 장치(700).

청구항 3

청구항 2에 있어서, 상기 편향 장치(1050)는 전기 편향 시스템(1130) 및 자기 편향 시스템(1030)의 그룹에서 적어도 하나의 요소를 포함하는, 장치(700).

청구항 4

청구항 2에 있어서, 상기 적어도 하나의 편향 장치(1050)는 상기 입자 빔(410, 715)의 상기 빔 소스(710)의 일부인, 장치(700).

청구항 5

청구항 2에 있어서, 상기 적어도 하나의 편향 장치(1050)는 상기 입자 빔(410, 715)의 상기 빔 소스(710)의 일부가 아닌, 장치(700).

청구항 6

청구항 3에 있어서, 상기 전기 편향 시스템(1130)은 적어도 하나의 편향 플레이트 쌍(1110, 1120)을 포함하는, 장치(700).

청구항 7

청구항 3에 있어서, 상기 자기 편향 시스템(1030)은 적어도 하나의 코일 배열을 포함하는, 장치(700).

청구항 8

청구항 2에 있어서, 상기 틸트 장치(830)는 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)를 위한 표본 스테이지(730)를 포함하고, 상기 표본 스테이지는 적어도 2개의 축을 기준으로 회전 가능하며, 2개의 상기 축은 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)의 평면에 놓이며 서로 평행이 아닌, 장치(700).

청구항 9

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 제 2 수단(830, 930, 1050)은 상기 시변 입자 빔(410, 715)과 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(830, 930, 1050)의 상기 표면(115) 사이의 평균 입사각을 5°를 초과하는 각도만큼 감소시키는, 장치(700).

청구항 10

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500) 상의 입사 지점(722, 1022, 1122)에서 상기 입자 빔(410, 715)이 0.1nm 내지 1000nm의 초점 직경을 갖는, 장치(700).

청구항 11

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 입자 빔(410, 715)은 0.1mrad 내지 1000mrad의 어퍼처 각도를 갖는, 장치(700).

청구항 12

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500) 상에서 처리될 위치(site)의 스캔 데이터를 분석하도록 구현되는 평가 유닛(785)을 더 포함하는, 장치(700).

청구항 13

청구항 12에 있어서, 상기 평가 유닛(785)은 분석된 상기 스캔 데이터로부터 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500) 상에서 상기 입자 빔(410, 715)의 평균 입사각(θ)의 적어도 하나의 변화를 결정하도록 더 구현되는, 장치(700).

청구항 14

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 제어 장치(790)는 스캔 데이터를 얻기 위해 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크를 스캔 하는 동안 상기 적어도 하나의 시변 입자 빔(410, 715)을 제어하도록 더 구현되는, 장치(700).

청구항 15

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200)의 상기 표면(115)은 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200)의 기판(110)의 표면(115)을 포함하고/포함하거나, 상기 적어도 하나의 제 2 수단(830, 930, 1050)이 동작하지 않을 때 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200)의 표면(115)에서의 상기 시변 입자 빔(410, 715)의 상기 평균 입사각(θ)은 90°인, 장치(700).

청구항 16

적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)를 처리하기 위한 방법(1700)으로서,

- a. 적어도 하나의 전구체 가스를 제공하는 단계(1720);

- b. 시변 입자 빔(410, 715)이 상기 전구체 가스에 작용하게 함으로써 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500) 상에서 국부 퇴적 반응 및 국부 에칭 반응 중 적어도 하나를 수행하는 단계(1730);
- c. 상기 국부 퇴적 반응 및 상기 국부 에칭 반응 중 적어도 하나의 적어도 일부를 수행하는 동안 상기 시변 입자 빔(410, 715)과 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)의 표면(115) 사이의 평균 입사각(Φ)을 감소시키는 단계(1740); 및
- d. 상기 국부 퇴적 반응 및 상기 국부 에칭 반응 중 적어도 하나의 적어도 일부를 수행하는 동안 상기 시변 입자 빔(410, 715)과 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)의 표면(115) 사이의 상기 평균 입사각(Φ)을 제어하는 단계를 포함하며,
- e. 상기 제어하는 단계는 상기 국부 퇴적 반응 및 상기 국부 에칭 반응 중 적어도 하나를 수행하기 위해 상기 적어도 하나의 전구체 가스와 상호작용 하도록 상기 시변 입자 빔(410, 715)을 사용하는 동안 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)의 상기 표면(115)에서의 상기 평균 입사각(Φ)을 감소시키도록 적어도 하나의 제 2 수단(830, 930, 1050)을 제어하는 단계를 더 포함하는, 방법(1700).

청구항 17

청구항 16에 있어서, 상기 시변 입자 빔(410, 715)을 사용하여 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)를 분석하는 단계를 더 포함하는, 방법(1700).

청구항 18

청구항 16 또는 청구항 17에 있어서, 상기 국부 퇴적 반응 및 상기 국부 에칭 반응 중 적어도 하나를 수행하는 동안, 상기 평균 입사각(Φ)을 변경하는 단계를 더 포함하는, 방법(1700).

청구항 19

청구항 16 또는 청구항 17에 있어서, 상기 국부 퇴적 반응 및 상기 국부 에칭 반응 중 적어도 하나를 중단시키는 단계, 및 생산될 구조의 생산된 부분 및 에칭될 위치 중 적어도 하나를 분석하기 위해 상기 시변 입자 빔(410, 715)을 사용하는 단계를 더 포함하는, 방법(1700).

청구항 20

청구항 16 또는 청구항 17에 있어서, 상기 적어도 하나의 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)의 상기 표면(115) 상의 상기 시변 입자 빔(410, 715)의 상기 평균 입사각(Φ)은 제어 장치(790)에 의해 자동화된 형태로 변경되는, 방법(1700).

청구항 21

컴퓨터 판독 가능한 매체에 저장되는 컴퓨터 프로그램으로서, 청구항 1 내지 청구항 8에 기재된 장치(700)의 컴퓨터 시스템(780)을, 상기 컴퓨터 시스템(780)이 상기 컴퓨터 프로그램을 실행할 때, 청구항 16에 기재된 방법 단계들을 수행하도록 프로그래밍하는 명령들을 포함하는, 컴퓨터 판독가능한 매체에 저장되는 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2019년 2월 5일 독일 특허청에서 출원되었으며 그 전체가 본 출원에 참고로 포함된 독일 특허 출원 DE 10 2019 201 468.2의 우선권을 주장한다.

[0002] 본 발명은 포토리소그래피 마스크를 수리하기 위한 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 반도체 산업에서 집적 밀도가 증가함에 따라 포토리소그래픽 마스크는 웨이퍼에서 점점 더 작은 구조를 이미징

해야 한다. 이러한 경향을 수용하는 하나의 옵션은 화학 파장이 더 짧은 파장으로 이동되는 포토리소그래피 마스크의 사용에 있다. 현재, 대략 193nm의 파장에서 방출하는 ArF(아르곤 플루오라이드) 엑시머 레이저가 광원으로 포토리소그래피에서 자주 사용된다.

[0004] EUV(extreme ultra) 파장 범위(바람직하게는 10nm 내지 15nm 범위)에서 전자기 방사선을 사용하는 리소그래피 시스템이 현재 개발되고 있다. 상기 EUV 리소그래피 시스템은 명시된 EUV 범위에서 광학적으로 투명한 재료가 현재 이용 가능하지 않기 때문에, 반사 광학 요소를 사용하는 완전히 새로운 빔 가이드 개념에 기초한다. EUV 시스템을 개발하는데 있어서 기술적 과제는 상당하며, 해당 시스템을 산업 응용에 적합한 수준으로 만들기 위해서는 엄청난 개발 노력이 필요하다.

[0005] 웨이퍼 상에 배치된 포토레지스트에서 훨씬 더 작은 구조의 이미징에 중요한 기여는 포토리소그래피 마스크, 노광 마스크, 포토마스크 또는 단지 마스크 때문이다. 적분 밀도가 추가로 증가함에 따라 노광 마스크의 최소 구조 크기를 줄이는 것이 점점 더 중요해지고 있다. 따라서, 포토리소그래피 마스크의 제조 프로세스는 점점 더 복잡해지고 결과적으로 더 많은 시간과 비용이 소요된다. 패턴 요소의 미세한 구조 크기로 인해 마스크 생성 중 결함을 배제할 수 없다. 가능하면 수리해야 한다.

[0006] 현재, 마스크 결함은 전자빔-유도 국부 퇴적 및/또는 에칭 프로세스에 의해 종종 수리된다. 패턴 요소의 구조 크기 감소로 인해 수리 프로세스에 대한 요구가 더욱 어려워지고 있다. 구조 요소의 크기가 감소함에 따라, 수리 프로세스에 의해 생성된 구조의 에지 기울기가 설계에 의해 미리 결정된 기준 구조와 더욱 밀접하게 근접할 필요가 있다. 이 문제는 나노임프린트 리소그래피(NIL)에 사용되는 템플릿 결함의 수리에도 동일하게 적용된다.

[0007] 아래에 명시된 예시적인 문서는 웨이퍼의 좁은 홈이 채워지는 방법 또는 초점이 맞춰진 이온 빔을 사용하여 투과 전자 현미경용 표본이 생성되는 방법을 설명한다: US 2012/0 217 590 A1, US 2014/0 170 776 A1, US 9 530 674 B2, US 5 656 811 및 US 2012/235 055 A1.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 포토리소그래피 마스크 및/또는 나노임프린트 리소그래피를 위한 템플릿의 수리에 있어서 개선을 용이하게 하는 장치 및 방법을 특정하는 문제를 해결한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 하나의 예시적인 실시 예에 따르면, 이 문제는 청구항 1에 따른 장치 및 청구항 15에 따른 방법에 의해 해결된다. 일 실시 예에서, 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 장치는, (a) 상기 포토리소그래피 마스크 상에서의 국부 퇴적 반응 및/또는 국부 에칭 반응을 위해 구현되는 적어도 하나의 시변 입자 빔; (b) 적어도 하나의 전구체 가스를 제공하기 위한 적어도 하나의 제 1 수단 - 상기 전구체 가스는 상기 국부 퇴적 반응 및/또는 상기 국부 에칭 반응 동안 상기 입자 빔과 상호작용 하도록 구현됨 - ; 및 (c) 상기 시변 입자 빔과 상기 포토리소그래피 마스크의 표면 사이의 평균 입사각을 감소시키는 적어도 하나의 제 2 수단을 포함한다.

[0010] 국부 퇴적 또는 에칭 반응을 유발하는 입자 빔의 포토리소그래피 마스크의 표면에서의 평균 입사각을 감소시킴으로써, 포토리소그래피 마스크의 표면에 대해, 에칭되고 그리고/또는 퇴적될 구조의 에지 경사를 증가시킬 수 있고, 즉, 상기 에지 경사는 90°의 각도에 더 잘 대응될 수 있으며, 이는 전형적으로 설계에 의해 미리 결정된다. 또한, 포토리소그래피 마스크의 표면상의 입자 빔의 평균 입사각의 감소는 수리된 위치의 생성을 용이하게 하며, 이의 커브 반경은 실질적으로 포토리소그래피 마스크의 결함이 없는 위치의 커브 반경으로부터 실질적으로 벗어나지 않는다. 또한, 포토리소그래피 마스크의 표면상의 입자 빔의 평균 입사각을 감소시키는 것은 국부 수리 절차를 수행함으로써 수리될 위치의 주변에서 발생하는 포토리소그래피 마스크에 대한 손상을 최소화한다.

[0011] 전형적으로, 입자 빔은 스캔 영역에 걸쳐 라인 단위로 스캔되는 입자 빔에 의해 포토마스크 또는 일반적으로 표본의 스캔 영역을 감지한다. 선이 스캔되는 동안 표본의 표면에서 입자 빔의 입사각에 약간의 변화가 있다. 상기 (c)에 규정된 포토리소그래피 마스크의 표면에서의 입사각의 감소는 라인 스캔 동안 또는 일반적으로 스캔 영역의 감지 동안 입자 빔의 각도에서의 이러한 변화를 의미하지는 않는다. "평균 입사각"이라는 용어는 라인 스캔 동안 입사각의 변화로부터 입사각의 상기 규정된 감소를 구분하도록 도입된다. 상기 용어는 라인 스캔 동안 입자 빔이 표본에 입사되는 평균 각도를 나타낸다. 예로서, 평균 입사각은 라인 스캔 또는 일반적으로 입자 빔의 스캔 영역의 모든 입사각에 대한 산술 평균으로서 정의될 수 있다.

- [0012] 본 명세서의 여기서 그리고 다른 부분에서, "실질적으로"라는 표현은 종래 기술에 따른 측정 기기가 측정된 양을 결정하는데 사용되는 경우 종래의 측정 오차 내에서 측정된 양의 표시를 나타낸다.
- [0013] 본 출원에서, 용어 "포토리소그래피 마스크"는 마찬가지로 나노임프린트 리소그래피를 위한 템플릿을 포함한다.
- [0014] 전형적으로, 포토리소그래피 마스크는 패턴 요소가 그 위에 배치되거나 패턴 요소가 기판 내로 에칭된 기판을 포함한다. 이 응용에서, 포토리소그래피 마스크의 표면은 포토마스크의 표면의 영역을 의미하는 것으로 이해되며, 상기 영역은 입사광을 이미징하는 구조 요소를 갖지 않는다.
- [0015] 제 2 수단은, 상기 입자 빔에 대해 상기 포토리소그래피 마스크를 틸팅(tilting)하기 위한 틸트(tilt) 장치; 상기 포토리소그래피 마스크에 대해 상기 입자 빔을 틸팅하기 위한 빔 소스의 피벗 장치; 및 상기 포토리소그래피 마스크 상에서 상기 입자 빔의 상기 평균 입사각을 감소시키기 위해 상기 입자 빔의 입자들에 대한 적어도 하나의 편향 장치 중 적어도 하나의 요소를 포함할 수 있다.
- [0016] 빔 소스의 피벗 장치는 빔 소스의 입자 빔과 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 장치의 표본 스테이지 사이에서 90° 와 상이한 고정된 각도의 실현을 포함할 수 있다.
- [0017] 자연스럽게, 제 2 수단은 또한 상기 열거된 장치들 중 하나 이상을 포함할 수 있고, 평균 입사각의 감소는 특정된 장치들 중 2개 또는 3개의 상호 작용에 의해 수행될 수 있다.
- [0018] 제 2 수단은 포토리소그래피 마스크의 광축을 중심으로 시변(time-varying) 입자 빔의 감소된 입사각을 회전시키도록 구현될 수 있다.
- [0019] 포토리소그래피 마스크의 광축이 좌표계의 z-축에 평행하다는 가정하에, 제 2 수단은 항상 입자 빔과 광축 사이의 극각을 변경, 즉 증가시키도록 구현된다. 극각의 변화에 더하여 방위각의 변화를 또한 용이하게 하는 제 2 수단에 의해, 국부 퇴적 또는 에칭 반응에 의한 포토리소그래피 마스크의 개선된 처리는 포토마스크의 패턴 요소의 임의의 측 또는 임의의 위치에서 수행될 수 있다.
- [0020] 편향 장치는 전기 편향 시스템 및 자기 편향 시스템 중 적어도 하나의 요소를 포함할 수 있다.
- [0021] 전기 및 자기 편향 시스템의 조합도 마찬가지로 가능하다. 여기서, 전기 변형 편향 시스템은 입자 빔을 제 1 방향으로 편향시킬 수 있고 자기 편향 시스템은 입자 빔을 제 2 방향으로 편향시킬 수 있다. 그러나, 전기 및 자기 편향 시스템은 또한 입자 빔을 동일한 방향으로 편향시켜서 입자 빔에 대한 서로의 영향을 증폭시킬 수 있다.
- [0022] 또한, 편향 장치는 입자 빔을 2개의 방향으로 편향시키도록 구현될 수 있다. 편향 장치의 2개의 편향 방향은 서로에 대해 실질적으로 90° 의 각도를 가질 수 있다.
- [0023] 편향 장치는 입자 빔의 빔 소스의 일부일 수 있다. 편향 장치는 입자 빔의 빔 소스의 일부가 아닐 수 있다. 편향 장치가 입자 빔의 빔 소스의 일부이고 빔 소스가 예를 들어 스캐닝 전자 현미경을 포함하는 경우, 예를 들어, 편향 장치는 스캐닝 전자 현미경의 열(column)에 배치될 수 있다. 편향 장치가 입자 빔의 빔 소스의 일부가 아니고 빔 소스가 스캐닝 전자 현미경을 포함하는 경우, 편향 장치는 스캐닝 전자 현미경의 열 외부에 배치될 수 있다.
- [0024] 그러나, 전기 및 자기 편향 시스템 모두 입자 빔의 빔 소스의 일부일 수 있다. 따라서, 예를 들어, 전기 편향 시스템은 빔 소스의 전자 광학 렌즈의 업스트림에 배치될 수 있고 자기 편향 시스템은 빔 소스의 전자 광학 렌즈의 다운스트림에 배치될 수 있다.
- [0025] 전기 편향 시스템은 적어도 하나의 편향 플레이트 쌍을 포함할 수 있다. 전기 편향 시스템은 서로 평행하게 배치된 둘 이상의 편향 플레이트 쌍을 포함할 수 있다. 전기 편향 시스템은 입자 빔에 대한 빔 소스의 전자 광학 오브젝티브 렌즈의 업스트림에 배치될 수 있다.
- [0026] 자기 편향 시스템은 적어도 하나의 코일 배열을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 코일 배열은 적어도 하나의 코일 쌍을 포함할 수 있다. 그러나, 자기 편향 시스템은 또한 적어도 하나 이상의 영구 자석을 포함할 수 있다.
- [0027] 틸트 장치는 포토리소그래피 마스크를 위한 표본 스테이지를 포함할 수 있고, 상기 표본 스테이지는 적어도 2개의 축을 중심으로 회전 가능하고, 2개의 축은 포토리소그래피 마스크의 평면에 놓일 수 있고 서로 평행하지 않을 수 있다. 표본 스테이지의 2개의 회전축이 서로 직각인 것이 유리하다.
- [0028] 표본 스테이지는 제 3 축을 중심으로 회전 가능할 수 있으며, 여기서 표본 스테이지의 제 3 회전축은 포토리소

그래피 마스크의 광학 축에 실질적으로 평행하다. 하나의 방향으로 포토리소그래피 마스크의 표면상의 시변 입자 빔의 평균 입사각을 감소시키는 제 2 수단과 및 포토리소그래피 마스크의 광축에 대해 회전 가능한 표본 스테이지의 조합이 시변 입자 빔의 평균 입사각이 2개의 공간 방향으로 조정되는 것을 가능하게 한다. 이를 통해 포토리소그래피 마스크의 모든 처리 장소에 액세스할 수 있다.

- [0029] 제 2 수단은 시변 입자 빔과 포토리소그래피 마스크의 표면 사이의 평균 입사각을 5° 를 초과하는, 바람직하게는 10° 을 초과하는, 보다 바람직하게는 20° 을 초과하는, 가장 바람직하게는 30° 을 초과하는 각도만큼 감소시킬 수 있다.
- [0030] 포토리소그래피 마스크에서의 입사 지점에서, 입자 빔은 0.1nm 내지 1000nm, 바람직하게는 0.2nm 내지 200nm, 보다 바람직하게는 0.4nm 내지 50nm, 그리고 가장 바람직하게는 0.5nm 내지 2nm의 초점 직경을 가질 수 있다.
- [0031] 입자 빔은 0.1mrad 내지 1000mrad, 바람직하게는 0.2mrad 내지 700mrad, 더욱 바람직하게는 0.5mrad 내지 500mrad, 가장 바람직하게는 1mrad 내지 200mrad의 개구 각도를 가질 수 있다. 여기서 "mrad"는 밀리라디안을 나타낸다.
- [0032] 입자 빔의 입자의 운동 에너지는 0.01keV 내지 500keV, 바람직하게는 0.05keV 내지 200keV, 보다 바람직하게는 0.1keV 내지 50keV 그리고 가장 바람직하게는 0.1keV 내지 1keV의 범위를 포함할 수 있다.
- [0033] 시변 입자 빔은 포토리소그래피 마스크의 스캔 영역을 스캔하는 입자 빔을 포함할 수 있다. 입자 빔의 스캐닝은 체류 시간(dwelling time) 및 반복 시간의 파라미터를 특징으로 할 수 있다.
- [0034] 그러나, 시변 입자 빔은 또한 입자의 운동 에너지 및/또는 입자 빔의 초점 직경이 일시적인 변화를 경험하는 입자 빔을 포함할 수 있다.
- [0035] 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 장치는 포토리소그래피 마스크 상에서 처리될 위치의 스캔 데이터를 분석하도록 구현되는 평가 유닛을 더 포함할 수 있다. 특히, 평가 유닛은 스캔 데이터로부터 이미지 데이터를 생성할 수 있다. 이미지 데이터는 모니터에 저장 및/또는 표시될 수 있다.
- [0036] 또한, 평가 유닛은 분석된 스캔 데이터로부터 포토리소그래피 마스크의 표면상의 입자 빔의 평균 입사각의 적어도 하나의 변화를 결정하도록 구현될 수 있다.
- [0037] 평가 유닛은 국부 에칭 반응 및/또는 국부 퇴적 반응을 수행하기 위해 입자 빔의 운동 에너지로부터 입자 빔의 평균 입사각 감소를 결정하도록 구현될 수 있다. 또한, 평가 유닛은 퇴적 및/또는 에칭될 재료의 재료 구성으로부터 입자 빔의 평균 입사각의 감소를 결정하도록 구현될 수 있다. 또한, 평가 데이터는 스캔 데이터에 기초하여 입자 빔의 평균 입사각을 설정하도록 구현될 수 있다.
- [0038] 입자 빔의 입자의 운동 에너지 및 입자 빔의 입자가 충돌하는 재료 조성은 포토리소그래피 마스크와 입자 빔의 상호 작용 영역의 크기에 영향을 미치므로 국부 퇴적 프로세스 또는 국부 에칭 처리를 수행하여 처리되거나 손상될 수 있는 마스크의 영역에 영향을 미친다.
- [0039] 또한, 평가 유닛은 처리 위치 주변의 보호층을 위한 면적 및 재료 조성을 결정하도록 구현될 수 있다.
- [0040] 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 장치는 제어 장치를 더 포함할 수 있으며, 제어 장치는 포토리소그래피 마스크의 표면상의 입자 빔의 평균 입사각을 변경하기 위한 제 2 수단을 제어하도록 구현된다.
- [0041] 제 1 수단은 적어도 하나의 전구체 가스를 저장하도록 구현된 적어도 하나의 공급 용기, 적어도 하나의 전구체 가스의 가스 질량 흐름을 제어하도록 구현되는 적어도 하나의 제어 밸브, 적어도 하나의 공급 용기로부터 포토리소그래피 마스크 상의 입자 빔의 입사 지점에 적어도 하나의 전구체 가스를 가이드하도록 구현되는 적어도 하나의 가스 라인 시스템 및 포토리소그래피 마스크의 표면에 입자 빔의 입사 지점에서 전구체 가스를 집중시키도록 구현된 적어도 하나의 노즐의 그룹으로부터 적어도 하나의 요소를 포함할 수 있다.
- [0042] 적어도 하나의 전구체 가스는 적어도 하나의 에칭 가스, 적어도 하나의 퇴적 가스 및 적어도 하나의 첨가제 가스의 그룹으로부터 적어도 하나의 원소를 포함할 수 있다.
- [0043] 적어도 하나의 에칭 가스는 하나 이상의 할로젠 함유 화합물을 포함할 수 있다. 할로젠 함유 화합물은 불소(F_2), 염소(Cl_2), 브롬(Br_2), 요오드(I_2), 크세논 디플루오라이드(XeF_2), 크세논 테트라플루오라이드(XeF_4), 크세논 헥사플루오라이드(XeF_6), 염화 크세논($XeCl$), 아르곤 플루오라이드(ArF), 크립톤 플루오라이드(KrF), 이플루오르

화황(SF₂), 사플루오르화황(SF₄), 육플루오르화황(SF₆), 삼플루오르화인(PF₃), 및 오픈플루오르화인(PF₅)의 그룹의 적어도 하나의 요소를 포함할 수 있다.

- [0044] 적어도 하나의 퇴적 가스는 금속 알킬, 전이 원소 알킬, 주족 알킬, 금속 카보닐, 전이 원소 카보닐, 주족 카보닐, 금속 알콕시드, 전이 원소 알콕시드, 주족 알콕시드, 금속 착물, 전이 원소 착물, 주족 착물 및 유기 화합물의 그룹으로부터 적어도 하나의 원소를 포함할 수 있다.
- [0045] 금속 알킬, 전이 원소 알킬 및 주족 알킬은 시클로펜타디에닐 (Cp) 트리메틸 플라티늄(CpPtMe₃), 메틸시클로펜타디에닐 (MeCp) 트리메틸 백금(MeCpPtMe₃), 테트라메틸틴(SnMe₄), 트리메틸갈륨(GaMe₃), 페로센(Co₂Fe) 및 비사틸크롬(Ar₂Cr)의 그룹의 적어도 하나의 요소를 포함할 수 있다. 금속 카보닐, 전이 원소 카보닐 및 주족 카보닐은 크롬 헥사카보닐(Cr(CO)₆), 몰리브덴 헥사카보닐(Mo(CO)₆), 텅스텐 헥사카보닐(W(CO)₆), 디코발트 옥타카보닐(Co₂(CO)₈), 트리루테늄 도데카카보닐(Ru₃(CO)₁₂) 및 철 펜타카르보닐(Fe(CO)₅)의 그룹 중 적어도 하나의 요소를 포함할 수 있다. 금속 알콕시드, 전이 원소 알콕시드 및 주족 알콕시드는 테트라에틸 오르토실리케이트(TEOS, Si(OC₂H₅)₄) 및 테트라이소프로폭시타타늄(Ti(OC₃H₇)₄)의 그룹으로부터 하나 이상의 원소를 포함할 수 있다. 금속 할라이드, 전이 원소 할라이드 및 주족 할라이드는 텅스텐 헥사플루오라이드(WF₆), 텅스텐 헥사클로라이드(WCl₆), 티타늄 헥사클로라이드(TiCl₆), 삼염화 붕소(BCl₃) 및 사염화 규소(SiCl₄)의 그룹으로부터의 하나 이상의 원소를 포함할 수 있다. 금속 착물, 전이 원소 착물 및 주족 착물은 구리 비스(헥사플루오로아세틸아세토네이트)(Cu(C₅F₆HO₂)₂) 및 디메틸골드 트리플루오로아세틸아세토네이트(Me₂Au(C₅F₃H₄O₂))의 그룹으로부터 적어도 하나의 원소를 포함할 수 있다. 유기 화합물은 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 지방족 탄화수소, 방향족 탄화수소, 진공 펌프 오일의 성분 및 휘발성 유기 화합물의 그룹으로부터의 하나 이상의 원소를 포함할 수 있다.
- [0046] 적어도 하나의 첨가제 가스는 산화제, 할라이드 및 환원제 그룹으로부터의 하나 이상의 원소를 포함할 수 있다.
- [0047] 산화제는 산소(O₂), 오존(O₃), 수증기(H₂O), 과산화수소(H₂O₂), 이산화질소(N₂O), 질소 산화물(NO), 이산화 질소(NO₂) 및 질산(HNO₃)의 그룹으로부터 하나 이상의 원소를 포함할 수 있다. 할라이드는 염소(Cl₂), 염산(HCl), 크세논 디플루오라이드(XeF₂), 불화 수소산(HF), 요오드(I₂), 요오드화 수소(HI), 브롬(Br₂), 브롬화 수소(HBr), 염화 니트로실(NOCl), 삼염화인(PCl₃), 오염화인(PCl₅) 및 삼불화인(PF₃)의 그룹으로부터 하나 이상의 원소를 포함할 수 있다. 환원제는 수소(H₂), 암모니아(NH₃) 및 메탄(CH₄)의 그룹으로부터 하나 이상의 원소를 포함할 수 있다.
- [0048] 입자 빔은 전자 빔, 이온 빔, 원자 빔, 분자 빔 및 광자 빔의 그룹으로부터의 하나 이상의 원소를 포함할 수 있다.
- [0049] 또한, 제어 장치는 제 1 수단을 제어하도록 구현될 수 있다. 또한, 제어 장치는 입자 빔 및 처리 장소 주위에 보호 층을 퇴적하기 위한 제 1 수단을 제어하도록 구현될 수 있다.
- [0050] 또한, 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 장치는 포토리소그래피 마스크로부터 발생하는 입자를 검출하도록 구현된 적어도 하나의 검출기를 포함할 수 있으며, 이 입자는 입자 빔에 의해 야기된다. 포토리소그래피 마스크로부터 발생한 입자는 시변 입자 빔의 입자 유형을 포함할 수 있다. 포토리소그래피 마스크로부터 발생한 입자는 입자 빔의 입자 유형과 상이할 수 있다.
- [0051] 또한, 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 장치는 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위해 아래에 정의된 방법의 단계들을 수행하도록 구현될 수 있다.
- [0052] 일 실시 예에서, 포토리소그래피 마스크를 처리하는 방법은: (a) 적어도 하나의 전구체 가스를 제공하는 단계; (b) 시변 입자 빔이 전구체 가스에 작용하게 함으로써 포토리소그래피 마스크상에서 국부 퇴적 반응 및/또는 국부 에칭 반응을 수행하는 단계; 및 (c) 국부 퇴적 반응 및/또는 국부 에칭 반응의 적어도 일부를 수행하는 동안 시변 입자 빔과 포토리소그래피 마스크의 표면 사이의 평균 입사각을 감소시키는 단계를 포함한다.
- [0053] 포토리소그래피 마스크를 처리하는 방법은 입자 빔을 사용하여 포토리소그래피 마스크를 분석하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0054] 포토리소그래피 마스크를 처리하는 방법은 국부 퇴적 반응 및/또는 국부 에칭 반응을 수행하는 동안 입사각을

변경하는 단계를 더 포함할 수 있다. 전술한 바와 같이, 구 좌표에서의 입사각은 방위각 또는 극각을 포함한다.

- [0055] 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 방법은 국부 퇴적 반응 및/또는 국부 에칭 반응을 중단하고, 입자 빔을 사용하여, 에칭될 위치 및/또는 제조될 구조의 생성된 부분을 분석하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0056] 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 방법은 포토리소그래피 마스크를 위한 국부 처리 프로세스 동안 중단될 수 있다. 입자 빔은 처리 장소를 분석하는 데 사용될 수 있다. 평균 입사각은 처리 프로세스가 계속되기 전에 분석 프로세스에 기초하여 수정될 수 있다. 이러한 프로세스 가이드스(process guidance)는 처리 프로세스 동안 생산될 구조의 측벽의 에지 경사가 변경될 수 있게 한다.
- [0057] 포토리소그래피 마스크의 표면상의 입자 빔의 평균 입사각은 제어 장치에 의해 자동화된 형태로 변경될 수 있다.
- [0058] 컴퓨터 프로그램은 전술된 측면들 중 하나에 따른 장치의 컴퓨터 시스템을, 컴퓨터 시스템이 컴퓨터 프로그램을 실행할 때, 전술한 측면들 중 하나에 따른 방법 단계들을 수행하도록 프롬프팅하는 명령들을 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0059] 다음의 상세한 설명은 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 설명한다.
 - 도 1은 상부 부분 이미지에서, 설계에 의해 미리 결정된 바와 같은 포토리소그래피 마스크의 패턴 요소의 에지의 개략적인 섹션을 도시하고, 하부 부분 이미지에서, 결함 없이 생성된 상부 부분 이미지의 패턴 요소의 에지를 재현한다.
 - 도 2는 과잉 재료 형태의 결함을 갖는 포토리소그래피 마스크의 패턴 요소의 에지의 개략적인 단면도를 도시한다.
 - 도 3은 종래 기술에 따라 결함을 제거하기 위해 국부 수리 프로세스를 수행 한 후 도 2로부터의 패턴 요소의 에지의 개략적인 단면도를 도시한다.
 - 도 4는 상부 부분 이미지에서 어퍼쳐 각도 β 를 갖는 입자 빔이 포토리소그래피 마스크에 입사하고, 하부 부분 이미지에서, 상부 부분 이미지의 입자 빔의 초점에서의 세기 분포를 도시하는 도 2를 재현한다.
 - 도 5는 종래 기술에 따른 도 2의 포토리소그래피 마스크의 패턴 요소의 에지 또는 측벽을 처리할 때 도 4로부터의 입자 빔의 상호 작용 영역("산란 원뿔(scattering cone)")을 도시한다.
 - 도 6은 수행되는 종래 기술에 따른 입자 빔-유도 퇴적 프로세스를 개략적으로 시각화한다.
 - 도 7은 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 장치의 몇몇 구성 요소를 통한 개략적인 단면도를 도시한다.
 - 도 8은 도 7의 장치의 입자 빔에 대해 포토리소그래피 마스크를 틸팅하기 위한 틸트 장치를 갖는 도 7의 장치의 확대된 발체도를 재현한다.
 - 도 9는 포토리소그래피 마스크에 대해 도 7의 장치의 입자 빔을 틸팅하기 위한 피벗 장치를 갖는 도 7의 장치의 확대된 발체도를 도시한다.
 - 도 10은 스캐닝 전자 현미경의 열의 출력에서 자기 편향 시스템 형태의 편향 장치를 갖는 도 7의 장치의 확대된 발체도를 도시한다.
 - 도 11은 스캐닝 입자 현미경의 열의 표본 측 단부에서 전기 편향 시스템 형태의 편향 장치를 갖는 도 7의 장치의 확대된 발체도를 재현한다.
 - 도 12는 도 7의 장치의 시변 전자 빔과 표본의 표면 사이의 평균 입사각이 감소된 도 4를 재현한다.
 - 도 13은 도 7의 장치의 전자 빔의 평균 입사각은 처리 프로세스가 수행되는 동안 감소되는 도 5로부터의 상호 작용 영역을 재현한다.
 - 도 14는 도 7의 장치의 입자 빔과 포토리소그래피 마스크의 표면 사이의 평균 입사각은 감소되는 도 6의 퇴적 프로세스를 재현한다.
 - 도 15는 패턴 요소는 누락(missing)된 패턴 재료 결함을 갖는, 패턴 요소를 포함하는 포토리소그래피 마스크의 전자 현미경 기록의 발체를 도시한다.

도 16은 누락된 패턴 재료 결함을 수리한 후의 도 15의 발체도를 도시한다.

도 17은 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 방법의 흐름도를 특정한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0060] 포토리소그래피 마스크를 처리하기 위한 본 발명에 따른 장치 및 본 발명에 따른 방법의 현재 바람직한 실시 예가 아래에서 보다 상세하게 설명된다. 본 발명에 따른 장치는 스캐닝 전자 현미경의 예를 사용하여 설명된다. 그러나, 본 발명에 따른 장치는 스캐닝 전자 현미경으로 제한되지 않는다. 오히려, 본 발명에 따른 장치는 임의의 스캐닝 입자 현미경; 즉, 본 출원에 정의된 장치는 포토마스크를 처리하기 위해 임의의 유형의 입자를 사용할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 장치 및 본 발명에 따른 방법의 사용은 포토리소그래피 마스크의 처리에만 제한되지 않는다. 오히려, 여기에 설명된 장치 및 방법은 다양한 미세 구조화된 구성 요소를 처리하기 위해 사용될 수 있다. 이를 위한 예에는 나노 임프린트 리소그래피, 웨이퍼, IC(집적 회로), MEMS(마이크로 전자 기계 시스템) 및 PIC(광자 집적 회로)를 위한 템플릿이 포함된다.
- [0061] 도 1의 상부 부분 이미지(105)는 포토리소그래피 마스크(100)의 발체를 통한 단면을 개략적으로 도시한다. 마스크(100)는 투과 또는 반사 마스크(100)일 수 있다. 도 1의 예에서, 포토마스크(100)는 기관(110) 및 패턴 요소(120) 또는 구조 요소(120)를 포함한다. 기관(110)은 석영 기관 및/또는 낮은 열팽창 계수(LTE(low thermal expansion) 기관)를 갖는 재료를 포함할 수 있다. 패턴 요소(120)는 이진 포토마스크(100)의 구조 요소(120)일 수 있다. 이 경우에, 패턴 요소(120)는 흡수기 구조(120)의 요소를 포함할 수 있고, 예를 들어 크롬을 포함할 수 있다. 그러나, 패턴 요소(120)는 위상 이동 포토마스크(100)의 구조 요소(120)를 또한 포함할 수 있다. 예로서, 위상 이동 마스크(100)는 마스크(100)의 기관(110) 내로 적절한 패턴을 에칭함으로써 생성될 수 있다. 또한, 패턴 요소(120)는 기관(110)에 입사되는 방사선에 대한 화학 방사선의 위상을 대체하고 패턴 요소(120)에 입사하는 화학 과정에서 광의 일부를 흡수하는 구조 요소(120)를 포함할 수 있다. 이것의 예는 OMOG(유리상의 불투명한 MoSi(몰리브덴 실리사이드)) 마스크를 포함한다.
- [0062] 도 1의 상부 부분 이미지(105)는 설계에 의해 미리 결정된 이상적인 에지(130) 또는 측벽(140)을 통한 단면을 도시한다. 패턴 요소(120)의 에지(130)는 측벽(140)의 경사각 α 및 반경(150) 또는 곡률 반경(150)을 특징으로 하고, 이것에 의해, 에지(130)는 먼저 마스크(100)의 기관(110)의 표면(115)에, 그리고 둘째로 패턴 요소(120)의 평면(125)에 병합된다. 통상적으로 설계는 측벽(140)에 대해 실질적으로 90°의 경사각 α 를 규정한다. 패턴 요소(120)의 측벽(140) 또는 에지(130)의 곡률 반경(150)은 가능한 한 작아야 하고, 즉, 가능한 제로에 가까워야 한다.
- [0063] 도 1의 하부 부분 이미지(155)는 포토마스크(100)의 기관(110) 상에 위에서 논의된 설계 프리스크립션(design prescription)에 따라 생성된 패턴 요소(120)를 통한 단면을 나타낸다. 측벽(170) 또는 에지(160)의 경사각 α 은 실질적으로 90°이며 결과적으로 설계의 프리스크립션과 잘 일치한다. 에지(160)의 곡률 반경(180 및 185)은 0이 아니지만 너무 작아서 패턴 요소(120)가 그 기능을 수행한다. 이것은 구조 요소(120)가 도 1의 하부 부분 이미지(155)에 도시된 바와 같이 측벽(170)의 에지(160) 또는 경사각 α 을 갖는 포토리소그래피 마스크(100)가 특정 사양을 충족한다는 것을 의미한다.
- [0064] 도 2는 기관(110) 및 에지(160) 또는 측벽(170)에 과잉 재료(250)를 갖는 패턴 요소(120)를 포함하는 포토리소그래피 마스크(200)를 통한 개략적인 단면을 도시한다. 과잉 재료(250)는 패턴 요소(120)의 재료 또는 기관(110)의 재료를 포함할 수 있다. 그러나, 과잉 재료(250)의 결함은 또한 패턴 요소(120)의 에지(160)에 정착된 입자일 수 있다. 입자 형태의 과잉 재료(250)는 전형적으로 포토마스크(200)와 상이한 재료 조성을 갖는다.
- [0065] 도 2에서 재생된 예에서, 과잉 재료(250)의 결함은 패턴 요소(120)와 동일한 높이를 갖는다. 그러나, 이것은 과잉 재료(250)의 결함을 처리하기 위한 본 출원에서 설명된 바와 같은 장치의 사용을 위한 전제 조건은 아니다. 오히려, 설명된 장치는 사실상 임의의 형태를 갖는 과잉 재료(250)의 결함을 처리할 수 있다.
- [0066] 도 3은 과잉 재료(250) 또는 과잉 재료(250)의 결함이 종래 기술에 따른 국부 입자 빔-유도 에칭 프로세스, 예를 들어 EBIE(전자 빔 유도 에칭) 프로세스의 도움으로 제거된 후 도 2로부터 마스크(200)의 발체 부분을 나타낸다. 도 3에 도시된 수리된 포토마스크(300)로부터 수집될 수 있는 것은 국부 에칭 프로세스의 결과로서 발생한 측벽(370)의 경사각 α' 이 설계에 의해 요구되는 각도 $\alpha=90^\circ$ 로부터 크게 벗어난다는 것이다. 또한, 생성된 패턴 요소(320)의 에지(360)의 곡률 반경(380, 385)은 도 1의 하부 부분 이미지(155)에 특정된 예와 관련하여 크게 증가되었다. 과잉 재료(250)에 의해 이전에 커버된 영역 내부 및 주변의 마스크(200)의 기관(110)의 일부(350)는 국부 에칭 프로세스에 의해 제거되었다. 국부 에칭 프로세스의 설명된 불리한 효과의 결과로서, 수리된

마스크(300)는 여전히 미리 정해진 이미징 사양을 충족시키지 못한다.

- [0067] 도 3은 입자 빔-유도 국부 에칭 프로세스를 수행함으로써 과잉 재료(250)의 결함을 처리할 때의 어려움을 설명하기 위해 위에서 사용되었다. 포토리소그래피 마스크의 빈번하게 발생하는 결함의 제 2 부류는 누락(missing)된 재료, 예를 들어 이진 마스크의 경우에 누락된 흡수체 재료의 결함이다(도 3에는 미도시). 국부 에칭의 경우에서와 같이, 90°로부터 크게 벗어난 퇴적된 패턴 요소의 측면의 경사각은 입자 빔-유도 퇴적 프로세스, 예를 들어 EBID(전자 빔 유도 퇴적) 프로세스의 도움으로 누락된 재료, 예를 들어 결손 흡수체의 국부 퇴적 범위 내에서 생성된다. 더욱이, 퇴적된 패턴 요소의 곡률 반경은 종종 결함이 없는 마스크(150)의 원래의 제조 프로세스에서 퇴적된 패턴 요소(120)의 곡률 반경(180, 185)의 반경보다 상당히 큰 경우가 많다. 국부 퇴적 프로세스에서, 퇴적된 재료가 없어야 하는 기관(110)의 표면(115)의 일부 상에 원하지 않는 재료 축적이 존재한다.
- [0068] 이것은 국부 퇴적 프로세스가 국부 처리 위치 주위에 일종의 헤일로(halo)을 생성한다는 것을 의미한다. 기관(110)의 표면(115)의 일부 상에 추가로 퇴적된 재료 및 전술한 국부 EBID 프로세스의 결함은 일반적으로 수리된 포토리소그래피 마스크의 기능의 국부 손상을 초래한다.
- [0069] 도 3과 관련하여 위에서 논의된 문제를 야기하는 원인 중 적어도 일부는 도 4 및 도 5를 기초로 아래에서 설명된다.
- [0070] 도 4의 상부 부분 이미지(405)는 도 2로부터 포토리소그래피 마스크(150)의 발체를 재생한다. 어퍼처 각도 β 를 갖는 입자 빔(410)은 마스크(150)의 기관(110)에 부딪힌다. 어퍼처 각도 β 는 대략 0.1mrad 내지 100mrad까지의 각도 범위를 포함할 수 있다. 입자 빔(410)은 실질적으로 수직 방식으로 마스크(150)의 기관(110)의 표면(115)에 부딪힌다. 도 4의 하부 부분 이미지(455)는 도 2로부터 마스크(150)의 기관(110)의 표면상의 입자 빔(410)의 입사 지점 또는 그 초점(420) 또는 그 틸(420) 내에서 입자 빔(410)의 강도 분포를 도시한다. 일반적으로, 입자 빔(410)은 그 초점(420)에서 가우시안 또는 가우시안-유사 강도 프로파일을 갖는다. 절반 최대(FWHM)(450)에서 달성 가능한 최소 전체 폭은 입자 빔(410)의 입사 유형에 의존한다. 전자빔이 서브나노미터 범위에서 초점의 스폿 직경에 초점을 맞출 수 있다.
- [0071] 가능한 높은 국부 처리 프로세스에 대한 공간 분해능을 얻기 위해, 입자 빔(410)은 처리 위치에서 작은 스폿(450)에 초점이 맞춰져야 한다. 광학 분야에서와 같이, 초점에서의 작은 스폿 직경의 요구는 입자 빔(410)에 대해 큰 어퍼처 각 β 을 필요로 한다. 도 4의 상부 부분 이미지(405)에 도시된 바와 같이, 그러나, 입자 빔(410)의 큰 어퍼처 각도 β 는 패턴 요소(120)의 에지(160) 또는 가파른 측면(170) 근처에 위치한 처리 또는 수리 위치에 접근하는 입자 빔(410)의 능력을 손상시킨다.
- [0072] 도 5는 도 4의 입자 빔(410)이 추가로 포토리소그래피 마스크(150)의 재료상에 입사되는 도 2를 도시한다. 도 5에서, 참조 부호(510)는 포토리소그래피 마스크(150)의 기관(110) 상에 입사될 때 입자 빔(410)이 발생하는 상호 작용 영역을 나타낸다. 입자 빔(410)이 기관(110) 상에 입사될 때, 상기 입자 빔의 입사, 예를 들어 전자는 기관 재료(110)의 원자핵의 전자기장에 산란된다. 입자 빔(410)의 입사하는 입자의 에너지가 산란 원뿔(510)에서 또는 상호작용 볼륨(510)에서 2차 산물을 생성한다. 예를 들어, 원자핵을 갖는 입사 입자의 산란 프로세스는 에너지를 기관 재료(110)의 격자로 전달하고, 결과적으로 기관 재료(110)는 국부적으로 가열된다. 기관 재료(110)의 전자는 또한 산란 프로세스에 의해 지점(520)에서 기관(110)에 입사하는 입자 빔(410)의 1차 입자로부터 에너지를 흡수할 수 있고 2차 전자 및/또는 후방 산란된 전자로서 방출될 수 있다. 상호 작용 영역(510)의 크기 및 형상은 입자 빔(410)의 입사 유형 및 기관(110)에 입사하는 입자 빔(410) 입자의 운동 에너지에 의존한다. 또한, 기관(110)의 재료 또는 재료 조성은 산란 원뿔(510)의 크기 및 형태에 영향을 미친다.
- [0073] 처리 프로세스 동안, 전구체 가스의 분자는 처리될 부위 근처에서 기관(110)의 표면(115)에 흡착된다. 마스크(150, 200)의 기관(110)의 표면(125)상의 입자 빔(410)의 입사 점(520)의 영역에 존재하는 전구체 가스의 분자는 예를 들어 2차 전자 및/또는 후방 산란된 전자의 흡수에 의해 상호 작용 영역(510)에서 나아가는 처리에 의해 그 구성 부분 내에 분해되거나 상기 분자는 흡착된 전구체 가스 분자와 마스크(150)의 기관 재료의 분자 또는 원자 사이의 국부 화학 반응을 유발한다(200).
- [0074] 입자 빔(410)이 기관(110) 상에 입사될 때, 상호 작용 영역(510) 또는 산란 원뿔(510)은 실질적으로 마스크(150)의 기관(110) 내에 위치된다. 입자 빔(410)이 에지(160) 또는 마스크(150)의 패턴 요소(120)의 측면(170)에 입사하면, 상호 작용 영역(510)에서 실행되는 프로세스들 중 일부만 이 마스크(150)의 패턴 요소(120)의 재료 내에서 발생한다. 이는 도 5에서 변형되거나 실질적으로 절반이 된 상호작용 영역(55)에 시각화된다. 변형된 상호 작용 영역(550)에서 생성된 2차 또는 후방 산란 입자(560)의 일부는 상호 작용 영역(550)을 떠나 마스크

크(100)의 기관(110)의 표면(115)에 도달할 수 있다. 이것은 화살표(560)로 도시되어 있다. 패턴 요소(120)의 재료와는 달리, 진공 환경에서 마스크(150, 200)가 일반적으로 처리 과정 동안 위치되는 상호 작용 과정은 거의 없다.

[0075] 전술한 바와 같이, 포토리소그래피 마스크(200)의 처리 프로세스 동안 마스크(200)의 기관(110)의 표면(125)은 패턴 요소(120)의 에지(160) 또는 측벽(170)의 영역에서 전구체 가스의 분자에 의해 커버된다. 변형된 상호 작용 영역(550)에서 입자 빔(410)에 의해 방출되고 기관(110)의 표면(115)에 입사하는 2차 입자(560)는 기관(110) 상에 원치 않는 국부 처리 프로세스를 개시한다. 전구체 가스가 에칭 가스의 형태로 존재하는 경우, 이것은 도 3에 도시된 바와 같이 기관(110)의 국부 함몰부(350)를 초래하는 기관(110)의 에칭 프로세스이다. 대조적으로, 퇴적 가스 형태로 존재하는 전구체 가스는 종종 포토리소그래피 마스크(200)의 기관(110)상의 원치 않는 국부 퇴적 프로세스를 야기한다.

[0076] 도 6의 다이어그램(600)은 포토리소그래피 마스크(150)의 기관(110)상의 패턴 요소(120)의 측벽(170)을 따른 재료(650)의 퇴적에 의해 누락된 재료의 결함의 교정을 시각화한다. 도 6은 수행되는 종래 기술에 따라 EIBD 프로세스를 도시한다. 전자 빔(410)이 마스크(150)의 기관(110)의 표면(115) 상에 입사시 기관에서 상호 작용 영역(510)을 생성하는 것이 도 5의 맥락에서 설명되었다. 상호 작용 영역(510)에서 진행되는 프로세스는 기관(110)의 표면(115)에 흡착된 전구체 가스의 분자를 분리하는 것을 가능하게 한다. 기관(110)의 표면(115) 상에 흡수된 전구체 가스의 분자가 퇴적 가스일 경우, 전자 빔(410)의 작용에 의해 나뉜 퇴적 가스의 분자의 구성 부분 또는 구성요소가 기관의 표면(115) 상에 퇴적될 수 있다. 따라서, 예를 들어, 금속 카보닐은 전자 빔(410)의 직접 및/또는 간접 작용에 의해 금속 원자 또는 금속 이온 및 일산화탄소로 분할된다. 금속 원자는, 휘발성 일산화 탄소 분자가 처리 장소를 떠날 수 있는 동안 기관(110)의 표면(115) 상에 침강(settle)할 수 있다.

[0077] 누락된 재료(650)의 영역에 걸쳐 집중된 전자 빔(410)을 순차적으로 스캐닝함으로써, 누락된 재료는 퇴적 가스의 존재하에 기관(110) 상에 층별로 퇴적된다. 그러나, 기관 또는 퇴적물(650) 또는 퇴적된 재료(650)에서 전자 빔(410)에 의해 생성된 상호 작용 영역(610)의 크기는 실질적으로 90°의 경사각을 갖는 측벽(670) 또는 에지가 퇴적될 수 없게 한다. 대신에, 상호 작용 영역(610)의 크기는 퇴적물(650)의 측벽(670) 또는 에지(660)의 경사각 α 의 크기를 적어도 부분적으로 설정한다. 국부 에칭 프로세스가 수행될 때와 같이, 상호 작용 영역(610)의 크기 및 형상은 전자 빔(410)의 전자의 운동 에너지 및 퇴적물(650)의 재료 조성에 의존한다.

[0078] 도 7은 예를 들어 포토리소그래피 마스크(200)의 표본(725)을 국부적으로 가공할 때 전술한 어려움 중 적어도 하나의 발생을 방지할 수 있는 장치(700)의 일부 중요한 구성 요소를 통한 개략적인 단면도를 도시한다. 도 7의 장치(700)는 스캐닝 전자 현미경(SEM)(710) 형태의 변형된 스캐닝 입자 현미경(710)을 포함한다.

[0079] 입자 빔(715)으로서 전자 빔(715)은 표본 또는 포토리소그래피 마스크(200)를 실질적으로 손상시킬 수 없다는 점에서 유리하다. 그러나, 이온 빔, 원자 빔 또는 분자 빔(도 6에 미도시)을 표본(725)을 처리하기 위한 장치(700)에서 사용하는 것도 가능하다.

[0080] 스캐닝 입자 현미경(710)은 전자총(705) 및 열(column)(715)으로 구성되며, 여기서 빔 광학 유닛(720)은 예를 들어 SEM(710)의 전자 광학 유닛 형태로 배치된다. 도 7의 SEM(710)에서, 전자총(705)은 전자빔(715)을 생성하는데, 이는 전자빔(715)을 생성하는데, 이는 열(720)에 배치되는, 도 7에 도시되지 않은, 이미징 요소에 의해 포토리소그래피 마스크(200)를 포함할 수 있는 표본(725) 상 위치(722) 상에 집중된 전자 빔(715)으로서 지향된다. 표본(725)은 표본 스테이지(730)(또는 스테이지) 상에 배치된다. 또한, SEM(710)의 열(720)의 이미징 요소는 표본(725) 위에서 전자 빔(715)을 스캔할 수 있다. 표본(725)은 SEM(710)의 전자 빔(715)을 사용하여 검사될 수 있다. 또한, 전자 빔(715)은 입자 빔-유도 퇴적 프로세스(EBID, 전자 빔 유도 퇴적) 및/또는 입자 빔-유도 에칭 프로세스(EBIE, 전자 빔 유도 에칭)를 유도하는데 사용된다. 또한, SEM(710)의 전자 빔(715)은 표본(725) 또는 표본(725)의 결함, 예를 들어 포토리소그래피 마스크(200) 상의 과잉 재료(250)의 결함을 분석하는데 사용될 수 있다.

[0081] 전자빔(715)에 의해 표본(725)의 상호 작용 영역(510, 550, 610)에서 생성된 후방 산란 전자 및 2차 전자는 검출기(717)에 의해 등록된다. 전자 열(720)에 배치된 검출기(717)는 "렌즈 내 검출기"로 지칭된다. 검출기(717)는 다양한 실시 예에서 열(720)에 설치될 수 있다. 검출기(717)는 측정 지점(722)에서 전자 빔(715)에 의해 생성된 2차 전자 및/또는 표본(725)으로부터 후방 산란된 전자를 전기 측정 신호로 변환하고 전자를 장치(700)의 컴퓨터 시스템(780)의 평가 유닛(785)으로 전송한다. 검출기(717)는 에너지 및/또는 입체각(solid angle)(도 7에 미도시)의 관점에서 전자를 식별하기 위해 필터 또는 필터 시스템을 포함할 수 있다. 검출기(717)는 장치(700)의 제어 장치(790)에 의해 제어된다.

- [0082] 장치(700)는 제 2 검출기(719)를 포함할 수 있다. 제 2 검출기(719)는 특히 x-선 영역에서 전자기 방사선을 검출하도록 설계된다. 결과적으로, 검출기(719)는 표본(725)을 처리하는 프로세스 동안 생성된 방사선의 분석을 용이하게 한다. 검출기(719)는 마찬가지로 제어 장치(790)에 의해 제어된다.
- [0083] 또한, 장치(700)는 제 3 검출기(도 7에 미도시)를 포함할 수 있다. 제 3 검출기는 종종 에버하트-툰리(Everhart-Thornley) 검출기의 형태로 구현되고 전형적으로 열(720)의 외측에 배치된다. 일반적으로, 이는 2차 전자를 검출하는데 사용된다.
- [0084] 장치(700)는 표본(725)의 영역에서 낮은 운동 에너지를 이온에 제공하는 이온 소스를 포함할 수 있다(도 7에 미도시). 운동 에너지가 낮은 이온은 표본(725)의 충전을 보상할 수 있다. 또한, 장치(700)는 변형된 SEM(710)의 열(720)의 출력에 메쉬(mesh)를 가질 수 있다(도 7에 미도시). 표본(725)의 정전기 충전은 마찬가지로 메쉬에 전압을 인가함으로써 보상될 수 있다. 또한 메쉬를 접지하는 것이 가능하다.
- [0085] 표본(725)은 표본 스테이지(730) 또는 표본 홀더(730) 상에 배치된다. 표본 스테이지(730)는 당 업계에서 "스테이지"라고도 한다. 도 7에 화살표로 표시된 바와 같이, 표본 스테이지(730)는 예를 들어 도 7에 도시되지 않은 마이크로 매니퓰레이터에 의해 SEM(710)의 열(715)에 대해 3개의 공간 방향으로 이동할 수 있다.
- [0086] 병진 이동에 추가하여, 표본 스테이지(730)는 서로 직교하는 3개의 축을 중심으로 회전될 수 있다. 도 8의 다이어그램(800)은 도면(paper)의 평면에 수직인 축에 대한 표본 스테이지(730)의 회전을 개략적으로 도시한다. 이들 회전 옵션의 결과로서, 표본 스테이지(730)는 틸트 장치(830)를 실현한다. 표본 스테이지(730)를 회전 시키면 표본(725)의 표면(815)상의 전자 빔(715)의 입사각 Φ_1 이 도 7의 표본(725) 상의 전자 빔(410)의 전자의 실질적으로 수직인 입사에 비해 감소되는 것을 허용한다. 틸트 장치(830)는 표본 스테이지(730)를 수평으로부터 최대 45° 까지 틸팅할 수 있다. 또한, 틸트 장치(830)는 표본 스테이지의 평면에 수직인 회전축을 중심으로 360° 회전될 수 있다. 원칙적으로, 틸트 장치(830)는 적어도 3개의 변형 예로 구현될 수 있다. 도 8에 개략적으로 도시된 제 1 실시 예에서, 틸트 축은 고정되어 있으며 도면의 평면에 수직이다. 회전 축은 도면의 평면에 있으며 회전의 축에 수직이다. 제 2 실시 예에서, 틸트 유닛 또는 틸트 장치는 회전 유닛 또는 회전 장치상에 놓인다. 이 예시적인 실시 예에서 회전축은 정지되어 있다. 예를 들어, 상기 회전축은 z-방향에 평행, 즉 전자 빔(715)에 평행하다. 제 3 실시 예에서, 표본(725), 예를 들어 마스크(150, 200)는 틸팅된다. 예로서, 이것은 2개의 높이 조절 가능 지지부로 구현될 수 있다. 마지막으로 명시된 예시적인 실시 예는 작은 틸트 각으로 제한된다.
- [0087] 표본(725)의 표면(815)상의 입사각(Φ_1)은 전자 빔(715)의 축을 기준으로 표본(730)을 회전시키는 추가 옵션 및 회전의 2개의 상호 수직인 축을 기준으로 표본 스테이지(730)의 회전에 의해 표본(725) 상의 각 지점에서 제어된 방식으로 감소될 수 있다. 장치(700)의 제어 장치(790)는 표본 스테이지(730)의 병진 이동 및 회전 운동 모두를 제어할 수 있다.
- [0088] 도 7로 돌아가면, 표본(725)은 처리, 예를 들어 국부 결함(250)의 수리를 필요로 하는 임의의 미세 구조화된 구성 요소 또는 구성 요소 부품일 수 있다. 따라서, 표본(725)은 예를 들어 투과성 또는 반사성 포토마스크(200) 및/또는 나노임프린트 기술을 위한 템플릿을 포함할 수 있다. 투과형 및 반사형 포토마스크(150, 200)는 모든 유형의 포토마스크, 예를 들어 이진 마스크, 위상-시프팅 마스크, OMOG 마스크, 또는 이중 또는 다중 노광을 위한 마스크를 포함할 수 있다.
- [0089] 또한, 도 7의 장치(700)는 예를 들어 원자력 현미경(AFM)(도 7에 미도시) 형태의 하나 이상의 스캐닝 프로브 현미경을 포함할 수 있으며, 이는 표본(725)을 분석 및/또는 처리하는 데 사용될 수 있다.
- [0090] 스캐닝 전자 현미경(710)의 열(720)은 적어도 하나의 축을 중심으로 피벗되거나 회전될 수 있다. 다이어그램(900)은 수평으로 배치된 표본 스테이지(730)에 대해 피벗된 상태의 열(720)의 표본 측 단부를 도시한다. 도 9에서, 피벗 장치(930)는 도면의 평면에 수직인 회전축 또는 피벗 축(930)에 의해 표시된다. 피벗 장치(930)는 SEM(710)의 열(720)을 적어도 한 방향으로 피벗할 수 있다. 그러나, 열(720)이 바람직하게는 서로 수직인 2개의 피벗 축을 따라 편향되도록 피벗 장치(930)를 구현하는 것이 가능하다. 스캐닝 전자 현미경(710)의 열(720)은 크고 무거우므로, 현재 피벗 장치(930)는 하나의 피벗 축을 중심으로만 회전 가능하게 구현되고 표본 스테이지(730)는 표본 스테이지 평면에 수직인 회전의 축을 중심으로 회전 가능하게 구현되는 것이 바람직하다. 추가의 예시적인 실시 예에서, 표본 스테이지(730)의 표면에 대해 90° 벗어난 고정된 각도로 장치(700)에 열(720)을 설치하는 것이 가능하다.

- [0091] 장치(700)는 표본 스테이지(730)를 위한 경사 장치(830)와 SEM(710)의 열(720)을 위한 피벗 장치(930)를 모두 가질 수 있다.
- [0092] 도 7로 돌아가면, 변형된 SEM(710)의 전자 빔(715)은 또한 전술한 바와 같이 표본(725)의 분석에 더하여 전자 빔 유도 퇴적 프로세스 및 EBIE 프로세스를 유도하는데 사용될 수 있다. 또한, 장치(700)의 SEM(710)의 전자 빔(715)은 EBID 프로세스를 수행하는데 사용될 수 있다. 도 7의 장치(700)는 이러한 프로세스를 수행하기 위한 목적으로 다양한 전구체 가스를 저장하기 위한 3개의 상이한 공급 용기(740, 750 및 760)를 갖는다.
- [0093] 제 1 공급 용기(740)는 전구체 가스, 예를 들어 금속 카보닐, 예를 들어 크롬 헥사카보닐($\text{Cr}(\text{CO})_6$), 또는 주족 금속 알콕사이드, 예를 들어 TEOS를 저장한다. 제 1 공급 용기(740)에 저장된 전구체 가스의 도움으로, 예를 들어 포토리소그래피 마스크(200)에서 누락된 재료가 국부 화학 퇴적 반응의 범위 내에서 그 위에 퇴적될 수 있다. 마스크(200)의 누락된 재료는 누락된 흡수체 재료, 예를 들어 크롬, 누락된 기판 재료(110), 예를 들어 석영, OMOG 마스크의 누락된 재료, 예를 들어 몰리브덴 실리사이드, 또는 반사 포토마스크의 다층 구조의 누락된 재료를 포함할 수 있다.
- [0094] 도 5와 관련하여 전술한 바와 같이, SEM(710)의 전자 빔(715)은 재료가 표본(725) 상에 퇴적되어야 하는 위치에서 제 1 공급 용기(740)에 저장된 전구체 가스를 분할하기 위한 에너지 공급원으로서 작용한다. 이는 전자빔(715)과 전구체 가스의 결합된 제공은 누락된 재료, 예를 들어 포토마스크(200)로부터 사라진 재료의 국부 퇴적을 위해 EBID(전자빔 유도된 퇴적) 프로세스가 수행됨을 의미한다. 장치(700)의 변형된 SEM(710)은 제 1 공급 용기(740)와 조합하여 퇴적 장치를 형성한다.
- [0095] 전자 빔(715)은 수 나노미터의 스폿 직경에 집중될 수 있다. 결과적으로, EBID 프로세스는 전형적으로 5nm 내지 20nm 범위의 공간 분해능을 갖는 누락된 재료의 국부 퇴적을 허용한다. 그러나, 전자 빔(715)의 작은 초점 직경은 도 4와 관련하여 논의된 바와 같이 큰 어퍼처 각 β 과 상관 관계가 있다.
- [0096] 도 7에 도시된 장치(700)에서, 제 2 공급 용기(750)는 에칭 가스를 저장하며, 이는 로컬 전자 빔-유도 에칭(EBIE) 프로세스가 수행될 수 있게 한다. 전자빔-유도 에칭 프로세스의 도움으로, 과잉 재료는 예를 들어 포토리소그래피 마스크(200)의 기판(110)의 표면(115)으로부터 과잉 재료(250) 또는 과잉 재료(250)의 결합이 표본(725)으로부터 제거될 수 있다. 예로서, 에칭 가스는 크세논 디플루오라이드(XeF_2), 할로젠 또는 니트로실 클로라이드(NOCl)를 포함할 수 있다. 결과적으로, 수정된 SEM(710)은 제 2 공급 용기(750)와 조합하여 국부 에칭 장치를 형성한다.
- [0097] 첨가제 또는 추가 가스는 제 3 공급 용기(760)에 저장될 수 있으며, 상기 첨가제 가스는 필요한 경우 제 2 공급 용기(750)에서 이용 가능하게 유지되는 에칭 가스 또는 제 1 공급 용기(740)에 저장된 전구체 가스에 첨가될 수 있다. 대안적으로, 제 3 공급 용기(760)는 제 2 전구체 가스 또는 제 2 에칭 가스를 저장할 수 있다.
- [0098] 도 7에 도시된 스캐닝 전자 현미경(710)에서, 각각의 공급 용기(740, 750 및 760)는 단위 시간당 제공되는 상응하는 가스의 양, 즉, 표본(725) 상의 전자 빔(715)의 입사 위치(722)에서의 가스 체적 유량을 모니터링 또는 제어하기 위해 자체 제어 밸브(742, 752 및 762)를 갖는다. 제어 밸브(742, 752 및 762)는 제어 장치(790)에 의해 제어 및 모니터링된다. EBID 및/또는 EBIE 프로세스를 넓은 범위에서 수행하기 위해 처리 위치(722)에 제공된 가스 또는 가스들의 부분 압력 조건을 설정하는 것이 가능하다.
- [0099] 또한, 도 7의 예시적인 SEM(710)에서, 각각의 공급 컨테이너(740, 750 및 760)는 자신의 가스 공급 라인 시스템(745, 755 및 765)을 가지며, 이는 표본(725)상의 전자빔(715)의 입사 지점(722) 부근에서 노즐(747, 757 및 767)로 끝난다.
- [0100] 공급 용기(740, 750 및 760)는 그들 자신의 온도 설정 요소 및/또는 제어 요소를 가질 수 있으며, 이는 상응하는 공급 용기(740, 750 및 760)의 냉각 및 가열을 모두 허용한다. 이는 개별적으로 최적의 온도에서 에칭 가스(들) 및/또는 전구체 가스를 특히 제공하고 저장하는 것을 가능하게 한다(도 7에 미도시). 제어 장치(790)는 공급 용기(740, 750, 760)의 온도 설정 요소 및 온도 제어 요소를 제어할 수 있다. EBID 및 EBIE 처리 프로세스 동안, 공급 용기(740, 750 및 760)의 온도 설정 요소는 또한 적절한 온도의 선택에 의해 저장된 전구체 가스의 증기압을 설정하는데 사용된다.
- [0101] 장치(700)는 2개 이상의 전구체 가스를 저장하기 위해 하나 이상의 공급 용기(740)를 포함할 수 있다. 또한, 장치(700)는 2개 이상의 에칭 가스(도 7에 미도시)를 저장하기 위해 하나 이상의 공급 용기(750)를 포함할 수 있다.

- [0102] 도 7에 도시된 스캐닝 전자 현미경(710)은 진공 챔버(770)에서 작동된다. EBID 및 EBIE 프로세스를 구현하는 것은 대기압에 대한 진공 챔버(770)의 음압이 필요하다. 이를 위해, 도 7의 SEM(710)은 진공 챔버(770)에 요구되는 부압을 발생시키고 유지하기 위한 펌프 시스템(772)을 포함한다. 폐쇄된 제어 밸브(742, 752 및 762)에서, 10^{-4} Pa 미만의 잔류 가스 압력은 진공 챔버(770)에서 성취된다. 펌프 시스템(772)은 SEM(710)의 전자 빔(715)을 제공하기 위해 진공 챔버(770)의 상부 및 하부(775) 또는 반응 챔버(775)를 위한 별도의 펌프 시스템을 포함할 수 있다(도 7에 미도시).
- [0103] 장치(700)는 컴퓨터 시스템(780)을 포함한다. 컴퓨터 시스템(780)은 표본(725) 위에서 전자 빔(725)을 스캔하는 스캐닝 유닛(782)을 포함한다. 또한, 컴퓨터 시스템(780)은 장치(700)의 변형된 스캐닝 입자 현미경(710)의 다양한 파라미터를 설정 및 제어하기 위한 제어 유닛(790)을 포함한다. 또한, 제어 유닛(790)은 표본 스테이지(730)의 경사 장치(830) 및 SEM(710)의 열(720)의 피벗 장치(930)를 제어할 수 있다.
- [0104] 또한, 컴퓨터 시스템(780)은 검출기(717 및 719)로부터의 측정 신호를 분석하고 그로부터 이미지를 생성하는 평가 유닛(785)을 포함하며, 상기 이미지는 컴퓨터 시스템(780)의 디스플레이(795) 상에 디스플레이된다. 특히, 평가 유닛(785)은 검출기(717)의 측정 데이터로부터, 예를 들어 포토리소그래피 마스크(200)의 표본(725)의 누락된 재료 결함 및/또는 과잉 재료(250)의 결함의 위치 및 윤곽을 결정하도록 설계된다. 또한 평가 유닛(785)은 마스크(200)의 분석된 결함(250)에 대응하는 수리 형상의 결정을 허용하는 하나 이상의 알고리즘을 포함한다. 또한, 컴퓨터 시스템(780)의 평가 유닛(785)은 하나 이상의 알고리즘을 포함할 수 있다. 알고리즘(들)은 표본 스테이지(730)의 경사 장치(830)의 각도 변화 및/또는 전자의 운동 에너지로부터 SEM(710)의 열(720)의 피벗 장치(930)의 각도 변화를 입자 빔(715) 및/또는 에칭되거나 퇴적될 재료 조성물로부터의 입자 빔의 전자의 운동 에너지로부터 결정할 수 있다. 또한, 평가 유닛(785)의 알고리즘은 편향 장치의 파라미터를 확인할 수 있다. 전자 빔(715)을 위한 편향 장치의 예는 도 10 및 도 11을 기초로 아래에 설명된다. 평가 유닛(785)의 알고리즘은 하드웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합으로 구현될 수 있다.
- [0105] 평가 유닛(785)은 또한 검출기(719)의 측정 데이터로부터 처리될 위치에 대한 임시 보호 층의 면적 및 포지셔닝을 확인하도록 설계될 수 있다. 국부 처리 위치 주위에 적어도 부분적으로 임시 보호 층의 적용하는 것은 예를 들어 마스크(200)의 기관(110)의 일부와 같이 수행되는 국부 처리 프로세스와 관련되지 않은 표본(725)의 영역이 손상되거나 파손되는 것을 상당히 방지할 수 있다. 컴퓨터 시스템(780)의 제어 유닛(790)은 예를 들어 EBIE 프로세스를 수행함으로써 임시 보호 층의 퇴적 및 이의 제거 모두를 제어한다. 대안적인 실시 예에서, 임시 보호 층은 표본(725)의 세정 프로세스, 예를 들어 습식 화학 세정 프로세스 동안 표본(725)으로부터 제거된다.
- [0106] 컴퓨터 시스템(780) 및/또는 평가 유닛(785)은 메모리(도 7에 미도시), 바람직하게는 비휘발성 메모리를 포함할 수 있으며, 이는 다양한 마스크 유형에 대한 하나 이상의 수리 형상 모델을 저장한다. 평가 유닛(785)은 수리 모델에 기초하여 검출기(717)의 측정 데이터로부터 포토리소그래피 마스크(200)의 결함(250)에 대한 수리 형상을 계산하도록 설계될 수 있다.
- [0107] 도 7에 특정된 바와 같이, 평가 유닛(785)은 컴퓨터 시스템(780)에 통합될 수 있다. 그러나, 평가 유닛(785)을 장치(700) 내부 또는 외부의 독립적인 유닛으로서 구현하는 것이 또한 가능하다. 특히, 평가 유닛(785)은 전용 하드웨어 구현에 의해 그의 작업 중 일부를 수행하도록 설계될 수 있다.
- [0108] 컴퓨터 시스템(780)은 장치(700)에 통합되거나 독립된 기구(도 7에 미도시)로서 구현될 수 있다. 컴퓨터 시스템(780)은 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어 또는 조합으로 구성될 수 있다.
- [0109] 도 10의 다이어그램(1000)은 도 2의 포토리소그래피 마스크(200)상의 전자 빔(715)의 입사 지점(1022)의 영역에서 장치(700)의 확대된 발체도를 도시한다. 도 10에 도시된 예에서, 포토리소그래피의 마스크(200)의 기관(110)은 3-지점 베어링에 의해 표본 스테이지(1050) 상에 배치된다. 포토마스크(200)는 중력 작용에 의해 그 위치에 유지된다. 다이어그램(1000)의 섹션은 3-지점 베어링의 3개의 구(1020) 중 2개를 도시한다.
- [0110] 편향 장치(1050)는 장치(700)에서 SEM(710)의 열(720)의 출력과 포토마스크(200) 사이에 설치된다. 편향 장치(1050)는 자기 편향 시스템(1030)을 포함하며, 이는 예를 들어 코일 쌍 또는 하나 이상의 영구 자석(도 10에 미도시)의 형태로 구현될 수 있다. 도 10에 도시된 예에서, 자기 편향 시스템(1030)은 자기장(1010)을 생성하는데, 이 필드 라인은 도면의 평면에 수직이고 도면의 평면으로 향한다. 전자 빔(715)의 전자는 열(720)을 떠날 때 자기 편향 시스템(1030)에 의해 생성된 자기장(1010)에 의해 편향되고, 상기 전자는 곡선 경로(1015)를 횡단한 후 입사 지점(1022)에서 포토리소그래피 마스크(200)에 부딪힌다. 예를 들어, 전자 빔(715)의 전자는 과잉 재료(250)의 결함에 도달한다. 마스크(200)상의 전자 빔(715)의 입사 지점(1022)은 도 7의 장치

(700)의 입사 지점(722)과 상이하다. 또한, 자기 편향 시스템(1030)의 자기장(1010)에 의해 편향된 빔(715)은 도 7로부터 전자 빔(715)의 입사 각보다 작은 각도 Φ_3 로 마스크(200)에 부딪힌다. 자기 편향 시스템(1030)에 의해 연장된 전자의 경로(1015)는, 전자 빔(715)을 포커싱할 때 고려된다.

- [0111] 자기 편향 시스템(1030)은 동종 또는 불균일 자기장(1010)을 생성할 수 있다. 자기장(1010)의 강도는 컴퓨팅 시스템(780)의 제어 유닛(785)에 의해 설정될 수 있다.
- [0112] 도 10에 재현된 예에서, 자기 편향 시스템(1030)은 도면의 평면을 통해 수직 방향으로 필드 라인이 통과하는 균질한 자기장(1010)을 생성한다. 그러나, 자기 편향 시스템(1030)은 또한 예를 들어 도면의 평면에 평행하게 연장되는 제 2 자기장을 생성할 수 있다. 서로 실질적으로 직교하는 2개의 자기장의 도움으로, 자기 편향 시스템(1030)은 2개의 자기장의 전체 강도를 수정함으로써 전자 빔(715)의 극각뿐만 아니라 방위각을 설정할 수 있다. 이것은 전자 빔(715)이 입사각 Φ_3 에서 포토리소그래피 마스크(200)의 패턴 요소(120)의 다른 측면에 도달할 수 있게 한다.
- [0113] 도 10에서, 자기 편향 시스템(1030)은 SEM(710)의 열(720)과 분리되거나 독립적인 유닛(1050)으로서 장치(700)에 설치된다. 그러나 자기 편향 시스템(1030)은 열(720)의 출력에서 SEM(710)에 통합될 수도 있다.
- [0114] 도 11은 편향 장치(1050)의 제 2 예시적인 실시 예를 도시한다. 도 11에서 재생된 예에서, 편향 장치(1050)는 전기 편향 시스템(1130)을 포함한다. 도 11에서, 전기 편향 시스템(1130)은 2개의 추가 편향 플레이트 쌍(1110, 1120)에 의해 실현되고, 후자의 열(720)의 SEM(710)의 전자 광학 오브젝티브 렌즈(1150)의 업스트림에 설치된다. 제 1 편향 플레이트 쌍(1110)은 SEM(710)의 축(1160) 또는 전자-광 축(1160)으로부터 전자 빔(715)을 편향시킨다. 제 2 편향 플레이트 쌍(1120)은 편향된 전자 빔(1115)이 실질적으로 전자 광학 오브젝티브 렌즈(1150)의 중심을 통과하도록 설계되고 배치된다. 이 빔 가이드는 편향된 전자 빔(1115)이 전자 광학 오브젝티브 렌즈(1150)로 인해 상당한 이미징 수차를 겪는 것을 방지한다.
- [0115] 도 11로부터 알 수 있는 것은 전기 변형 시스템(1130)에 의해 편향된 전자 빔(1115)이 도 7로부터의 입사각에 비해 상당히 감소된 각도 Φ_4 로 표본(725) 상에 입사된다는 것이다. 또한, 편향된 전자빔(1115)은 도 7의 전자빔의 입사 지점(722)과 다른 표본(725)의 표면(815) 상의 위치(1122)에 부딪힌다. 표본(725)의 표면(815)상의 입사각(Φ_4)은 전기 편향 시스템(1130)의 편향 플레이트 쌍(1110, 1120)에 적용되는 전압의 변화에 의해 설정될 수 있다. 제어 장치(790)는 전기 편향 시스템(1130)을 제어할 수 있다. 평가 유닛(785)은 결함에 대해 확인된 수리 형태를 기초로 전기 편향 시스템(1130)의 설정을 확인할 수 있다.
- [0116] 도 11에 도시된 예에서, 전기 편향 시스템(1130)은 전자 광학 축(1160)에 대한 방향으로 전자 빔(715)을 편향시키도록 구현된다. 물론, 전기 편향 시스템(1130)은, 후자가, SEM(710)의 전자 광학 축(1160)에 대하여 2개의 상이한 방향으로 편향 시스템(1130)을 통과하는 전자 빔(715)을 편향시킬 수 있는 방식으로 설계될 수 있다.
- [0117] 또한, 자기 편향 시스템(1030)과 전기 편향 시스템(1130)은 하나의 편향 장치(1050)에 결합될 수 있다. 또한, 틸트 장치(830)는 편향 장치(1050)와 조합하여 사용될 수 있다. 또한, 피벗 장치(930)는 편향 장치(1050)와 조합될 수 있다.
- [0118] 도 12 및 도 13은, 표본(725), 예를 들어 포토마스크(150)의 국부 처리 동안 발생하는 도 4 및 도 5에 설명된 어려움이 표본(725)의 표면(815) 상의 시변(time-varying) 입사 빔의 평균 입사각을 감소시킴으로써 크게 제거될 수 있는 방법을 도시한다. 도 12의 상부 부분 이미지(1205)는 포토리소그래피 마스크(150)상의 전자 빔(410)의 입사를 시각화하고, 전자 빔(410)의 입사각은 도 2에 비해 각도 Φ 만큼 감소되었다. 입사 각($90^\circ - \Phi$)을 감소시킬 수 있는 가능성은 도 7 내지 도 11과 관련하여 위에서 설명되었다. 도 12의 하부 부분 이미지(1255)는 도 4와 유사한 방식으로 초점(420)에서의 전자 빔(410)의 강도 분포를 나타낸다. 도 12에 도시된 바와 같이, 포토리소그래피 마스크(150)의 표면(115)상에서 전자 빔(410)의 평균 입사각($90^\circ - \Phi$)을 감소시키면, 큰 어퍼처 각 β 이 포토마스크(150)의 패턴 요소(120)에 의해 눈에 띄게 그림자가 형성되지 않고도, 전자 빔(410)이 초점에서 작은 스폿 직경(450)상에 집중되는 것을 가능하게 한다.
- [0119] 도 13은, 포토마스크(150)의 표면(115, 125, 170)상의 전자 빔(410)의 평균 입사각이 도 12에서와 마찬가지로 각도 Φ 만큼 감소되는, 포토리소그래피 마스크(150)의 측벽(170) 또는 에지(160)를 처리할 때 전자 빔(410)의

상호 작용 영역을 도시한다. 마스크(150)의 기관(110)을 처리하는 것과 관련하여 도 5와 관련된 설명을 참조한다. 도 5와 달리, 상호 작용 영역(1450)은 더는 변형이 거의 없다. 감소된 입사각($90^\circ - \theta$)으로 에지(160) 또는 측벽(170)을 처리할 때 더 변형되지 않는다. 예로서, 이는 측벽(170)의 경사각 α 이 국부 EBIE 프로세스에 의해 크게 변경되지 않으면서 에지(160) 또는 측벽(170)이 EBIE 프로세스에 의해 에칭될 수 있음을 의미한다. 또한, 국부 에칭 프로세스가 수행될 때 기관(110)의 표면(115)이 눈에 띄게 부착되지 않는다.

[0120] 도 14의 다이어그램(1400)은 포토리소그래피 마스크(150)의 기관(110)상의 패턴 요소(120)의 측벽(170)을 따라 재료(1420)의 퇴적에 의해 누락된 재료의 결합의 교정을 나타낸다. 퇴적의 구현과 대조적으로 도 6에서 설명된 바와 같이, 포토마스크(150)의 표면(115, 125, 170)상의 입자 빔(410)의 평균 입사각($90^\circ - \theta$)은 프로세스가 시작되기 전에 도 12 및 도 13에서와 같이 감소되었다. 도 14로부터 수집될 수 있는 것은 퇴적물(1420)이 포토마스크(150)의 설계에 의해 미리 결정된 바와 같이 90° 의 각도로부터 약간 벗어난 에지(1460) 또는 측벽(1470)으로 퇴적된다는 것이다. 그러나, 편차는 도 6에 관한 논의의 범위 내에서 설명되는 EBID 프로세스의 슬로프 각도에 비해 작다. 또한, 곡률 반경(1480 및 1485)은 포토마스크(150)의 무결점 패턴 요소(120)의 반경보다 크게 크지 않다. 도 14의 범위 내에서 설명된 퇴적 프로세스는 포토리소그래피 마스크(150)의 기관(110)의 표면(115)상에 실질적으로 재료(1420)를 퇴적하지 않는다.

[0121] 도 15의 다이어그램(1590)은 포토리소그래피 마스크(1500)의 전자 현미경 기록의 발체도(1505)를 도시한다. 발체도(1505)는 마스크(1500)의 기관(1510) 상에 배치된 패턴 요소(1520)의 에지(1530)를 도시한다. 패턴 요소(1520) 및 그러므로 마스크(1500)는 누락된 패턴 재료(1550)의 결합을 갖는다. 블랙 바(1560)는 결합(1550)을 복구하는데 사용되는 전자 빔(715)의 스캔 영역의 폭을 지정한다. 누락된 패턴 재료(1550)의 결합은 결합 영역(1550)에 재료를 퇴적함으로써 교정되며, 퇴적된 재료는 패턴 요소(1520)의 재료에 가능한 한 근접한 광학 특성을 갖는다.

[0122] 도 16의 다이어그램(1690)은 누락된 패턴 재료(1550)의 결합의 수리 후 포토리소그래피 마스크(1500)의 발체도(1505)의 전자 현미경 기록을 나타낸다. 결합(1550)은 EBID 프로세스에 의해 재료를 퇴적함으로써 수리된다. 국부 전자 빔-유도된 퇴적 프로세스를 개시하기 위해, 전자 빔(410)은 기관(1510)의 표면(115)상의 전자 빔(715)의 평균 입사각이 90° 미만인 되도록 정면으로부터 비스듬하게 수직 방식으로 결합 위치(1550) 상에 지향되지 않는다. 전자 빔(410)은 마찬가지로, 발체도(1505)가 기록될 때 전방으로부터 비스듬하게 포토리소그래피 마스크(1500) 상에 입사한다. 수리된 결합(1550)은 도 16에서 참조 부호(1660)로 표시되어 있다. 패턴 요소(1520)의 에지(1530)는 도 15에서보다 도 16에서 덜 선명하게 묘사되어 있다.

[0123] 도 16으로부터 알 수 있는 것은 결합(1550)을 복구하기 위한 EBID 프로세스가 포토리소그래피 마스크(1500)의 결합 위치 앞의 영역(1620)에서 기관(1510) 상에 어떠한 재료도 거의 퇴적하지 않았다는 것이다. 따라서, 마스크(1500)의 기관(1510)의 투과는 수리 프로세스에 의해 손상되지 않는다.

[0124] 그러나, 결합(1550)에 대한 수리 프로세스가 패턴 요소(1520) 상에 상당한 양의 재료를 퇴적한 것이 도 16으로부터 명확하게 식별될 수 있다. 이는 도 16에서 참조 부호(1650)로 표시된 헤일로로부터 명백하다.

[0125] 패턴 요소(1520)가 예시적인 방식으로 도 15 및 도 16에 도시된 포토마스크(1500)의 경우와 같이 이진 포토마스크(1500)의 패턴 요소인 경우, 패턴 요소상의 헤일로(1650)의 추가 흡수체 재료는 포토리소그래피 마스크(1500)의 기능을 손상시키지 않는다.

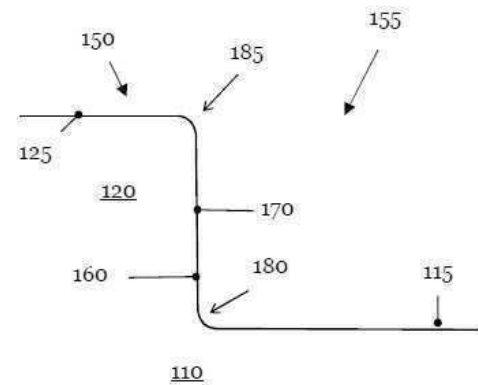
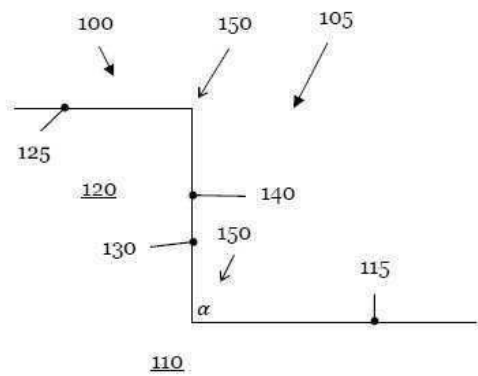
[0126] 대조적으로, 패턴 요소(1520)가 위상-시프팅 마스크의 구조 요소(1520)이면, 복구 프로세스에 의해 생성된 할로(1650)는 복구된 포토마스크를 상당히 손상시킬 것이다. 이를 방지하기 위해, 패턴 요소(1520)는 누락된 패턴 재료(1550)의 결합을 수리하기 위한 EBID 프로세스가 수행되기 전에(도 16에 미도시) 헤일로(1650) 영역에서 임시 보호 층으로 덮일 수 있다. 임시 보호 층은 마찬가지로 입자 빔-유도 퇴적 프로세스의 도움으로 퇴적될 수 있다. 재료 또는 재료 조성물은 임시 보호 층을 위한 재료로서 선택되어, 임시 보호 층은 결합을 수리하기 위해 퇴적된 상기 임시 보호층 상에 위치한 재료와 함께 수리된 포토리소그래피 마스크(1500)로부터 용이하게 제거될 수 있다. 임시 보호 층은 장치(700)를 사용하여 EBIE 프로세스를 수행함으로써 제거될 수 있다. 대안적으로, 보호 층은 예를 들어 포토리소그래피 마스크(1500)에 대한 세정 프로세스 범위 내에서, 예를 들어 습식 화학 세정에 의해 구현될 수 있다.

[0127] 마지막으로, 도 17의 흐름도(1700)는 소형 형태로 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)를 처리하기 위한 방법의 필수 단계를 제시한다. 방법은 단계(1710)에서 시작한다. 적어도 하나의 전구체 가스가 다음 단계(1720)에

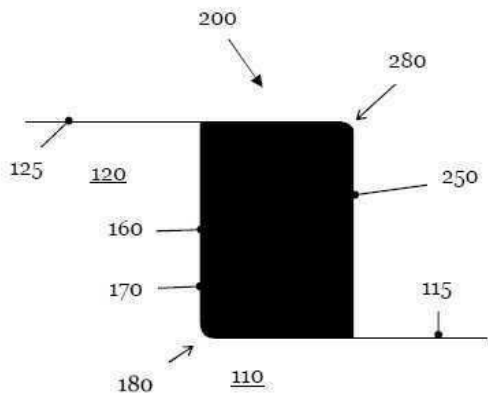
서 제공된다. 적어도 하나의 전구체 가스는 장치(700)의 공급 용기(740, 750, 760) 중 하나에 저장될 수 있고, 전자 빔(410, 710)이 표본(725) 상에 입사되는 위치까지의 가스 공급 라인 시스템(745, 755, 765)에 의해 가이드될 수 있다. 그에 따라, 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)상의 국부 퇴적 반응 및/또는 국부 에칭 반응은 단계(1730)에서 전구체 가스에 시변 입자 빔(410, 710)이 작용하게 함으로써 단계(1730)에서 수행된다. 시변 입자 빔(410, 710)과 포토리소그래피 마스크(150, 200, 1500)의 표면(115) 사이의 평균 입사각은 국부 퇴적 반응 및/또는 국부 에칭 반응의 적어도 일부를 수행하는 동안 단계(1740)에서 감소된다. 방법은 단계(1750)에서 종료된다.

도면

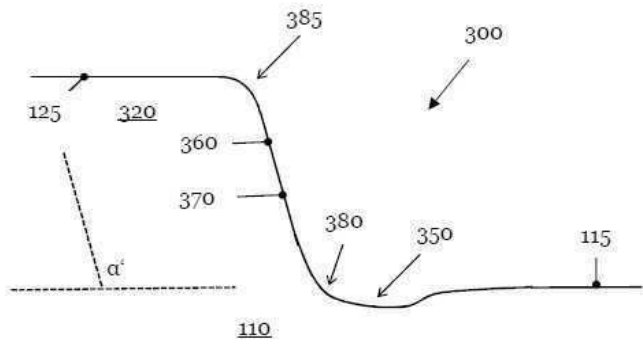
도면1



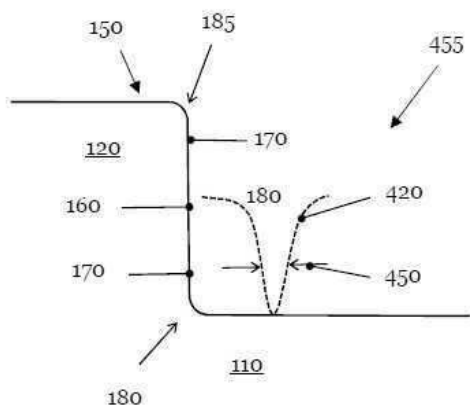
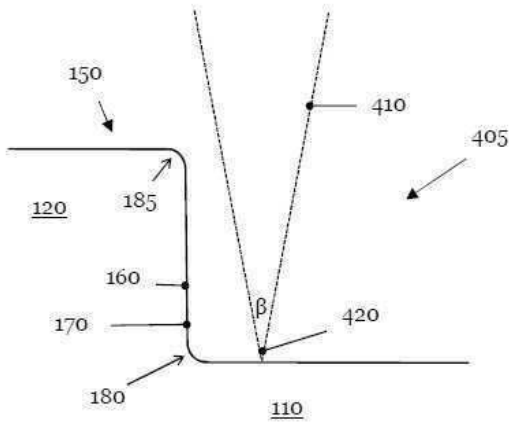
도면2



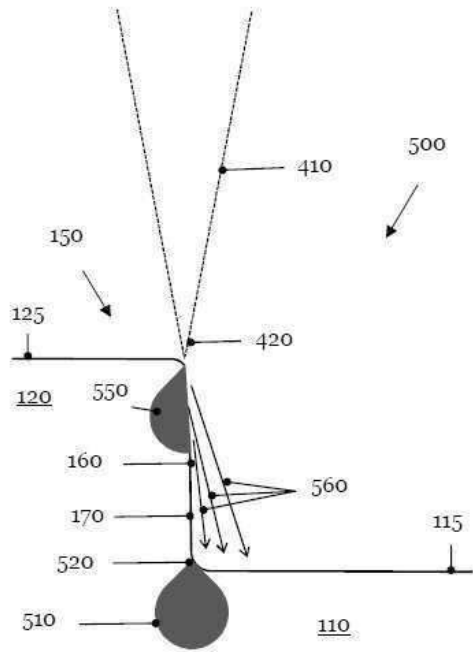
도면3



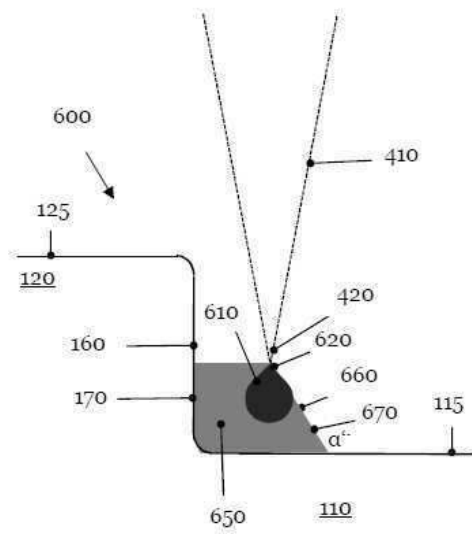
도면4



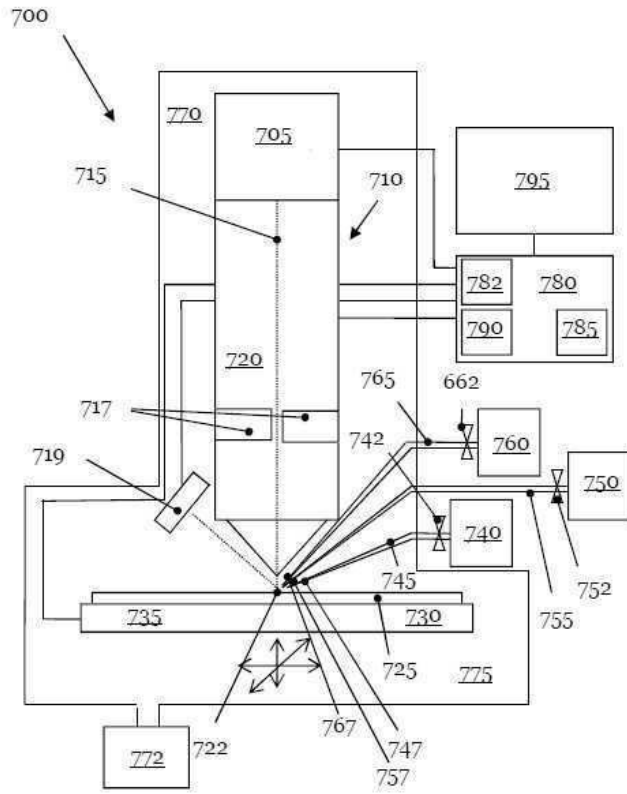
도면5



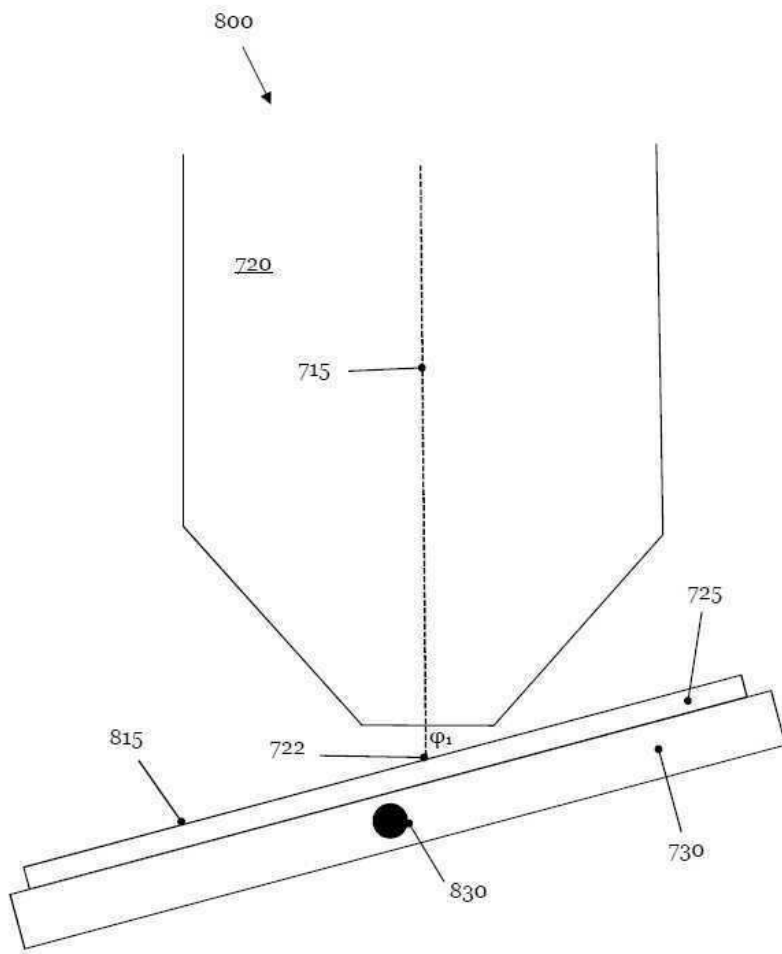
도면6



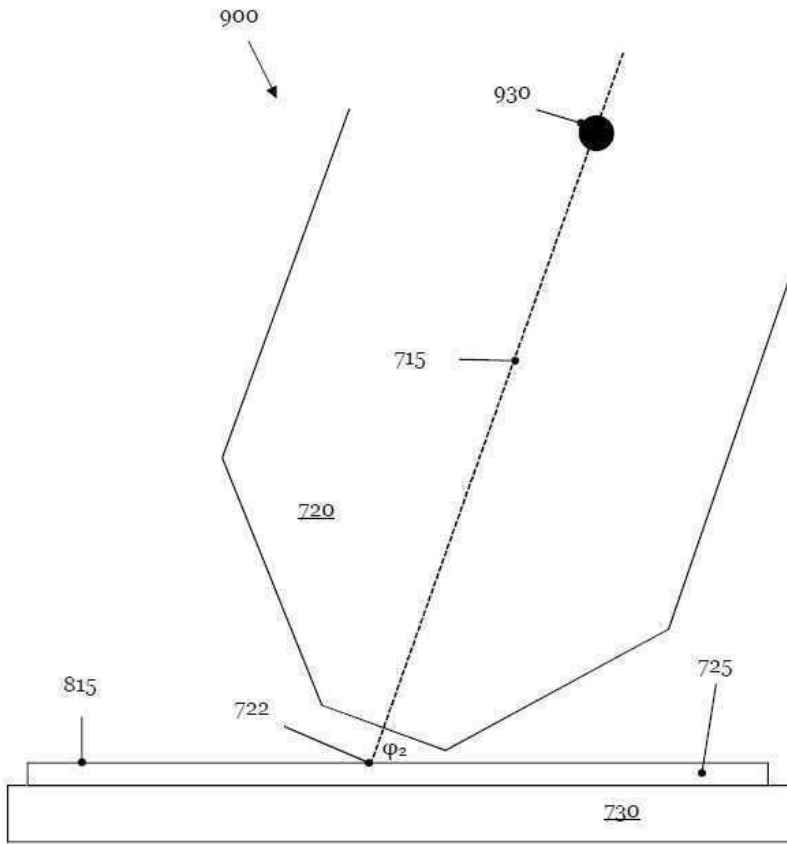
도면7



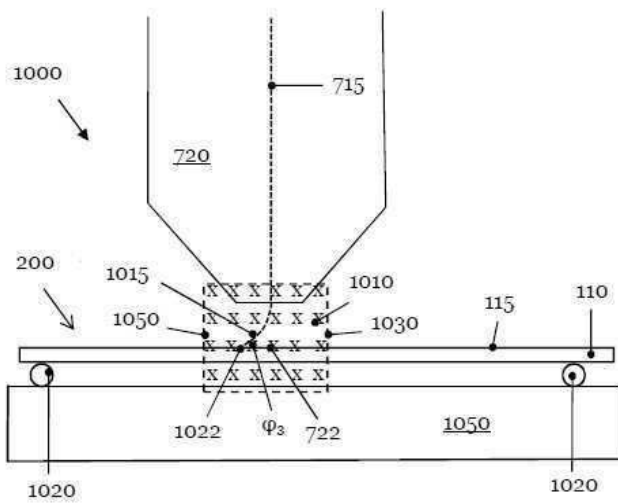
도면8



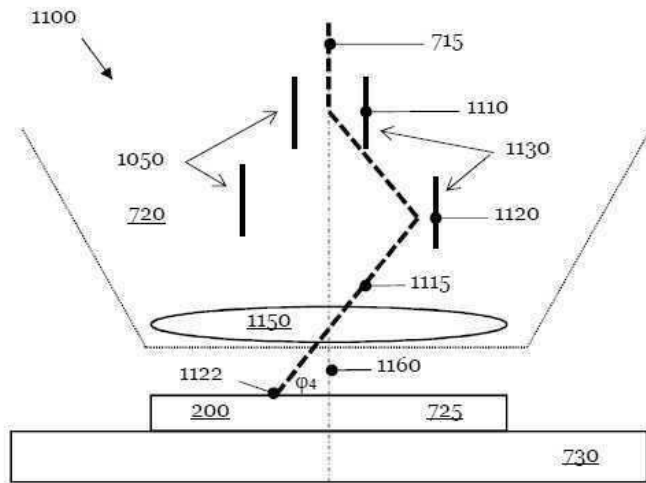
도면9



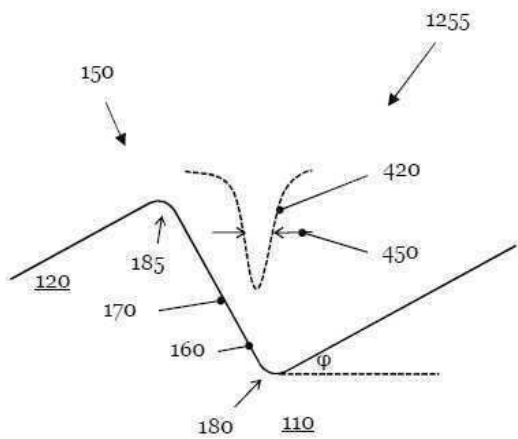
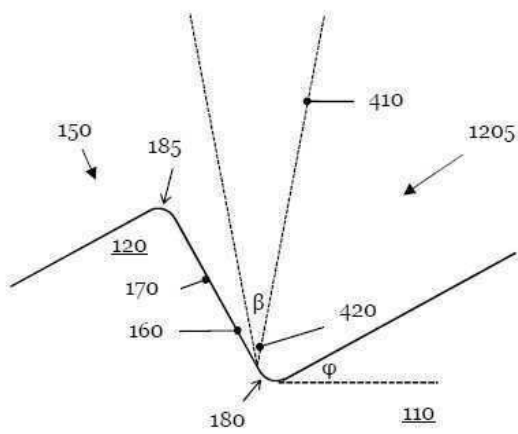
도면10



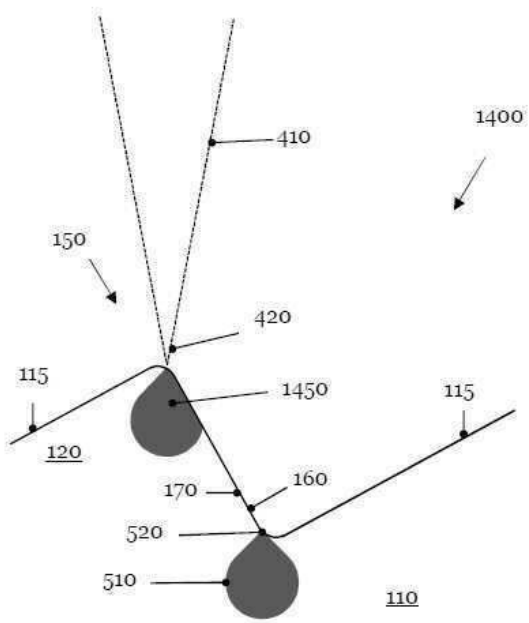
도면11



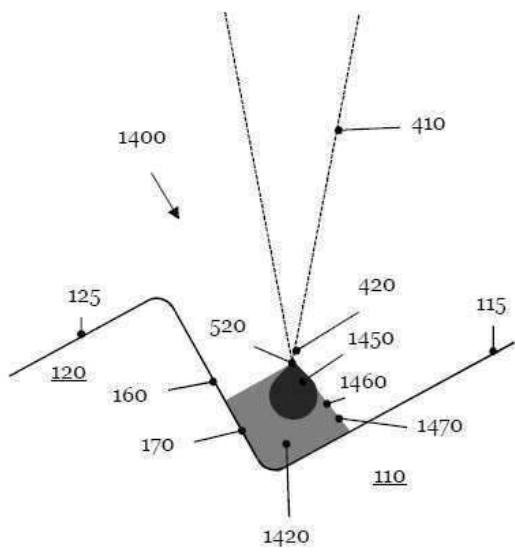
도면12



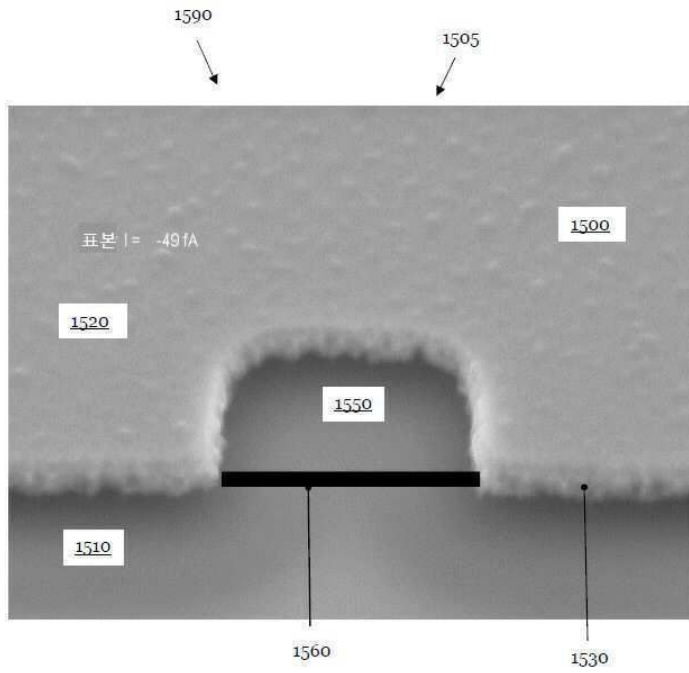
도면13



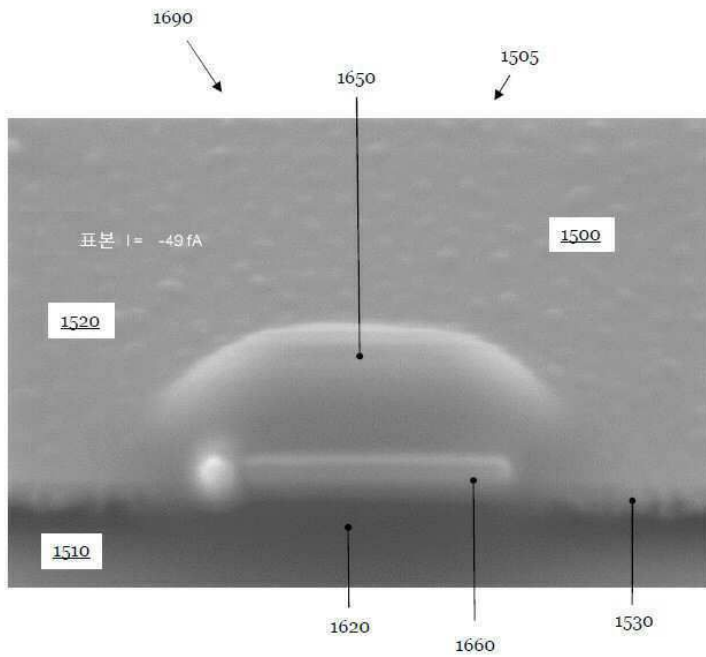
도면14



도면15



도면16



도면17

