



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월19일

(11) 등록번호 10-2179897

(24) 등록일자 2020년11월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01J 37/28 (2006.01) H01J 37/09 (2006.01)

H01J 37/10 (2006.01) H01J 37/153 (2006.01)

H01J 37/22 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01J 37/28 (2020.05)

H01J 37/09 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-7018963

(22) 출원일자(국제) 2017년11월27일

심사청구일자 2019년07월01일

(85) 번역문제출일자 2019년07월01일

(65) 공개번호 10-2019-0089963

(43) 공개일자 2019년07월31일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2017/080506

(87) 국제공개번호 WO 2018/099854

국제공개일자 2018년06월07일

(30) 우선권주장

15/366,482 2016년12월01일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2009505384 A*

JP2015111571 A*

US20150155134 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

어플라이드 머티리얼즈 이스라엘 리미티드

이스라엘 레호보트 파크 래빈 오픈하이머 스트리트 9 (우: 76705)

테크니셰 유니버시테이트 델프트

네덜란드, 엔엘-2628 시엔 델프트, 스테빈웨그 1

(72) 발명자

프로신, 유르겐

독일 85521 리메를링 쿠프스타이너스트라세 16에이

크루이트, 피터

네덜란드 2611이비 델프트 쿠른마크트 49

(74) 대리인

양영준, 백만기

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 오제욱

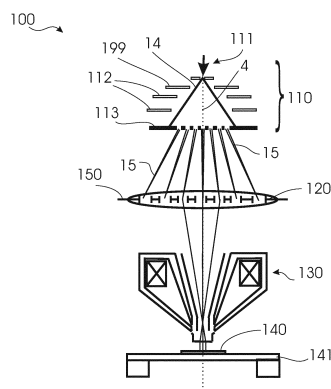
(54) 발명의 명칭 시료를 검사하기 위한 방법 및 하전 입자 다중-빔 디바이스

(57) 요약

하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법이 설명된다. 방법은, 하전 입자 빔 방출기를 이용하여 1차 하전 입자 빔을 생성하는 단계; 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위해 1차 하전 입자 빔으로 다중-애퍼처 렌즈 판을 조명하는 단계; 적어도 2개의 전극들을 이용하여 필드

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



곡률을 보정하는 단계 - 적어도 2개의 전극들은 애퍼처 개구부들을 포함함 -; 1차 하전 입자 빔렛들을 렌즈를 이용하여 대물 렌즈 쪽으로 지향시키는 단계; 렌즈 내에 배열된 편향기 어레이를 통해 1차 하전 입자 빔렛들을 안내하는 단계 - 렌즈 및 편향기 어레이의 조합된 작용은 1차 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 지향시킴 -; 및 1차 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈를 이용하여 시료 상의 개별 위치들 상에 집속하는 단계를 포함한다.

(52) CPC특허분류

H01J 37/10 (2013.01)

H01J 37/153 (2013.01)

H01J 37/226 (2013.01)

H01J 2237/0453 (2013.01)

H01J 2237/0475 (2013.01)

H01J 2237/0492 (2013.01)

H01J 2237/103 (2013.01)

H01J 2237/1534 (2013.01)

H01J 2237/1536 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법으로서,

하전 입자 빔 공급원의 하전 입자 빔 방출기를 이용하여 1차 하전 입자 빔을 생성하는 단계;

집속된 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위해, 다중-애퍼처 렌즈 판을 상기 1차 하전 입자 빔으로 조명하는 단계;

적어도 2개의 전극들을 이용하여 상기 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하는 단계 — 상기 적어도 2개의 전극들은 애퍼처 개구부들을 포함함 —;

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 렌즈를 이용하여 상기 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈 쪽으로 지향시키는 단계;

상기 렌즈 내에 배열된 편향기 어레이를 통해 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 안내하는 단계 — 상기 렌즈와 상기 편향기 어레이의 조합된 작용은 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 상기 하전 입자 빔 디바이스의 상기 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 지향시킴 —; 및

시료를 상기 시료 상의 개별 위치들에서 동시에 검사하기 위해 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 상기 대물 렌즈를 이용하여 상기 개별 위치들 상에 집속하는 단계를 포함하는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적어도 2개의 전극들을 이용하여 상기 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하는 단계는, 상기 적어도 2개의 전극들을 상기 하전 입자 빔 공급원과 상기 다중-애퍼처 렌즈 판 사이에 배치하는 것을 포함하는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 적어도 2개의 전극들을 이용하여 상기 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하는 단계는, 상기 적어도 2개의 전극들을, 상기 1차 하전 입자 빔 또는 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 감속시키는 감속 모드로 작동시키는 것을 포함하는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 적어도 2개의 전극들을 이용하여 상기 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하는 단계는, 상기 적어도 2개의 전극들을 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 전파 방향으로 상기 다중-애퍼처 렌즈 판 뒤에 배치하는 것을 포함하는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 적어도 2개의 전극들을 이용하여 상기 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하는 단계는, 상기 적어도 2개의 전극들을, 상기 1차 하전 입자 빔 또는 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 가속시키는 가속 모드

로 작동시키는 것을 포함하는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 렌즈는: 정전 렌즈, 조합된 정전-자기 렌즈, 자기 렌즈 및 회전이 자유로운 자기 렌즈 이중렌즈로 구성되는 군으로부터 선택되는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

신호 하전 입자 빔렛들은 상기 시료 상에서의 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 충돌 또는 후방산란 시에 생성되고, 상기 신호 하전 입자 빔렛들은 상기 렌즈와 상기 대물 렌즈 사이에 배열된 빔 분리기의 자기장에 의해 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이로부터 분리되는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 편향기 어레이는 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 개별적으로 정렬시키기 위한 복수의 사중극자 요소들을 포함하는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이는 적어도 3개의 1차 하전 입자 빔렛들을 포함하는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 상기 시료 상에 충돌시키는 단계를 더 포함하고, 상기 1차 하전 입자 빔렛들 각각은, 상기 시료 상에 스폿을 제공하고, 상기 스폿은 20 nm 미만의 스폿 크기를 갖는, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 상기 시료의 개별 위치들 상에 충돌시키는 단계를 더 포함하고, 상기 시료 상에서의 충돌 시에 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 상기 하전 입자 빔렛들 중 임의의 것 사이의 최소 거리는 150 μm 미만인, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법.

청구항 12

1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스로서,

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위한 하전 입자 빔 공급원 — 상기 하전 입자 빔 공급원은:

1차 하전 입자 빔을 방출하기 위한 하전 입자 빔 방출기,

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하고 집속하기 위해 적어도 2개의 개구부들을 포함하는 다중-애퍼처 렌즈 판 — 상기 다중-애퍼처 렌즈 판은 상기 1차 하전 입자 빔으로 조명되도록 배열됨 — 을 포함함

—;

상기 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하기 위한 필드 곡률 보정 디바이스 — 상기 필드 곡률 보정 디바이스는 상기 1차 하전 입자 빔 또는 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이가 통과하는 애퍼처 개구부들을 갖는 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들을 포함함 —;

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 상기 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈로 지향시키도록 구성된 렌즈;

상기 렌즈 내에 배열된 편향기 어레이 — 상기 렌즈 및 상기 편향기 어레이는 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 상기 렌즈와 상기 편향기 어레이의 조합된 작용에 의해 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 지향시키도록 구성됨 —; 및

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 각각의 1차 하전 입자 빔렛을 감속시키고 상기 시료 상의 개별 위치에 집속하기 위한 대물 렌즈를 포함하는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 필드 곡률 보정 디바이스는 상기 하전 입자 빔 방출기와 상기 다중-애퍼처 렌즈 판 사이에 배치되는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 필드 곡률 보정 디바이스는 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 전과 방향으로 상기 다중-애퍼처 렌즈 판 뒤에 배치되는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 렌즈는 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 전과 방향으로 상기 다중-애퍼처 렌즈 판 직후에 배치되는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 렌즈는: 정전 렌즈, 조합된 정전-자기 렌즈, 자기 렌즈 및 회전이 자유로운 자기 렌즈 이중렌즈로 구성되는 군으로부터 선택되는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스.

청구항 17

제12항에 있어서,

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 상기 1차 하전 입자 빔렛들 각각은 상기 시료 상에 스폿을 제공하고, 상기 스폿은 20 nm 미만의 스폿 크기를 갖는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스.

청구항 18

제12항에 있어서,

상기 시료 상에서의 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 충돌 또는 상기 시료로부터 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 후방산란 시에 생성된 신호 하전 입자 빔렛들로부터 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 분리하기 위한 빔 분리를 더 포함하는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스.

청구항 19

시료를 이미지화하도록 구성된 적어도 2개의 하전 입자 빔 디바이스들을 갖는 다중-컬럼 현미경 구성으로서,
상기 적어도 2개의 하전 입자 빔 디바이스들 각각은,
1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위한 하전 입자 빔 공급원 - 상기 하전 입자 빔 공급원은:

1차 하전 입자 빔을 방출하기 위한 하전 입자 빔 방출기,

1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위해 적어도 2개의 개구부들을 포함하는 다중-애퍼처 렌즈 판 - 상기 다중-애퍼처 렌즈 판은 상기 1차 하전 입자 빔으로 조명되도록 배열됨 - 을 포함함 -;

상기 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하기 위한 필드 곡률 보정 디바이스 - 상기 필드 곡률 보정 디바이스는 상기 1차 하전 입자 빔이 통과하는 애퍼처 개구부들을 갖는 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들을 포함함 -;

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 상기 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈 쪽으로 지향시키도록 구성된 렌즈;

상기 렌즈 내에 배열된 편향기 어레이 - 상기 렌즈 및 상기 편향기 어레이는 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 상기 렌즈와 상기 편향기 어레이의 조합된 작용에 의해 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 지향시키도록 구성됨 -; 및

상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 각각의 상기 1차 하전 입자 빔렛을 감속시키고 상기 시료 상의 개별 위치로 집속하기 위한 대물 렌즈를 포함하는, 시료를 이미지화하도록 구성된 적어도 2개의 하전 입자 빔 디바이스들을 갖는 다중-컬럼 현미경 구성.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 적어도 2개의 하전 입자 빔 디바이스들의 상기 대물 렌즈는 적어도 2개의 렌즈 모듈들을 포함하고, 각각의 상기 렌즈 모듈은 제1 극편, 제2 극편 및 상기 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 1차 하전 입자 빔렛을 위한 적어도 하나의 개구부를 포함하고, 상기 대물 렌즈는 상기 적어도 2개의 렌즈 모듈들에 자속을 제공하는 적어도 하나의 여기 코일을 더 포함하는, 시료를 이미지화하도록 구성된 적어도 2개의 하전 입자 빔 디바이스들을 갖는 다중-컬럼 현미경 구성.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

실시예들은, 예를 들어, 검사 시스템 응용들, 시험 시스템 응용들, 결함 검토 또는 임계 치수 응용들 등을 위한 하전 입자 빔 디바이스들에 관한 것이다. 실시예들은 또한, 하전 입자 빔 디바이스의 작동 방법들에 관한 것이다. 더 구체적으로, 실시예들은, 일반적인 목적들(예컨대, 생물학적 구조들의 이미지화) 및/또는 높은 처리량의 EBI(전자 빔 검사)를 위한 다중-빔 시스템들인 하전 입자 빔 디바이스들에 관한 것이다. 구체적으로, 실시예들은 주사 하전 입자 빔 디바이스 및 주사 하전 입자 빔 디바이스를 이용한 전자 빔 검사의 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

현대의 반도체 기술은, 집적 회로들의 생산 동안에 사용되는 다양한 프로세스의 정확한 제어에 크게 의존한다. 이에 따라, 가능한 한 일찍 문제들을 찾아내기 위해 웨이퍼들은 반복적으로 검사된다. 게다가, 마스크가 각각의 패턴을 정확하게 한정하는 것을 확실히 하기 위해 웨이퍼 처리 동안 실제 사용 이전에 마스크 또는 레티클이 또한 검사된다. 결함들에 대한 웨이퍼들 또는 마스크들의 검사는, 전체 웨이퍼 또는 마스크 영역의 검사를 포함한다. 특히, 웨이퍼들의 제조 동안 웨이퍼들의 검사는 검사 프로세스에 의해 제조 처리량이 제한되지 않는 짧은 시간 내의 전체 웨이퍼 영역의 검사를 포함한다.

[0003]

주사 전자 현미경(SEM)들이 웨이퍼들을 검사하는 데에 사용되었다. 웨이퍼의 표면은, 예를 들어, 단일의 미세하게 집속된 전자 빔을 사용하여 주사된다. 전자 빔이 웨이퍼에 부딪칠 때, 2차 전자들 및/또는 후방산란된 전자들, 즉, 신호 전자들이 생성되고 측정된다. 웨이퍼 상의 위치에서의 패턴 결함은, 2차 전자들의 강도

신호를, 예를 들어, 패턴 상의 동일 위치에 대응하는 기준 신호와 비교함으로써 검출된다. 그러나, 더 높은 해상도들에 대한 요구들이 증가하고 있기 때문에, 웨이퍼의 전체 표면을 주사하는 것은 긴 시간이 걸린다. 이에 따라, 웨이퍼 검사를 위해 종래의(단일-빔) 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하기 어려운데, 이는 그 접근법은 각각의 처리량을 제공하지 않기 때문이다.

[0004] 반도체 기술에서의 웨이퍼 및 마스크 결함 검사는, 전체 웨이퍼/마스크 응용 또는 핫 스팟 검사 둘 다를 망라하는 고해상도 및 고속 검사 툴들을 필요로 한다. 축소되는 결함 크기들을 다룰 수 없는 광 광학 툴들의 제한된 해상도로 인해 전자 빔 검사의 중요성이 증가하고 있다. 특히, 20 nm 노드 이상으로부터, 전자 빔 기반 이미지화 툴들의 고해상도 잠재력은 관심 있는 모든 결함들을 검출하기 위해 수요가 있다.

[0005] 상기 내용을 고려하여, 관련 기술분야에서의 문제들 중 적어도 일부를 극복하는, 하전 입자 다중-빔 디바이스 및 하전 입자들의 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법이 제공된다.

발명의 내용

[0006] 상기 내용을 고려하여, 독립 청구항들에 따른 하전 입자 다중-빔 디바이스 및 하전 입자들의 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법이 제공된다. 추가의 양상들, 장점들, 및 특징들은 종속 청구항들, 상세한 설명 및 첨부 도면들로부터 명백하다.

[0007] 일 실시예에 따르면, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하는 방법이 제공된다. 방법은, 하전 입자 빔 공급원의 하전 입자 빔 방출기를 이용하여 1차 하전 입자 빔을 생성하는 단계; 집속된 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위해 1차 하전 입자 빔으로 다중-애퍼처 렌즈 판을 조명하는 단계; 적어도 2개의 전극들을 이용하여 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하는 단계 — 적어도 2개의 전극들은 애퍼처 개구부들을 포함함 —; 1차 하전 입자 빔렛들을 렌즈를 이용하여 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈 쪽으로 지향시키는 단계; 렌즈 내에 배열된 편향기 어레이를 통해 1차 하전 입자 빔렛들을 안내하는 단계 — 렌즈 및 편향기 어레이의 조합된 작용은 1차 하전 입자 빔렛들을 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈의 코마없는 점(coma free point)을 통해 지향시킴 —; 및 시료를 개별 위치들에서 동시에 검사하기 위해 1차 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈를 이용하여 시료 상의 개별 위치들 상에 집속하는 단계를 포함한다.

[0008] 다른 실시예에 따르면, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스가 제공된다. 하전 입자 빔 디바이스는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위한 하전 입자 빔 공급원을 포함하고, 하전 입자 빔 공급원은 하전 입자 빔을 방출하기 위한 하전 입자 빔 방출기, 및 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하고 집속하기 위해 적어도 2개의 개구부들을 포함하는 다중-애퍼처 렌즈 판 — 다중-애퍼처 렌즈 판은 1차 하전 입자 빔으로 조명되도록 배열됨 — 을 포함한다. 디바이스는, 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하기 위한 필드 곡률 보정 디바이스 — 필드 곡률 보정 디바이스는, 1차 하전 입자 빔 또는 1차 하전 입자 빔렛들이 통과하는 애퍼처 개구부들을 갖는 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들을 포함함 —; 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈로 지향시키도록 구성된 렌즈; 렌즈 내에 배열된 편향기 어레이 — 렌즈 및 편향기 어레이는 1차 하전 입자 빔렛들을 렌즈 및 편향기 어레이의 조합된 작용에 의해 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 지향시키도록 구성됨 —; 및 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 각각의 1차 하전 입자 빔렛을 감속시키고 시료 상의 개별 위치에 집속하기 위한 대물 렌즈를 더 포함한다.

[0009] 다른 실시예에 따르면, 시료를 이미지화하도록 구성된 적어도 2개의 하전 입자 빔 디바이스들을 갖는 다중-컬럼 현미경 구성으로서, 적어도 2개의 하전 입자 빔 디바이스들 각각은, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위한 하전 입자 빔 공급원을 포함하고, 하전 입자 빔 공급원은 하전 입자 빔을 방출하기 위한 하전 입자 빔 방출기, 및 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위해 적어도 2개의 개구부들을 포함하는 다중-애퍼처 렌즈 판 — 다중-애퍼처 렌즈 판은 1차 하전 입자 빔으로 조명되도록 배열됨 — 을 포함한다. 디바이스들은, 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하기 위한 필드 곡률 보정 디바이스 — 필드 곡률 보정 디바이스는, 1차 하전 입자 빔이 통과하는 애퍼처 개구부들을 갖는 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들을 포함함 —; 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈 쪽으로 지향시키도록 구성된 렌즈; 및 렌즈 내에 배열된 편향기 어레이 — 렌즈 및 편향기 어레이는 1차 하전 입자 빔렛들을 렌즈 및 편향기 어레이의 조합된 작용에 의해 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 지향시키도록 구성됨 — 를 더 포함하고, 다중-컬럼 현미경 구성은, 각각의 1차 하전 입자 빔렛을 감속시키고 시료 상의 개별 위치에 집속하기 위한 대물 렌즈를 더 포함한다.

[0010] 실시예들은 또한, 개시된 방법들을 수행하기 위한 장치들에 관한 것이고, 각각의 설명된 방법 특징들을 수행하기 위한 장치 부분들을 포함한다. 방법 특징들은 하드웨어 구성요소들에 의해, 적절한 소프트웨어에 의해 프로

그래밍된 컴퓨터에 의해, 그 둘의 임의의 조합에 의해, 또는 임의의 다른 방식으로 수행될 수 있다. 게다가, 실시예들은 또한, 설명된 장치가 작동하는 방법들에 관한 것이다. 실시예들은 장치의 모든 기능을 수행하기 위한 방법 특징들을 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0011] 위에서 언급된 특징들이 상세히 이해될 수 있도록, 위에 간략히 요약된 더 구체적인 설명이 실시예들을 참조하여 이루어질 수 있다. 첨부 도면들은 실시예들에 관한 것이고 이하에 설명된다:

- 도 1은, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 시료 검사를 위한 다중-빔 디바이스의 개략도를 도시하고;
- 도 2는, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 시료 검사를 위한 다중-빔 디바이스의 개략도를 도시하고;
- 도 3a는, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 시료 검사를 위한 다중-빔 디바이스의 개략도를 도시하고;
- 도 3b는, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 시료 검사를 위한 다중-빔 디바이스의 개략도를 도시하고;
- 도 4는, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 시료 검사를 위한 다중-빔 디바이스의 개략도를 도시하고;
- 도 5는, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 시료 검사를 위한 다중-빔 디바이스의 개략도들을 도시하고;
- 도 6은, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 하전 입자 빔 디바이스를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법의 흐름도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 다양한 실시예에 대한 참조가 이제부터 상세히 이루어질 것이고, 그의 하나 이상의 예가 도면들에 예시된다. 도면들에 대한 이하의 설명 내에서, 동일한 참조 번호들은 동일한 구성요소들을 지칭한다. 개별 실시예들에 대한 차이점들이 설명된다. 각각의 예는 설명으로서 제공되며, 제한을 의미하지 않는다. 또한, 일 실시예의 일 부로서 예시 또는 설명된 특징들은, 더 추가적인 실시예를 생성하기 위해, 다른 실시예들에 또는 다른 실시예들과 함께 사용될 수 있다. 설명은 수정들 및 변동들을 포함하도록 의도된다.

[0013] 본 출원의 보호 범위를 제한하지 않고, 이하에서 하전 입자 빔 디바이스 또는 그의 구성요소들은 예시적으로, 2차 또는 후방산란된 입자들, 예컨대, 전자들의 검출을 포함하는 하전 입자 빔 디바이스로 지칭될 것이다. 실시예들은, 시료 이미지를 획득하기 위해 미립자들을, 예컨대, 전자들 또는 이온들의 형태의 2차 및/또는 후방산란된 하전 입자들, 광자들, X-선들 또는 다른 신호들을 검출하는 장치들 및 구성요소들에 대해 여전히 적용될 수 있다. 미립자들을 언급할 때, 미립자들은 미립자들이 입자들일 뿐만 아니라 광자들인 광 신호들로서 이해되어야 하며, 여기에서 미립자들은 이온들, 원자들, 전자들 또는 다른 입자들이다. 본원에 설명된 바와 같이, 검출에 관한 논의들 및 설명들은 주사 전자 현미경들에서의 전자들에 관하여 예시적으로 설명된다. 다른 유형들의 하전 입자들, 예를 들어, 양이온들이, 다양한 상이한 계기들의 디바이스에 의해 검출될 수 있다.

[0014] 다른 실시예들과 조합될 수 있는 본원의 실시예들에 따르면, 신호(하전 입자) 빔, 또는 신호(하전 입자) 빔렛은 2차 입자들, 즉, 2차 및/또는 후방산란된 입자들의 빔으로 지칭된다. 전형적으로, 신호 빔 또는 2차 빔은 시료에 대한 1차 빔 또는 1차 빔렛의 충돌 또는 시료로부터의 1차 빔의 후방산란에 의해 생성된다. 1차 하전 입자 빔 또는 1차 하전 입자 빔렛은 입자 빔 공급원에 의해 생성되고, 검사되거나 이미지화될 시료 상에 안내되고 편향된다.

[0015] 본원에 언급되는 바와 같은 "시료" 또는 "샘플"은 반도체 웨이퍼들, 반도체 작업물들, 포토리소그래피 마스크들 및 다른 작업물들, 예컨대, 메모리 디스크들 등을 포함하지만, 이에 제한되지 않는다. 실시예들은, 구조화되거나 물질이 증착되는 임의의 작업물에 적용될 수 있다. 시료는 구조화될 또는 층들이 증착되는 표면, 에지, 및 전형적으로 베벨을 포함한다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에 따르면, 장치 및 방법들은 임계 치수 응용들 및 결함 검토 응용들을 위해, 전자 빔 검사에 대해 구성되거나 적용된다.

[0016] 하전 입자 빔 디바이스의 실시예가 도 1에 개략적으로 도시된다. 하전 입자 빔 디바이스(100)는 1차 하전 입자 빔(14)을 방출하는 빔 방출기(111)를 포함하는 하전 입자 빔 공급원(110)을 포함한다. 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 하전 입자 빔 공급원(110)은 1차 하전 입자 빔렛들(15)의 어레이를 생성하도록 적용된다. 하전 입자 빔 공급원(110)은 하전 입자 빔 방출기(111), 및 다중-에퍼쳐 렌즈 판(113)을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 1차 하전 입자 빔(14)은 가속 전극(199)에 공급되는 가속 전압(하전 입자 빔 방출기(111)와 가속 전극(199) 사이의 전압 차)에 의해 가속될 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 하전 입자 빔 디바이스는

필드 곡률 보정 전극들(112)(예시적으로 2개의 필드 곡률 보정 전극들을 도시함)을 포함한다. 도 1(또한 이하의 도 2, 3a 및 3b)의 실시예에서, 필드 곡률 보정 전극들(112)은 하전 입자 빔 방출기(111)와 다중-애퍼처 렌즈 판(113) 사이에 배치된 것으로 예시적으로 도시된다.

- [0017] 본원에 설명된 바와 같은 하전 입자 빔 방출기는 콜드 필드 방출기(CFE), 쇼트키 방출기, TFE 또는 다른 높은 전류의 고휘도 하전 입자 빔 공급원(예컨대, 전자 빔 공급원)일 수 있다. 높은 전류는 100 mrad에서 5 μ A 이상, 예를 들어, 최대 5 mA, 예를 들어, 100 mrad에서 30 μ A 내지 100 mrad에서 1 mA, 예컨대, 100 mrad에서 약 300 μ A인 것으로 고려된다. 일부 구현들에 따르면, 전류는, 특히, 선형 또는 직사각형 어레이의 경우에, 본질적으로 균일하게, 예를 들어, $\pm 10\%$ 의 편차로 분포된다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에 따르면, 1차 하전 입자 빔 공급원 또는 1차 하전 입자 빔렛들의 공급원은 2 nm 내지 100 nm의 직경을 가질 수 있다.
- [0018] 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 또 다른 실시예들에 따르면, 큰 빔 전류를 제공할 수 있는, TFE 또는 다른 높은 감소된 휘도 공급원, 예를 들어, 전자 빔 공급원은, 최대 10 μ A - 100 μ A, 예를 들어, 30 μ A를 제공하기 위해 방출 각도가 증가될 때 휘도가 최대 값의 20%보다 많이 떨어지지 않는 공급원이다.
- [0019] 쇼트키 또는 TFE 방출기들은 $5 \cdot 10^7 \text{Am}^{-2}(\text{SR})^{-1}\text{V}^{-1}$ 의 측정된 감소된 휘도로 현재 이용가능하고, CFE 방출기들은 최대 $5 \cdot 10^9 \text{Am}^{-2}(\text{SR})^{-1}\text{V}^{-1}$ 의 측정된 감소된 휘도를 갖는다. 하전 입자 빔 디바이스는 또한, 대략 $1 \cdot 10^{11} \text{Am}^{-2}(\text{SR})^{-1}\text{V}^{-1}$ 의 감소된 휘도를 가질 수 있는 탄화물 방출기, 예컨대, HfC와 함께 작동할 수 있다. 예를 들어, 적어도 $5 \cdot 10^7 \text{Am}^{-2}(\text{SR})^{-1}\text{V}^{-1}$ 를 갖는 하전 입자 빔이 유익하다.
- [0020] 일부 실시예들에 따르면, 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들이 제공될 수 있다. 도면들에 도시된 예들에서, 2개의 필드 곡률 보정 전극들이 도시된다. 도 1에 도시된 실시예에서(또한, 도 2, 3a, 및 3b에 도시된 실시예들에서), 필드 곡률 보정 전극(들)은 1차 하전 입자 빔(14)을 감속시키도록 구동될 수 있다. 필드 곡률 보정 전극들은 하전 입자 빔 방출기(111)와 다중-애퍼처 렌즈 판(113) 사이에 배열될 수 있다. 필드 곡률 보정 전극들(112)은 1차 하전 입자 빔(14)이 통과할 수 있는 애퍼처 개구부들을 가질 수 있다.
- [0021] 본원의 실시예들에 설명된 바와 같은 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들은, 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률, 특히, 하전 입자 빔 디바이스의 이미지화 렌즈들에 의해 도입된 필드 곡률을 보상하거나 보정하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시예들에서, 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들은, 1차 하전 입자 빔 또는 1차 하전 입자 빔렛들의 전파 방향으로 볼 때 하전 입자 빔 디바이스의 다중-애퍼처 렌즈 판의 하류에 배열된 하전 입자 빔 디바이스의 이미지화 렌즈들에 의해 도입된 필드 곡률을 보상하거나 보정하기 위해 사용될 수 있다. 특히, 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들은 아래에 상세히 설명될 바와 같이, 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈에 의해 도입된 필드 곡률을 보상하거나 보정하기 위해 사용될 수 있다.
- [0022] 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에 따르면, 필드 곡률 보정 전극(들)은 하전 입자 빔 디바이스의 하나 이상의 렌즈에 의해 도입된 필드 곡률을 보상하기 위해 (예를 들어, 제어기에 의해) 제어가능하고, 적응가능하고/거나 조정가능할 수 있다. 특히, 필드 곡률 보정 전극들은 하전 입자 빔 디바이스의 각각의 작동에 대해, 하전 입자 빔 디바이스의 의도된 사용에 대해, 또는 하전 입자 빔 디바이스에 사용될 수 있는 렌즈 구성들 및 렌즈 강도들을 변화시키는 것에 대해 조정가능할 수 있다. 예를 들어, 필드 곡률 보정 전극들에 공급되는 전압은, 예를 들어, 제어 유닛 및 각각의 제어 시스템(예컨대, 제어 유닛으로부터 필드 곡률 보정 전극들의 전압 공급부까지의 신호 선들)에 의해 조정가능할 수 있다.
- [0023] 위에서 언급된 바와 같이, 그리고 일부 실시예들에 따르면, 필드 곡률 보정은 필드 곡률 보정 전극들에 의해 제공되고 수행될 수 있다. 예를 들어, 필드 곡률 보정 전극들은 2개의 매크로 전극들일 수 있다. 일부 실시예들에서, 하전 입자 빔 공급원의 하전 입자 빔 방출기는, 추출 전압을 1차 하전 입자 빔에 제공하기 위한 하나 이상의 추출기 전극을 포함할 수 있다. 다중-애퍼처 렌즈 판 및 추출기 전극들과 함께, 필드 곡률 보정 전극들 및 추출 전극은 소위 "제로 강도 매크로 렌즈"를 생성할 수 있다. "제로 강도"는 하전 입자들이 편향되지 않음을 의미할 수 있고; 색 편향 오차들과 연관된 문제를 회피한다. 일부 실시예들에 따르면, 필드 곡률 보정 전극들은 필드 곡률 보정 전극들로부터의 필드가 다중-애퍼처 렌즈 판 상에서 끝나서 단일 1차 하전 입자 빔렛들에 대한 저 수차 단일 애퍼처 렌즈들을 형성하도록 구성되고/거나 제어될 수 있다.
- [0024] 도 1의 실시예(또한, 도 2, 3a, 및 3b에 도시된 실시예들)에서, 1차 하전 입자 빔(14)은 하전 입자 방출기(111)를 떠난 후에 그리고 필드 곡률 보정 전극들(112)을 지나간 후에 다중-애퍼처 렌즈 판(113)을 통과할 수

있다. 1차 하전 입자 빔(14)은, 다수의 애퍼처 개구부들을 갖는 다중-애퍼처 렌즈 판(113)을 통과할 수 있고, 누설 감속 필드에 의해 빔렛들로 집속될 수 있다. 애퍼처 개구부들은 임의의 어레이 구성으로, 예컨대, 선, 직사각형, 정사각형, 링, 또는 임의의 적절한 1차원 또는 2차원 어레이로 다중-애퍼처 렌즈 판(113) 상에 위치될 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 본원에 설명된 바와 같은 하전 입자 빔 디바이스는 다중-애퍼처 렌즈 판의 애퍼처 개구부들을 필드 곡률 또는 수차들로 인한 단점들을 갖지 않고 임의의 구성으로 배열하는 것을 허용한다. 예를 들어, 알려진 시스템들은 포물선처럼 작용하는 렌즈를 지나가는 모든 빔에 대해 동일한 조건들을 제공하기 위해, 상이한 빔렛들을 링 형상으로 배열한다. 빔렛들을 링 형상으로 배열할 때, 각각의 렌즈의 필드 곡률 영향은 최소화될 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스를 이용하여, 빔렛 어레이의 배열은 임의의 배열로, 예를 들어, 고속 검사에 적합한 배열, 검사될 시료 구조에 적응된 배열, 다수의 빔들을 허용하는 배열, 빔 세기에 적응된 배열 등으로 행해질 수 있다. 예를 들어, 빔렛 어레이는 선, 직사각형, 또는 정사각형으로 배열될 수 있다.

[0025] 1차 하전 입자 빔(14)을 이용하여 다중-애퍼처 렌즈 판(113)을 조명함으로써, 여러 개의 집속된 1차 하전 입자 빔렛들(15)이, 애퍼처 판의 전방의 감속 필드를 사용하여 생성된다. 1차 하전 입자 빔렛들(15)의 초점 평면에, 렌즈(120)가 배열될 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 렌즈(120)는, 특히, 필드 곡률 보정 전극들이 감속 모드로 구동되고 (1차 하전 입자 빔의 전과 방향으로 볼 때) 다중-애퍼처 렌즈 판의 전방에 배열되는 경우에 가속 렌즈일 수 있다. 일부 실시예들에서, 가속 렌즈로서(또는 다른 실시예들에서는 감속 렌즈로서) 제공되는 렌즈(120)는 정전 또는 조합된 자기 정전 렌즈일 수 있다.

[0026] 도면들에서, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 1차 하전 입자 빔렛들 중 일부는 렌즈 이후에 도시되어 있는 반면, 다른 1차 하전 입자 빔렛들은 더 나은 개관을 위해 도면들에서 생략된다. 본원에 설명된 일부 실시예들에 따르면, 1차 하전 입자 빔렛들을 위한 실제 공급원들을 생성하기 위해, 애퍼처 개구부들을 갖는 다중-애퍼처 렌즈 판이 제공된다.

[0027] 일부 실시예들에서, 다중-애퍼처 렌즈 판(113)은 하전 입자 빔 방출기(111)에 의해 직접적으로 조명될 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, "직접적으로"는, (1차 하전 입자 빔의 전과 방향으로 볼 때) 다중-애퍼처 렌즈 판의 전방에 필드 곡률 보정 전극들을 갖는 실시예들에서 필드 곡률 보정 전극들을 제외하고, 하전 입자 빔 방출기(111)와 다중-애퍼처 렌즈 판 사이에 추가적인 광학 요소들이 제공되지 않는다는 것을 의미할 수 있다. 다중-애퍼처 렌즈 판은 하전 입자 빔 방출기로부터 방출된 1차 하전 입자 빔(14)을 1차 하전 입자 빔렛들(15)의 어레이로 분할한다. 예를 들어, 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에 따르면, 다중-애퍼처 렌즈 판은 1차 하전 입자 빔을 적어도 3개의 1차 하전 입자 빔렛들로 분할하기 위해 적어도 3개의 애퍼처 개구부들을 갖는다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에 따르면, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이는 적어도 3개의 1차 하전 입자 빔렛들을 포함한다. 도 1에 도시된 예에서, 7개의 1차 하전 입자 빔렛들(15)이 개략도에 도시된다. 일부 실시예들에서, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이는 1차원(선) 어레이들 또는 2차원 어레이들(예를 들어, 4x4, 3x3, 5x5) 또는 비대칭 어레이들, 예를 들어, 2x5로 배열될 수 있다. 본원에 설명된 실시예들은 어레이들의 예들로 제한되지 않으며, 1차 하전 입자 빔렛들의 임의의 적합한 어레이 구성을 포함할 수 있다.

[0028] 설명된 다중-애퍼처 렌즈 판은, 하전 입자 빔 디바이스, 하전 입자 빔 디바이스들의 어레이들을 포함하는 시스템들 및 하전 입자 빔 디바이스들을 작동시키는 방법들에 관한 다른 실시예들에서 유리하게 사용될 수 있다. 다중-애퍼처 렌즈 판의 설계는 유리하게, 상이한 기준을 따르며 전체 하전 입자 광학 광선 경로 설계의 맥락에서 취급되어야 한다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에서, 다중-애퍼처 렌즈 판에는 이하의 특징들 중 하나 이상이 제공될 수 있다. 애퍼처 개구부들의 개수는 가장 큰 가능한 전체 전류와 광학 성능, 특히, 가장 큰 가능한 빔렛 필드에서의 달성가능한 스폿 크기 간의 절충이다. 다른 경계 조건은, 검출기들 상에서 신호 빔렛 분리를 보장하는, 시료 상의 빔렛 분리이며, 여기서 누화가 감소되거나 회피된다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 또 다른 실시예들에 따르면, 그리드 구성(즉, 시료 상의 1차 빔렛들의 위치들 및/또는 애퍼처 판의 애퍼처 개구부들의 위치들)은 주사 동안 기관 표면의 완전한 적용 범위를 허용하기 위해 제공된다. 적용 범위는, 예를 들어, x-y 방향의 순수 하전 입자 빔렛 주사로 한정되지 않을 뿐만 아니라, 예를 들어, 제1 방향, 예컨대, x 방향의 하전 입자 빔렛 주사 및 제1 방향과 상이한 다른 방향, 예컨대, y 방향의 스테이지 이동과 같은 혼합 주사 작동도 포함한다.

[0029] 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 1차 하전 입자 빔렛들(15)은 렌즈(120) 쪽으로 지향된다. 예를 들어, 렌즈(120)는 다중-애퍼처 렌즈 판으로부터 전파되는 1차 하전 입자 빔렛들(15)을 가속시키기 위한 가속 렌즈일 수 있다. 일부 실시예들(예컨대, 도 1, 2, 3a, 및 3b에 도시된 실시예들)에서, 렌즈는 1차 하전 입자 빔렛들의 어

레이의 전과 방향으로 다중-애퍼처 렌즈 관(113) 직후에 배치된다. 문맥에서 "직접적으로"라는 용어는 다중-애퍼처 렌즈 관과 렌즈 사이에 추가적인 빔 광학 요소들이 배열되지 않는다는 것을 의미할 수 있다. 필드 곡률 보정 전극들이, 1차 하전 입자 빔의 전과 방향으로 다중-애퍼처 렌즈 관 이전에 배치된 실시예에서, 렌즈(120)는 1차 하전 입자 빔렛들(15)을 높은 컬럼 전압으로 가속시키기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 가속 렌즈는 1차 하전 입자 빔렛들을 전형적으로 10 kV 이상, 그리고 더 전형적으로 20 kV 이상의 컬럼 전압으로 가속시킬 수 있다. 가속 전압은 하전 입자 빔렛들의 하전 입자들이 컬럼 아래로 이동하는 속도를 결정할 수 있다. 일 예에서, 가속 렌즈는 정전 렌즈일 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 가속 렌즈는 1차 하전 입자 빔렛들을 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈의 코마없는 점으로(또는 그 근처로) 지향시킬 수 있다.

[0030] 아래에 상세히 설명되는 일부 실시예들에 따르면, 편향기 어레이(150)가 렌즈 내에 또는 렌즈 근처에 배열된다. 일부 실시예들에 따르면, 편향기 어레이가 렌즈"에 또는 그 근처에" 또는 "내에" 배열된다는 것은, 편향기 어레이가 렌즈의 초점 거리 내에 배치된다는 것으로 이해될 수 있다. 특히, 편향기 어레이는 렌즈 내에 배치될 수 있다. 예를 들어, 렌즈는 3개의 전극들을 포함할 수 있고 편향기 어레이는 3개의 전극들 내에 배치될 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 편향기 어레이는 대략적으로, 렌즈의 3개의 전극들 중 중간 전극의 높이에 배치될 수 있다.

[0031] 일부 실시예들에 따르면, 렌즈는, 특히, 1차 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈의 코마없는 점으로 지향시키기 위해, 1차 하전 입자 빔렛들을 지향시키는 주요 효과를 달성하기 위해 사용될 수 있다. 편향기 어레이(150)는 개별 1차 하전 입자 빔렛들의 미세 조정, 특히, 대물 렌즈의 코마없는 점 내로 또는 코마없는 점을 통해 안내될 1차 하전 입자 빔렛들의 미세 조정을 위해 사용될 수 있다. 1차 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈의 코마없는 점으로 안내하기 위해 구성된 렌즈 및 편향기 어레이는 렌즈의 초점 거리, 렌즈에 공급된 전압, 편향기 어레이에 공급된 전압, 편향기 어레이의 크기, 편향기 어레이들 중 단일 편향기들의 크기가, 대물 렌즈의 코마없는 점에서 1차 하전 입자 빔렛들을 안내하기 위해 선택될 수 있다는 점에서 이해될 수 있다. 하전 입자 빔 디바이스는 렌즈 및 편향기 어레이의 작동 파라미터들을 제어하기 위한 제어기(예를 들어, 하전 입자 빔 디바이스의 작동을 모니터링하기 위한 모니터링 디바이스 또는 피드백 루프에 연결되거나 통합된 제어기)를 포함할 수 있다.

[0032] 특히, 편향기 어레이는 광학 축(4)을 가로지르는 1차 하전 입자 빔렛들의 z 위치를 이동시키기 위해 사용될 수 있다. 특히, 대물 렌즈의 코마없는 점, 상이한 이미지화 모드들(예를 들어, 상이한 랜딩 에너지, 신호 빔 추출 전압 등)에서 z 축을 따라 이동하는 경우들에서, 1차 하전 입자 빔렛들의 z 위치가 이동될 수 있다. 일부 실시예들에서, 편향기 어레이의 미세 조정은 광선 경로에서의 결함들(예컨대, 회전 대칭으로부터의 편차들)을 보상하고/거나 렌즈의 구면수차를 보상하기 위해 사용될 수 있다(특히, 축외 빔렛들은 더 강하게 집속되고 광학 축에 더 빨리 부딪힌다).

[0033] 편향기 어레이의 개별 편향기들은, 적어도 4차(사중극자)인 다중-극 요소들에 의해 실현될 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 다중-극 요소들은 종래의 기계가공에 의해 제조될 수 있다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 특정 실시예들에 따르면, 마이크로전자기계 시스템들(MEMS) 기술의 편향기 요소들이 유익할 수 있는데, 이는, MEMS 기술의 편향기 요소들이, 더 높은 다중-극 밀도를 허용하고 전극들의 배선을 용이하게 하기 때문이다.

[0034] 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 1차 하전 입자 빔렛들은 대물 렌즈의 코마없는 점 또는 코마없는 평면을 통해 안내되거나 그에 지향된다. 본 개시내용 전반에 걸쳐 사용되는 바와 같이, "코마없는 평면" 또는 "코마없는 점"이라는 용어는, 1차 하전 입자 빔렛들이 코마없는 점 또는 코마없는 평면을 통과할 때 1차 하전 입자 빔렛들에 최소한의 코마가 도입되거나 심지어 코마가 전혀 도입되지 않는, 대물 렌즈의 (또는 대물 렌즈에 의해 제공된) 평면 또는 점을 지칭한다. 대물 렌즈의 코마없는 점 또는 코마없는 평면은, 프라운호퍼 조건(코마가 0인 조건)이 만족되는, 대물 렌즈의 점 또는 평면이다. 대물 렌즈의 코마없는 점 또는 코마없는 평면은 하전 입자 빔 디바이스의 광학 시스템의 z 축 상에 위치된다. z 축은 광학 축(4)에 대응할 수 있다. 다시 말해서, 대물 렌즈의 코마없는 점은 광학 축(4) 상에 위치된다. 코마없는 점 또는 코마없는 평면은 대물 렌즈 내에 위치될 수 있다. 예를 들어, 코마없는 점 또는 코마없는 평면은 대물 렌즈에 의해 둘러싸일 수 있다.

[0035] 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 1차 하전 입자 빔렛들은 시료를 개별 위치들에서 동시에 검사하기 위해 대물 렌즈(130)에 의해 시료(140) 상의 개별 위치들 상에 집속된다. 대물 렌즈는 1차 하전 입자 빔렛들을 시료(140) 상에 집속하도록 구성될 수 있고, 여기서 대물 렌즈는 지연 필드 렌즈이다. 예를 들어, 지연 필드 렌즈는 1차 하전 입자 빔렛들을 정의된 랜딩 에너지까지 감속시킬 수 있다. 일부 실시예들에서, 시료 상의, 컬럼 에너지로부터 랜딩 에너지까지의 에너지 감소는 적어도 10배, 예를 들어, 적어도 30배이다. 일 예에서, 랜딩 에너지는

전형적으로 약 100 eV 내지 8 keV, 더 전형적으로 2 keV 이하, 예를 들어, 1 keV 이하, 예컨대 500 eV 또는 심지어 100 eV일 수 있다.

- [0036] 일부 실시예들에 따르면, 하전 입자 빔 디바이스 내의 에너지는 하전 입자 빔 디바이스에서의 위치에 따라 변화한다. 일 예가 이하에서 주어진다. 예를 들어, 빔 방출기 이후 그리고 다중-애퍼처 렌즈 판 이전의 1차 하전 입자 빔의 에너지는 약 15 kV일 수 있고, 예를 들어, 도 1, 2, 3a, 및 3b에 예시적으로 도시된 구성에서, 어레이의 전방에서 약 3 kV까지 감속되며, 여기서 필드 보정 전극들은 다중-애퍼처 렌즈 판의 전방에서 감속 모드로 사용된다. 다중-애퍼처 렌즈 판 이후에 그리고 렌즈 이전에, 하전 입자 빔 디바이스의 컬럼에서의 에너지는 약 3 kV일 수 있다. 일부 실시예들에서, 렌즈는 1차 하전 입자 빔렛들을 약 15 kV의 에너지로까지 가속시킬 수 있다. (대물 렌즈에 의해 감속되는) 1차 하전 입자 빔의 랜딩 에너지는, 설명된 예에서 약 300 eV일 수 있다.
- [0037] 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에서, 대물 렌즈(130)는 필드 복합 렌즈일 수 있다. 예를 들어, 대물 렌즈는 자기 렌즈와 정전 렌즈의 조합일 수 있다. 이에 따라, 대물 렌즈는 복합 자기 정전 렌즈일 수 있다. 전형적으로, 복합 자기 정전 렌즈의 정전기 부분은 정전기 지연 필드 렌즈이다. 복합 자기 정전 렌즈를 사용하는 것은, 주사 전자 현미경(SEM)의 경우 낮은 랜딩 에너지, 예컨대, 수백 전자 볼트에서 우수한 해상도를 산출한다. 낮은 랜딩 에너지들은, 특히, 현대 반도체 산업에서, 방사선 민감성 시료들의 하전 및/또는 손상을 회피하는 데에 유익하다. 본원에 설명된 실시예들의 이점들은 또한, 자기 렌즈 또는 정전 렌즈가 사용되는 경우에 달성될 수 있다.
- [0038] 일부 실시예들에 따르면, 하전 입자 빔 디바이스(100)의 1차 하전 입자 빔렛들(15)은 공통 대물 렌즈에 의해 시료(140) 상에 집속된다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에 따르면, 1차 하전 입자 빔렛들 모두는 대물 렌즈(130)의 하나의 개구부를 통과한다. 시료(140)는, 시료(140)를 광학 축(4)에 수직인 적어도 하나의 방향으로 이동시킬 수 있는 시료 스테이지(141) 상에 제공된다.
- [0039] 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 렌즈와 편향기 어레이의 조합된 작용은 1차 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 지향시킨다. 본원에 설명된 실시예들에 따른, 하전 입자 빔 디바이스 및 하전 입자 빔 디바이스를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법은 양호한 해상도, 안정적인 작동 및 동시에, 하전 입자 빔 디바이스의 광학 요소들에 의해 도입된 저수차들을 제공한다. 특히, 필드 곡률 보정 및 대물 렌즈의 코마없는 점 또는 평면으로의 1차 하전 입자 빔렛들의 지향은, 대물 렌즈가 단일 1차 하전 입자 빔렛들을 매우 정확한 방식으로 집속하는 것을 허용한다.
- [0040] 추가적으로, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 하전 입자 빔 디바이스 및 하전 입자 빔 디바이스를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법은 시료 상에 1차 하전 입자 빔렛들의 작은 스폿 크기를 제공한다. 스폿 크기는 단일 1차 하전 입자 빔렛에 의해 조명된 시료 상의 영역의 직경으로서 이해될 수 있다. 예를 들어, 본원에 설명된 실시예들에 따른 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 단일 1차 하전 입자 빔렛의 스폿 크기는 전형적으로 20 nm 미만, 더 전형적으로 10 nm 미만, 및 훨씬 더 전형적으로 5 nm 미만일 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 단일 1차 하전 입자 빔렛들은, 본원에 설명된 실시예들에 따른 빔 공급원을 이용한 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 생성으로 인해, 높은 전류 밀도를 가질 수 있다. 높은 전류 밀도는 이미지화 품질을 증가시키는 것을 돕는다.
- [0041] 위에서 언급된 바와 같이, 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스는 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 제공하는 것을 허용한다. 일부 실시예들에 따르면, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이는 전형적으로, 컬럼당 3개 이상의 1차 하전 입자 빔렛들, 더 전형적으로는 10개 이상의 1차 하전 입자 빔렛들을 포함할 수 있다. 본원에 설명된 일부 실시예들에 따르면, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 하전 입자 빔 디바이스 및 하전 입자 빔 디바이스를 이용하여 샘플을 검사하기 위한 방법은, 샘플 표면에서 서로에 대해 작은 거리를 갖는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 하전 입자 빔 디바이스의 하나의 컬럼 내에 제공한다. 예를 들어, 하나의 컬럼 내의 2개의 1차 하전 입자 빔렛들 사이의 거리는 전형적으로 150 μm 미만, 더 전형적으로는 100 μm 미만, 또는 심지어 50 μm 미만일 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따른, 하전 입자 빔 디바이스 및 하전 입자 빔 디바이스를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법은 시료 상의 매우 작고 협소한 구조를 검사하는 것을 허용한다.
- [0042] 아래에서 상세히 언급될 일부 실시예들에서, 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스는 다중-컬럼 현미경(MCM)으로 배열되는 것을 허용한다. 시료를 검사하기 위한 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 각각 갖는 다수의 컬럼들은 프로세스 속도 및 용량을 증가시킨다.
- [0043] 최근에(그리고 멈추려는 경향 없이) 반도체 디바이스 구조 치수들이 계속 축소되고 있다. 이에 따라, 반도체 디바이스 성능에 영향을 주는 가능한 결함들도 축소된다. 반도체 디바이스 제조 동안, 약 10 nm 만큼 큰 결함

들은, 장래에 심지어 결함 크기가 감소하는 경우에 발견되는 것에 유익하다. 제한된 해상도(스폿 크기) 때문에, 알려진 바와 같은 광 광학 결함 검사 시스템들은 그 효용이 다 했다. 하전 입자 광학 결함 검사 시스템들, 특히, 전자 광학 결함 검사 시스템들(EBI)이 높은 적절성을 갖는데, 이는, 하전 입자 광학 결함 검사 시스템들이, 작은 결함들을 검사하기 위한 해상도를 제공할 수 있기 때문이다. 주사 전자 현미경들(SEM) 기반의 툴들이 이미 사용된다. 알려진 툴들(예를 들어, 전자 광학 컬럼들)은, 각각의 처리량을 상당히 감소시키는 제한된 프로브 전류들을 제공한다. 알려진 하전 입자 광학 결함 검사 시스템들에서의 프로브 전류 제한들은 주로, 구면수차 및 색수차로 인해 하전 입자 광학 결함 검사 시스템들에서 사용될 수 있는 작은 애퍼처 각도이다. 또한, 하전 입자들 사이의 상호작용, 예컨대, 전자-전자 상호작용은 하전 입자 빔들 또는 빔렛들을 높은 전류 밀도들에서 흐릿하게 한다.

[0044] 알려진 컬럼 아키텍처들은, 예를 들어, 합리적인 시간(수 cm²/분)에 시료(웨이퍼, 마스크)의 상당한 부분들을 주사하기 위한 충분한 처리량을 갖는 다중-빔 EBI 툴들에 대해 높은 해상도 및 높은 전류 밀도의 실현을 허용하기 위한 특성들 및 능력들을 갖지 않는다. 이유들은, 예를 들어, MCM 구성들이, 전형적으로 20-60 mm의, 컬럼들 사이의 피치들을 갖는다는 것이다. 피치는 보통, 웨이퍼 상의 다이 구조의 피치들에 맞지 않기 때문에, 더 많은 개수의 빔들이 효과적으로 사용되지 않는다. 일부 알려진 응용들에서, MCM은 단일 컬럼 성능을 갖는다. 작은 영역들(예를 들어, 웨이퍼 상의 다이)이 검사되어야 하는 경우, 작은 피치들(예를 들어, < 500 μm)을 갖는 다중-빔렛들이 유익하다. 작은 영역들의 검사는, 예를 들어, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 하전 입자 빔 디바이스 및 하전 입자 빔 디바이스를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법에 의해 제공된 바와 같은, 컬럼당 다중-빔들 또는 빔렛들에 의해 이행될 수 있다.

[0045] 다중-빔렛 생성을 위한 편향기 어레이들을 갖는 다중-빔렛 컬럼들은, 편향기들이 원 상에 배열되는 경우, 알려진 시스템들에서 양호한 해결책들인데, 이는 자동 필드 곡률 보정 때문이다. 다른(예를 들어, 정사각형) 구성들에서, 필드 곡률은 알려진 시스템들에서 스폿 크기를 제한할 수 있다. 또한, 단일 빔렛 당 보상 요소들은 통합되기 어렵다. 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스는, 특히, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이 구성에 관계없이, 필드 곡률을 보상하고 보정하는 것을 허용한다.

[0046] 알려진 시스템들에서의 고해상도의 제한된 실현에 대한 다른 이유는, 다중-빔렛 생성을 위한 편향기 어레이들을 갖는 다중-빔렛 컬럼들은, 편향기 어레이 크기가 큰 경우들에서, 편향기 수차를 추가할 것이라는 점이다. 편향기 수차는 시료의 가능한 이미지의 해상도에 영향을 미친다. 또한, 알려진 시스템들에서 사용되는 바와 같은 정전 대물 렌즈들(예를 들어, 다중보어 아인젤 렌즈들)을 사용하는 다중-빔렛 시스템들은, 자기 또는 조합된 정전/자기 렌즈들보다 더 열악한 축방향 수차 계수들 및 열악한 성능을 갖는다.

[0047] 알려진 시스템들의 위에 열거된 결점들은, 본원에 설명된 실시예들에 따른, 하전 입자 빔 디바이스 및 하전 입자 빔 디바이스를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법에 의해 해결된다.

[0048] 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스에 의한 검사의 품질에 영향을 주기 위한 다른 파라미터는, 신호 빔들의 검출이다.

[0049] 도 2는 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스(100)를 도시한다. 도 2에 도시된 바와 같은 하전 입자 빔 디바이스의 실시예에서, 1차 하전 입자 빔렛들은, 2차 빔들 또는 후방산란된 빔들, 즉, 신호 빔들로부터 1차 빔들을 분리하도록 구성된 빔 분리기 조립체(160)를 지나간다.

[0050] 1차 하전 입자 빔렛들(15)의 입자들이 시료(140)의 표면을 타격할 때, 입자들은 시료의 원자들의 전자들과 핵들의 일련의 복잡한 상호작용들을 겪는다. 상호작용들은 다양한 2차 생성물들, 예컨대, 상이한 에너지의 전자들, X-선들, 열, 및 광을 생성한다. 2차 생성물들 중 다수는 샘플의 이미지들을 생성하고 시료로부터 추가적인 데이터를 수집하는 데에 사용된다. 시료로부터의 정보를 처리하기 위해 사용되는 2차 생성물들은 본원에서 신호 빔들(16)로서 지칭된다. 시료들의 이미지 형성 또는 검사에 매우 중요한 2차 생성물은, 비교적 낮은 에너지(1 내지 50 eV)로 다양한 각도들에서 시료(140)로부터 탈출하는 2차 전자들이다.

[0051] 도 2에 도시된 하전 입자 빔 디바이스(100)는 빔 분리기 조립체(160)를 포함한다. 빔 분리기 조립체(160)는 (도 2에서 파선들로 도시된) 신호 빔들(16)로부터 1차 하전 입자 빔렛들(15)을 분리한다. 일부 실시예들에 따르면, 빔 분리기 조립체는, 예를 들어, 적어도 하나의 자기 편향기, 빈 필터, 또는 임의의 다른 수단을 포함할 수 있고, 여기서 전자들은, 예를 들어, 로렌츠 힘에 따른 속도로 인해 1차 하전 입자 빔렛들 빔으로부터 멀어지는 방향으로 지향된다. 일부 실시예들에서, 빔 분리는 ExB 빔 분리기, 특히, 도 3a에 예시적으로 도시된 바와 같은 무색 빔 분리기(1/2 ExB 빔 분리기), (도 3b에 예시적으로 도시된 바와 같은) 2-B 분리기, 즉, 2개의

자기장들을 갖는 빔 분리기, 분산 보정을 갖는 2-B 분리기, (도 3a에 도시될 바와 같이) 분산 보정을 위해 컬럼의 경사진 상부 부분을 갖는 2-B 분리기, 또는, 예를 들어, 신호 빔(16)의 만곡 각도를 (예를 들어, 45° 내지 90° 까지) 증가시키기 위해 추가적인 신호 전자 만곡기를 갖는, 위에서 언급된 2-B 분리기들 중 임의의 것일 수 있다. 2차 입자들 또는 신호 입자들은 대물 렌즈(130)를 통해 시료로부터 추출되고, 빔 분리기 조립체(160)에서 1차 하전 입자 빔들(15)로부터 분리되고, 검출기 조립체(170)에 도달한다.

[0052] 검출기 조립체(170)는 측정 신호, 예를 들어 검출된 신호 입자들에 대응하는 전자 신호의 생성을 위해 구성된 하나 이상의 검출기 요소를 포함한다. 일부 실시예들에 따르면, 검출기 조립체는 시료와 1차 하전 입자 빔들의 상호작용에 의해 생성된 신호 빔들 또는 신호 입자들을 검출하기 위한 다중-채널 검출기일 수 있다.

[0053] 1차 하전 입자 빔들(15)을 시료(140)에 걸쳐서 주사하고 검출기 조립체(170) 또는 검출기 요소들의 출력을 디스플레이/기록하는 것에 의해, 시료(140)의 표면의 다수의 독립적인 이미지들이 생성된다. 각각의 이미지는 시료의 표면의 상이한 부분에 관한 정보를 담고 있다. 신호 빔에 의해 운반되는 정보는 시료의 토포그래피, 화학적 구성성분들, 정전위 등에 관한 정보를 포함할 수 있다.

[0054] 위에서 언급된 바와 같이, 그리고 일부 실시예들에 따르면, 하전 입자 빔 디바이스는 신호 빔들을 편향시키기 위한 빔 만곡기를 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 빔 만곡기는 적어도 2개의 만곡된 전극들을 포함한다. 만곡된 전극들은 일 방향으로 만곡된 전극들일 수 있다. 다른 실시예에 따르면, 빔 만곡기는 반구형 빔 만곡기일 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 빔 만곡기는 육중극자가 없는 빔 만곡기 또는 육중극자가 보정된 만곡기일 수 있다. 육중극자가 없는 또는 육중극자가 보정된 빔 만곡기는, 신호 빔에 대해 실질적으로 삼각형 형상의 통과 영역을 갖는 애퍼처 및 상이한 형상의 전극들 중 적어도 하나를 제공함으로써, 전기장들의 육중극자 성분을 감소시키거나 보상할 수 있다.

[0055] 일부 실시예들에 따르면, 육중극자가 없는 만곡기는 하전 입자 빔 디바이스를 위한 신호 하전 입자 편향 디바이스일 수 있다. 일부 실시예들에서, 육중극자가 없는 만곡기는 신호 빔을 편향시키도록 구성된 빔 만곡기를 포함할 수 있고, 여기서 빔 만곡기는 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고 제1 전극 및 제2 전극은 그 사이에 신호 빔에 대한 광학 경로를 제공한다. 제1 전극은 광학 경로에 수직인 평면에 제1 단면을 가질 수 있고, 제2 전극은 광학 경로에 수직인 평면에 제2 단면을 가질 수 있다. 제1 단면의 제1 부분 및 제2 단면의 제2 부분은 그 사이에 광학 경로를 제공할 수 있고, 여기서 제1 부분과 제2 부분은 형상이 상이할 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 제1 단면의 제1 부분은 다항식에 의해 정의될 수 있다. 일부 실시예들에서, 제2 단면의 제2 부분은 지수 함수에 의해 정의된다. 특히, 육중극자가 없는 빔 만곡기 또는 육중극자가 보정된 빔 만곡기는, 예를 들어, 빔 만곡기의 입구 및 출구 중 적어도 하나에서의 프린지 필드들의 육중극자 성분 및 빔 만곡기의 2개의 전극들 사이의 육중극자 성분 중 적어도 하나를 감소시키거나 보상할 수 있다. 본원에 설명된 바와 같은 빔 만곡기는 또한, "낮은 육중극자 신호 하전 입자 편향 디바이스"로서 지칭될 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스(100)는 2차 전자 광학계들의 추가적인 요소들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 결함들을 가늠한 한 고속으로 검사하기 위해, 대조가 증가될 필요가 있다.

[0056] 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스는 신호 입자 캡처율의 > 50%의 높은 신호 검출 효율을 가질 수 있다. 높은 신호 검출 효율은 높은 1차 하전 입자 빔(또는 빔렛) 성능과 관련있는 것으로서 간주될 수 있다. 1차 하전 입자 빔 및 신호 빔 광선 경로가 동시에 유리하게 최적화되기 때문에, 신호 빔의 축상(즉, 광학 축(4)) 검출은 제한된 성능을 갖는데, 이는 제한들을 초래한다. 1차 하전 입자 빔들과 신호 빔들(결국 신호 빔 광학 요소들을 포함함)의 분리는 양쪽 광선 경로들 모두가 서로 독립적으로 처리(및 최적화)될 수 있는 해결책이다.

[0057] 도 3a는 하전 입자 빔 디바이스(100)의 실시예를 도시한다. 도 3a에 도시된 바와 같은 하전 입자 빔 디바이스(100)는 분산 보정을 위해 컬럼의 경사진 상부 부분을 갖는다. 컬럼의 경사진 상부 부분(즉, 1차 하전 입자 빔렛들(15)의 전파 방향으로 볼 때 빔 분리기 조립체(160)의 상류의 컬럼의 일부)에 의해, 빔 분리기 조립체(160)는 (예를 들어, 추가적인 정전기장의 인가에 의해) 추가적인 분산 보정 없이 무색이다.

[0058] 도 3b는 하전 입자 빔 디바이스(100)의 실시예를 도시한다. 도 3b에 도시된 예에서, 하전 입자 빔 디바이스(100)는 신호 빔들(16)로부터 1차 하전 입자 빔렛들(15)을 분리하기 위한 2B-빔 분리기를 포함한다. 일부 실시예들에 따르면, 도 3b에 도시된 빔 분리기는 제1 자기 빔 분리기 편향 코일(161) 및 제2 자기 빔 분리기 편향 코일(162)을 포함한다. 도 3b의 실시예에서, 대물 렌즈(130)는 자기 대물 렌즈로서 도시된다.

[0059] 본원에 설명된 일부 실시예들에 따르면, 하전 입자 빔 디바이스는 추가의 빔 광학 요소들, 예컨대, 집속

렌즈들, (주사) 편향기들, 빔 만곡기들, 보정기들 등을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에서, 집속 렌즈가 다중-애퍼처 렌즈 판 이전에(즉, 1차 하전 입자 빔의 전파 방향으로 볼 때 1차 하전 입자 빔의 상류에) 배치될 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스는 빔 블랭커, 예컨대, 각각의 빔렛에 대한 개별 빔 블랭커 또는 블랭커 애퍼처를 갖는 공통 빔 블랭커를 입자 빔 방출기로부터 볼 때 전형적으로 빔 분리기 이전에 포함할 수 있다.

[0060] 도 4는 하전 입자 빔 디바이스(100)의 실시예를 도시한다. 하전 입자 빔 디바이스(100)는 하전 입자 빔 방출기(111) 및 (하전 입자 빔 방출기(111)와 가속 전극(199) 사이에 전압 차를 제공하기 위해) 가속 전극(199)을 갖는 하전 입자 빔 공급원(110)을 포함한다. 도 4에 예시적으로 도시된 바와 같은 하전 입자 빔 디바이스(100)는, 하전 입자 빔 방출기(111)로부터 방출된 1차 하전 입자 빔(14)을 여러 개의 1차 하전 입자 빔렛들(15)로 분할하기 위한 다중-애퍼처 렌즈 판(113)을 포함한다. 일부 실시예들에 따르면, 다중-애퍼처 렌즈 판(113)은 이전의 실시예들에서, 예컨대, 도 1, 2, 3, 및 3b에 관하여 설명된 실시예들에서 설명된 바와 같은 다중-애퍼처 렌즈 판일 수 있다. 하전 입자 빔 디바이스(100)는 필드 곡률 보정 전극들(112)을 더 포함한다. 도 4에 도시된 실시예에서, 필드 곡률 보정 전극들(112)은, 특히, 1차 하전 입자 빔렛들(15)의 전파 방향으로 볼 때, 다중-애퍼처 렌즈 판(113) 뒤에 위치된다.

[0061] 일부 실시예들에서, 도 4의 필드 곡률 보정 전극들은 가속 모드로 구동되도록 적응된다. 예를 들어, 필드 곡률 보정 전극들은 필드 곡률 보정 전극들로의 전압 공급을 제어하기 위한 제어기에 연결될 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 가속 모드에 있는 필드 곡률 보정 전극들은 애퍼처 렌즈 판으로부터 전파되는 1차 하전 입자 빔 또는 1차 하전 입자 빔렛들을 가속시킬 수 있다.

[0062] 일부 실시예들에서, 도 4에 도시된 바와 같은 렌즈(120)는 자기 렌즈, 회전이 자유로운 자기 렌즈, 회전이 자유로운 자기 렌즈 이중렌즈, (예를 들어, 1차 하전 입자 빔렛들을 감속시키거나 가속시킬 가능성이 있는) 정전 렌즈, 및/또는 (1차 하전 입자 빔렛들에 대한 가속 기능을 갖는) 조합된 정전-자기 렌즈일 수 있다. 일부 실시예들에서, 렌즈는 중심(및, 예를 들어, 편향기 어레이 위치)에 대한 용이한 기계적 접근을 허용하는 자기 렌즈일 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 렌즈(120)는 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈(130)의 코마없는 곳으로 지향시키기 위한 주 지향 효과를 제공한다. 지향의 미세 조정은 렌즈(120) 내의 편향기 어레이(150)를 이용하여 이루어질 수 있다. 1차 하전 입자 빔렛들의 집속, 1차 하전 입자 빔렛들과 신호 빔들 또는 빔렛들 사이의 빔 분리, 및 신호 검출은, 도 1, 2, 3a, 및 3b에 관하여 상세히 설명된 바와 동일할 수 있다. 1, 2, 3a 및 3b와 관련하여 설명된 특징들은 또한, 특징들이 서로 모순되지 않는 한, 도 4에 도시된 실시예에 사용될 수 있다.

[0063] 도 5는 다중-컬럼 현미경 구성(200)을 도시한다. 다중-컬럼 현미경 구성(200)은 3개의 하전 입자 빔 디바이스(100)를 갖는 것으로 예시적으로 도시된다. 하전 입자 빔 디바이스의 개수는, 본원에 설명된 실시예들에 따른 다중-컬럼 현미경 구성에서, 도시된 예로부터 벗어날 수 있다. 예를 들어, 본원에 설명된 실시예들에 따른 다중-컬럼 현미경 구성은 3개 미만, 예컨대, 2개의 하전 입자 빔 디바이스들, 또는 3개 초과, 예컨대, 4개, 5개 또는 심지어 5개 초과,의 하전 입자 빔 디바이스들을 가질 수 있다. 다중-컬럼 현미경 구성의 하전 입자 빔 디바이스들 각각은, 특히, 도 1 내지 4와 관련하여 본원에 설명된 임의의 실시예들에서 설명된 바와 같은 하전 입자 빔 디바이스일 수 있다. 도 5의 예시적인 도면에서, 다중-컬럼 현미경은 도 1에 도시되고 설명된 바와 같은 하전 입자 빔 디바이스들을 포함한다. 다중-컬럼 현미경 구성(200)은, 검사될 여러 개의 시료들(140)이 배치되는 시료 스테이지(142)를 포함한다. 일부 실시예들에서, 다중-컬럼 현미경 구성(200)의 하전 입자 빔 디바이스들은 하나의 시료를 함께 검사할 수 있다.

[0064] 본원에 설명된 일부 실시예들에 따르면, 다중-컬럼 현미경 구성(200)의 하전 입자 빔 디바이스들(100)은, 정전 렌즈 구성요소들 및 자기 렌즈 구성요소들, 예를 들어, 다수의 보어들 및 공통 여기 코일을 갖는 자기 렌즈를 포함하는 공통 대물 렌즈(131)(단순화된 개략도로 도시됨)를 가질 수 있다. 정전 렌즈 구성요소는 고전위에 놓인 상부 전극, 및 시료 전압에 가까운 전위에 놓이고, 랜딩 에너지를 제공하기 위해 전자들을 감속시키는 하부 전극을 포함할 수 있다. 전극들은 1차 하전 입자 빔렛들을 지향시키는 것뿐만 아니라 1차 하전 입자 빔렛들을 늦추는 것에도 기여한다. 추가적으로, 신호 입자들, 예컨대, 2차 전자들(SE) 또는 후방산란된 전자들을 추출하기 위한 제어 전극, 예를 들어, 프록시 전극이 제공될 수 있다. 예를 들어, 본원에 설명된 실시예들에 따른 대물 렌즈를 이용하여, 하전 입자 빔 이미징화 시스템의 전체 성능을 악화시키지 않고, 매우 낮은 랜딩 에너지, 예를 들어, 100 eV 및 낮은 추출 필드가 제공될 수 있다.

[0065] 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 하전 입자 빔 디바이스 및 다중-컬럼 현미경 구성은, 특히, 본원에 설명된 실시예들에 따른 하전 입자 빔 디바이스의 낮은 수차들로 인해, 상당한 성능 손실 없이, 작동 조건들(예를 들어,

1차 하전 입자 빔렛들의 랜딩 에너지, 신호 빔들의 추출 전압)에서 유연한 것으로 설명될 수 있다.

- [0066] 하부 전극, 중간 전극, 및 상부 전극뿐만 아니라, 궁극적으로 프록시 전극도 갖는 대물 렌즈가 다중-컬럼 현미경 구성에 관해 설명되지만, 설명된 전극들은 또한, 본원의 실시예들에서, 특히, 도 1 내지 4와 관련하여 설명된 바와 같이 단일 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈에 대해(함께 또는 단독으로) 사용될 수 있다.
- [0067] 일부 실시예들에서, 1차 하전 입자 빔렛들에 대한 공통 대물 렌즈(예를 들어, 자기 렌즈)는 적어도 2개의 렌즈 모듈들을 포함할 수 있고, 이들 각각은 제1 극편, 제2 극편 및 1차 하전 입자 빔렛을 위한 적어도 하나의 개구부를 포함한다. 추가적으로, 공통 대물 렌즈는 적어도 2개의 렌즈 모듈들에 자속을 제공하는 적어도 하나의 여기 코일을 포함할 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 공통 대물 렌즈는 각각의 1차 하전 입자 빔렛을 위한 렌즈 모듈을 포함할 수 있다.
- [0068] 일부 실시예들에 따르면, 다중-컬럼 현미경 구성의 하전 입자 빔 디바이스들(100)은 서로에 대해 전형적으로 약 10 mm 내지 약 60 mm, 더 전형적으로는 약 10 mm 내지 약 50 mm의 거리를 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 다중-컬럼 현미경 구성의 단일 하전 입자 빔 디바이스들 사이의 거리는 하전 입자 빔 디바이스들의 광학 축들 사이의 거리로서 측정될 수 있다.
- [0069] 도 5에 예시적으로 도시된 바와 같은 다중-컬럼 현미경 구성에서 여러 개의 하전 입자 빔 디바이스들을 사용함으로써, 충분한 개수의 1차 하전 입자 빔렛들이, 충분한 해상도로 그리고 신호 빔렛들 사이에 충분히 작은 누화를 갖고 제공될 수 있다.
- [0070] 일부 실시예들에 따르면, 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법이 설명된다. 도 6에서, 검사를 위한 방법의 흐름도(500)가 도시된다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에 따르면, 방법에 사용되는 바와 같은 하전 입자 빔 디바이스는, 특히, 도 1 내지 4와 관련하여 본원의 실시예들에서 설명된 바와 같은 하전 입자 빔 디바이스일 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따른 방법은 또한, 일부 실시예들, 예컨대, 도 5에 도시된 실시예에서 설명된 바와 같은 다중-컬럼 현미경 구성으로 수행될 수 있다.
- [0071] 블록(510)에서, 본원에 설명된 실시예들에 따른 방법은, 빔 방출기를 포함하는 하전 입자 빔 공급원을 이용하여 1차 하전 입자 빔을 생성하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 위에서 언급된 바와 같이, 빔 방출기는, 예를 들어, CFE, 쇼트키 방출기, TFE 또는 다른 높은 전류의 높은 휘도 하전 입자 빔 공급원(예컨대, 전자 빔 공급원)일 수 있다. 일부 실시예들에 따르면, 빔 방출기는 하나의 1차 하전 입자 빔을 방출할 수 있고, 1차 하전 입자 빔은 (예를 들어, 다중-애퍼처 렌즈에 의해 분할됨으로써) 복수의 1차 하전 입자 빔렛들이 생성되도록 처리될 수 있다. 빔렛들은 다중-애퍼처 렌즈 뒤로 (일부 실시예들에서 가속 렌즈일 수 있는) 렌즈의 평면으로 지향된다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 조합될 수 있는 일부 실시예들에 따르면, 빔 방출기는 빔 방출기로부터의 하전 입자들의 추출을 지원(및 유도)하기 위한 추출 전극들을 포함할 수 있다.
- [0072] 블록(520)에서, 방법은 적어도 2개의 전극들을 이용하여 하전 입자 빔 디바이스의 필드 곡률을 보정하는 단계를 더 포함한다. 전극들에 의해 보정될 필드 곡률은, 위에서 상세히 설명된 바와 같이, 이미지화 렌즈들, 예컨대, 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈에 의해 하전 입자 빔 디바이스에 도입될 수 있다. 다중-애퍼처 렌즈 판 및 추출기 전극들과 함께, 필드 곡률 보정 전극들 및 추출 전극은 소위 "제로 강도 매크로 렌즈"를 생성할 수 있다. "제로 강도"는 축외 하전 입자들이 편향되지 않음을 의미할 수 있고, 색 편향 오차들과 연관된 문제를 회피한다. 일부 실시예들에 따르면, 필드 곡률 보정 전극들은 필드 곡률 보정 전극들로부터의 필드가 다중-애퍼처 렌즈 판 상에서 끝나서 단일 1차 하전 입자 빔렛들에 대한 저 수차 단일 애퍼처 렌즈들을 형성하도록 구성되고/거나 제어될 수 있다.
- [0073] 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 적어도 2개의 필드 곡률 보정 전극들은 1차 하전 입자 빔이 통과하는 애퍼처 개구부들을 가질 수 있다. 일부 실시예들에서, 방법은, 필드 곡률 보정 전극들을 의도된 응용에 맞춰, 하전 입자 빔 디바이스에 사용되는 렌즈들에 맞춰, 그리고 하전 입자 빔 디바이스의 다른 적합한 작동 파라미터들에 맞춰 제어 및/또는 조정하는 단계를 포함한다. 일부 실시예들에서, 필드 곡률 보정 전극들은 가속 또는 감속 모드로 구동될 수 있다. 예를 들어, 필드 곡률 보정 전극들은 (1차 하전 입자 빔의 전파 방향으로) 다중-애퍼처 렌즈 판의 전방에 배열될 때 감속 효과를 가질 수 있다. 일 예에서, 필드 곡률 보정 전극들은 (1차 하전 입자 빔의 전파 방향으로) 다중-애퍼처 렌즈 판 뒤에 배열될 때 가속 효과를 가질 수 있다.
- [0074] 블록(530)에서, 방법은, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위해 1차 하전 입자 빔으로 다중-애퍼처 렌즈 판을 조명하는 단계를 포함한다. 예를 들어, 다중-애퍼처 렌즈 판은 복수의 애퍼처 개구부들을 가질 수 있

고, 이는 1차 하전 입자 빔이 여러 개의 집속된 1차 하전 입자 빔렛들로 분할되게 한다. 위에서 상세히 설명되고 논의된 바와 같이, 다중-애퍼처 렌즈 판의 애퍼처 개구부들의 배열 또는 그리드 구성이 적합하게 선택될 수 있다. 예를 들어, 다중-애퍼처 렌즈 판의 애퍼처 개구부들은 1차원 빔렛 어레이, 또는 2차원 빔렛 어레이, 예컨대, 이를 테면 직사각형 또는 정사각형 빔렛 어레이로 배열될 수 있다.

[0075] 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 방법은, 블록(540)에서, 하전 입자 빔 공급원에 의해 생성된 1차 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈의 코마없는 점으로 지향시키는 단계를 포함한다. 일 실시예에서, 렌즈는 (예를 들어, 필드 곡률 보정 전극들이 다중-애퍼처 렌즈 판의 전방에 배열된 경우에) 가속기 렌즈일 수 있다. 위에서 설명된 바와 같이, 가속 렌즈는 다중-애퍼처 렌즈 판을 떠나는 1차 하전 입자 빔렛들을 약 10 kV 내지 약 30 kV의 에너지까지 가속할 수 있다. 가속 렌즈에 의해 제공된 부스터 에너지는 1차 하전 입자 빔렛들의 공통 교차부에서의 전자-전자 상호작용을 감소시킬 수 있다.

[0076] 블록(550)에서, 1차 하전 입자 빔렛들은 렌즈 내에 또는 렌즈 근처에 배열된 편향기 어레이를 통해 안내된다. 일부 실시예들에서, 편향기 어레이는 렌즈의 초점 거리 내에 또는 렌즈의 전극들 내에 배열될 수 있다. 본원에 설명된 실시예들에 따르면, 렌즈와 편향기 어레이의 조합된 작용은 1차 하전 입자 빔렛들을 하전 입자 빔 디바이스의 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 지향시킨다. 블록(560)에서, 1차 하전 입자 빔렛들은 시료를 시료 상의 개별 위치들에서 동시에 검사하기 위해 대물 렌즈를 이용하여 개별 위치들 상에 집속된다. 일부 실시예들에 따르면, 필드 곡률 보정 및 대물 렌즈의 코마없는 점을 통한 1차 하전 입자 빔렛들의 통과는, 대물 렌즈가 1차 하전 입자 빔렛들을 정확한 방식으로 시료 상에, 감소된 또는 매우 낮은 수차들로 집속하는 것을 허용한다.

[0077] 일부 실시예들에 따르면, 방법은, 시료로부터의 신호 입자들 또는 신호 빔들의 추출을 용이하게 하기 위해 대물 렌즈 근처의(예컨대, 시료와 대물 렌즈 사이의) 프록시 전극에 전압을 인가하는 단계를 더 포함할 수 있다. 신호 빔은 빔 분리기, 특히, 무색 빔 분리기에 의해 1차 하전 입자 빔렛들로부터 분리될 수 있다. 일부 실시예들에서, 신호 빔은, 신호 빔을 검출기 조립체, 특히, 축의 검출기 조립체로 지향시키기 위해, 빔 만곡기에 의해 만곡된다. 방법은, 검출기 조립체에 의해, 특히, 다중-채널 검출기 조립체에 의해 신호 빔을 검출하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0078] 일부 실시예들에서, 방법은, 시료의 이미지를 생성하기 위해, 또는 시료의 구조의 평가를 허용하는 형태의 데이터를 갖기 위해, 검출기에 의해 획득된 데이터를 처리하는 단계를 포함할 수 있다.

[0079] 본 개시내용은 복수의 실시예들을 제공한다. 예시적인 실시예들이 아래에 열거된다. 실시예 1 : 하전 입자 빔 디바이스의 z 방향으로 연장되는 광학 축을 갖는 하전 입자 빔 디바이스에서 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용하여 시료를 검사하기 위한 방법이 제공된다. 방법은, 하전 입자 빔 방출기를 이용하여 1차 하전 입자 빔을 생성하는 단계; 집속된 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위해, 표면을 갖는 다중-애퍼처 렌즈 판을 1차 하전 입자 빔을 이용하여 조명하는 단계; 전기장을 적어도 제1 전극에 의해 다중-애퍼처 렌즈 판의 표면 상에 생성하는 단계 — 적어도 제1 전극에 의해 제공된 전기장의 z 방향의 필드 성분은 비-회전대칭임 —; 및 시료 상의 개별 위치들에서 시료를 동시에 검사하기 위해 대물 렌즈를 이용하여 개별 위치들 상에 1차 하전 입자 빔렛들을 집속하는 단계를 포함한다.

[0080] 실시예 2 : 실시예 1에 따른 방법에서, 적어도 제1 전극은 1차 하전 입자 빔렛들의 전파 방향으로 애퍼처 렌즈 판 이전에 배열된다.

[0081] 실시예 3 : 실시예 1에 따른 방법에서, 적어도 제1 전극은 1차 하전 입자 빔렛들의 전파 방향으로 애퍼처 렌즈 판 이후에 배열된다.

[0082] 실시예 4 : 실시예 1 내지 3 중 어느 한 실시예에 따른 방법에서, 적어도 제1 전극에 의해 제공된 전기장의 비-회전대칭 z 성분은, 원주 방향으로 적어도 2개의 개별 전극 세그먼트들로 분할된 적어도 제1 전극에 의해 제공된다.

[0083] 실시예 5: 실시예 4에 따른 방법에서, 적어도 제1 전극은 분할되어, 쌍극자, 사중극자 또는 더 고차의 극을 제공한다.

[0084] 실시예 6 : 실시예 1 내지 5 중 어느 한 실시예에 따른 방법에서, 적어도 제1 전극에 의해 제공된 전기장의 비-회전대칭 z 성분은, 하전 입자 빔 디바이스의 광학 축에 수직인 평면에 대해 경사진 적어도 제1 전극에 의해 제공된다.

[0085] 실시예 7 : 실시예 1 내지 6 중 어느 한 실시예에 따른 방법에서, 시료의 샘플 경사 또는 국부적인 샘플 경사를

측정하는 단계; 및 경사에 비례한 필드 강도 또는 샘플 경사 또는 국부적인 샘플 경사를 적어도 부분적으로 보상하기 위한 필드 강도를 갖는 전기장을 생성하는 단계를 더 포함한다.

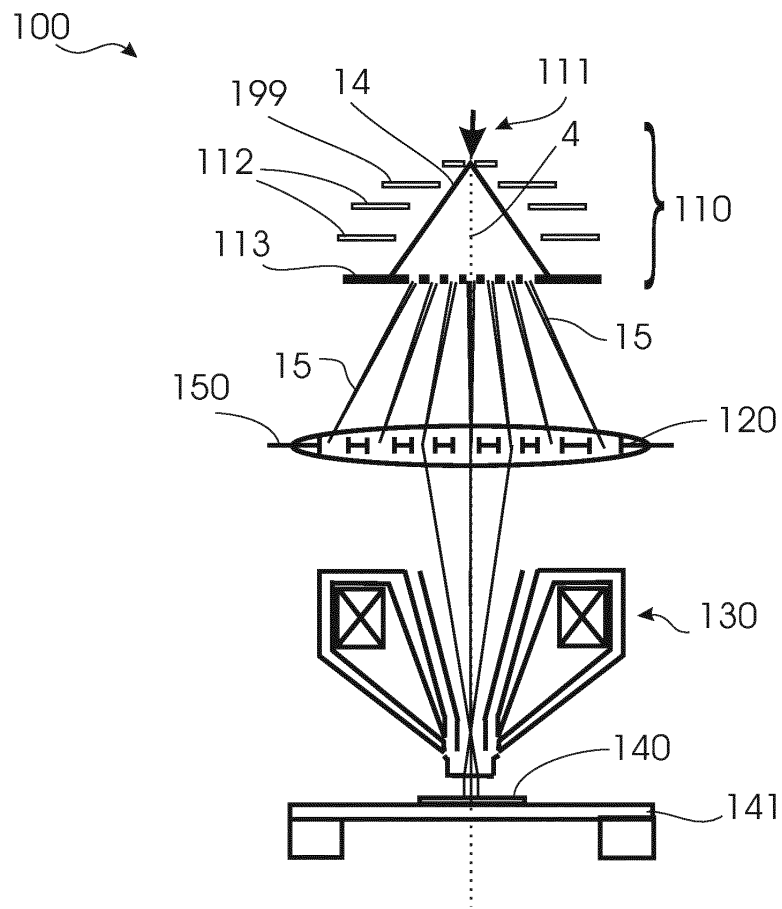
- [0086] 실시예 8 : 실시예 1 내지 7 중 어느 한 실시예에 따른 방법에서, 주사 편향기에 의해 시료에 걸쳐서 1차 하전 입자 빔렛들을 주사하는 단계를 더 포함하고, 적어도 제1 전극에 의해 다중-애퍼처 렌즈 판의 표면 상에 생성된 전기장의 z 성분은 주사 편향기의 여기에 비례하는 진폭을 갖는다.
- [0087] 실시예 9 : 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스로서, 하전 입자 빔 디바이스는 하전 입자 빔 디바이스의 z 방향으로 연장되는 광학 축을 포함하고, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위한 하전 입자 빔 공급원을 더 포함하고, 하전 입자 빔 공급원은: 하전 입자 빔을 방출하기 위한 하전 입자 빔 방출기; 표면을 갖는 다중-애퍼처 렌즈 판 - 다중-애퍼처 렌즈 판은 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하고 집속하기 위해 적어도 2개의 개구부들을 포함하고, 다중-애퍼처 렌즈 판은 1차 하전 입자 빔으로 조명되도록 배열됨 - 을 포함한다. 하전 입자 빔 디바이스는, 전기장을 다중-애퍼처 렌즈 판의 표면 상에 생성하기 위한 적어도 제1 전극 - 적어도 제1 전극은 반경 방향, 원주 방향, 및 1차 하전 입자 빔 또는 1차 하전 입자 빔렛들이 통과하는 애퍼처 개구부를 갖고, 적어도 제1 전극은 원주 방향으로 적어도 2개의 개별 전극 세그먼트들로 분할됨 -; 및 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 각각의 1차 하전 입자 빔렛을 시료 상의 개별 위치에 집속하기 위한 대물 렌즈를 더 포함한다.
- [0088] 실시예 10: 실시예 9에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 개별 전극 세그먼트들은 상이한 전압들을 이용하여 개별적으로 바이어싱가능하다.
- [0089] 실시예 11: 실시예 9 또는 10에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 분할된 제1 전극은 쌍극자, 사중극자 또는 더 고차의 극을 제공한다.
- [0090] 실시예 12 : 실시예 9 내지 11 중 어느 한 실시예에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 적어도 제1 전극은 1차 하전 입자 빔렛들의 전파 방향으로 애퍼처 렌즈 판 이전에 배열된다.
- [0091] 실시예 13 : 실시예 9 내지 11 중 어느 한 실시예에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 적어도 제1 전극은 1차 하전 입자 빔렛들의 전파 방향으로 애퍼처 렌즈 판 이후에 배열된다.
- [0092] 실시예 14 : 실시예 9 내지 13 중 어느 한 실시예에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 시료에 걸쳐서 1차 하전 입자 빔렛들을 주사하기 위한 주사 편향기를 더 포함한다.
- [0093] 실시예 15 : 실시예 9 내지 14 중 어느 한 실시예에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 적어도 제1 전극은 하전 입자 빔 디바이스의 광학 축에 수직인 평면에 대해 경사진다.
- [0094] 실시예 16 : 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스로서, 하전 입자 빔 디바이스는 하전 입자 빔 디바이스의 z 방향으로 연장되는 광학 축을 포함하고, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위한 하전 입자 빔 공급원을 더 포함하고, 하전 입자 빔 공급원은: 하전 입자 빔을 방출하기 위한 하전 입자 빔 방출기; 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하고 집속하기 위해 적어도 2개의 개구부들을 포함하는 다중-애퍼처 렌즈 판 - 다중-애퍼처 렌즈 판은 1차 하전 입자 빔으로 조명되도록 배열됨 - 을 포함한다. 하전 입자 빔 디바이스는, 전기장을 다중-애퍼처 렌즈 판의 표면 상에 생성하기 위한 적어도 제1 전극 - 적어도 제1 전극은 1차 하전 입자 빔 또는 1차 하전 입자 빔렛들이 통과하는 애퍼처 개구부들을 갖고, 적어도 제1 전극은 하전 입자 빔 디바이스의 광학 축에 수직인 평면에 대해 경사짐 -; 및 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 각각의 1차 하전 입자 빔렛을 시료 상의 개별 위치에 집속하기 위한 대물 렌즈를 더 포함한다.
- [0095] 실시예 17 : 실시예 16에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 제1 전극은, 양쪽 모두 z 방향에 수직인 x 또는 y 방향으로 경사진다.
- [0096] 실시예 18 : 실시예 16 또는 17에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 제1 전극은 1차 하전 입자 빔렛들의 전파 방향으로 애퍼처 렌즈 판 이전에 배열된다.
- [0097] 실시예 19 : 실시예 16 또는 17에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 제1 전극은 1차 하전 입자 빔렛들의 전파 방향으로 애퍼처 렌즈 판 이후에 배열된다.
- [0098] 실시예 20 : 실시예 16 내지 19 중 어느 한 실시예에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 제1 전극은 원주 방향으로 적어도 2개의 개별 전극 세그먼트들로 분할된다.
- [0099] 실시예 21 : 실시예 16 내지 20 중 어느 한 실시예에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 하전 입자 빔 디바이스

는 시료를 경사진 방식으로 지지하도록 적응된다.

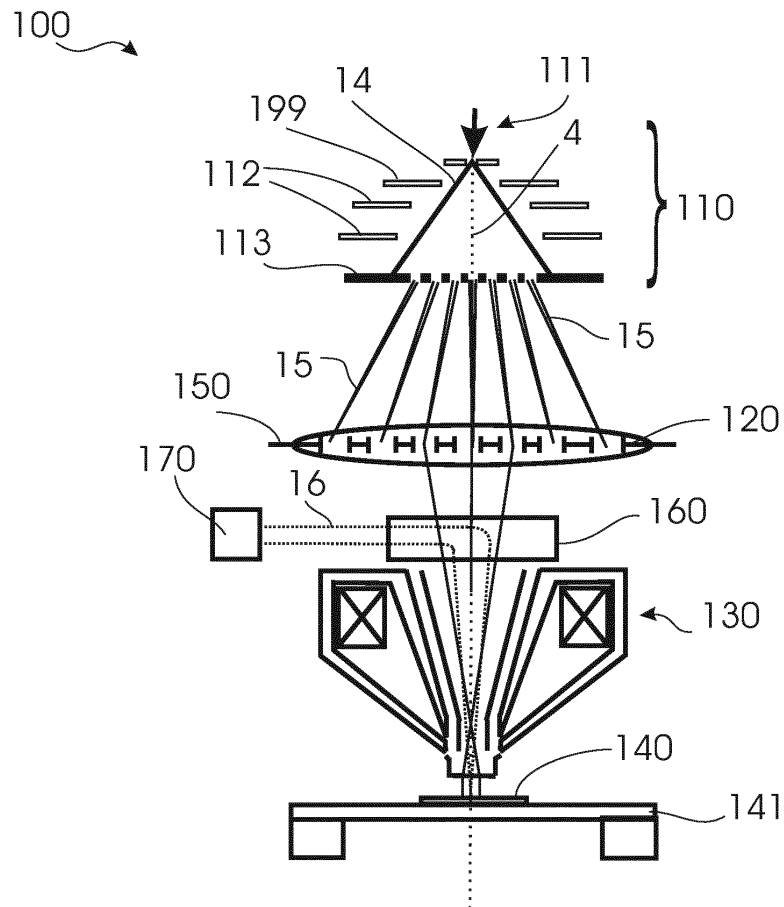
- [0100] 실시예 22 : 시료의 검사를 위한 다중-컬럼 현미경은: 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 이용한 시료의 검사를 위한 하전 입자 빔 디바이스를 포함하고, 하전 입자 빔 디바이스는, 하전 입자 빔 디바이스의 z 방향으로 연장되는 광학 축을 포함하고, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하기 위한 하전 입자 빔 공급원 — 하전 입자 빔 공급원은: 하전 입자 빔을 방출하기 위한 하전 입자 빔 방출기; 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이를 생성하고 집속하기 위해 적어도 2개의 개구부들을 포함하는 다중-애퍼처 렌즈 판 — 다중-애퍼처 렌즈 판은 1차 하전 입자 빔으로 조명되도록 배열됨 — 을 포함함 —; 전기장을 다중-애퍼처 렌즈 판의 표면 상에 생성하기 위한 적어도 제1 전극 — 적어도 제1 전극은 1차 하전 입자 빔 또는 1차 하전 입자 빔렛들이 통과하는 애퍼처 개구부들을 갖고, 적어도 제1 전극은 하전 입자 빔 디바이스의 광학 축에 대해 수직인 평면에 대해 경사지고/거나 적어도 제1 전극은 원주 방향으로 적어도 2개의 개별 전극 세그먼트들로 분할됨 — 을 더 포함하고; 하전 입자 빔 디바이스는, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 각각의 1차 하전 입자 빔렛을 시료 상의 개별 위치에 집속하기 위한 대물 렌즈를 더 포함한다. 다중-컬럼 현미경은: 1차 하전 입자 빔렛들의 추가의 어레이를 생성하기 위한 추가의 하전 입자 빔 공급원을 더 포함한다.
- [0101] 실시예 23 : 실시예 9 내지 15 중 어느 한 실시예에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 1차 하전 입자 빔렛들을 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 안내하기 위해 렌즈 모듈 및 편향기 모듈 중 적어도 하나를 더 포함한다.
- [0102] 실시예 24 : 실시예 16 내지 21 중 어느 한 실시예에 따른 하전 입자 빔 디바이스에서, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 1차 하전 입자 빔렛을 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 안내하기 위해 렌즈 모듈 및 편향기 모듈 중 적어도 하나를 더 포함한다.
- [0103] 실시예 25 : 실시예 22에 따른 다중-컬럼 현미경에서, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 1차 하전 입자 빔렛을 대물 렌즈의 코마없는 점을 통해 안내하기 위해 렌즈 모듈 및 편향기 모듈 중 적어도 하나를 더 포함한다.
- [0104] 실시예 26 : 실시예 22 또는 25에 따른 다중-컬럼 현미경에서, 1차 하전 입자 빔렛들의 어레이의 1차 하전 입자 빔렛을 대물 렌즈 어레이의 각각의 광학 축에 안내하기 위해 시준기 렌즈 및 편향기 어레이 중 적어도 하나를 갖는 시준기를 더 포함한다.
- [0105] 실시예 27 : 실시예 26에 따른 다중-컬럼 현미경에서, 대물 렌즈 어레이는 개별 정전 렌즈들 및 개별 자기 렌즈들 중 하나 이상을 포함한다.
- [0106] 실시예 28 : 실시예 27에 따른 다중-컬럼 현미경에서, 개별 정전 렌즈들은 지연 필드 렌즈들이다.
- [0107] 실시예 29 : 실시예 27 또는 28에 따른 다중-컬럼 현미경에서, 개별 자기 렌즈들은 공통 여기 코일을 갖는다.
- [0108] 전술한 내용은 실시예들에 관한 것이지만, 다른 그리고 추가적인 실시예들이 그의 기본 범위로부터 벗어나지 않고 안출될 수 있으며, 그의 범위는 후속하는 청구항들에 의해 결정된다.

도면

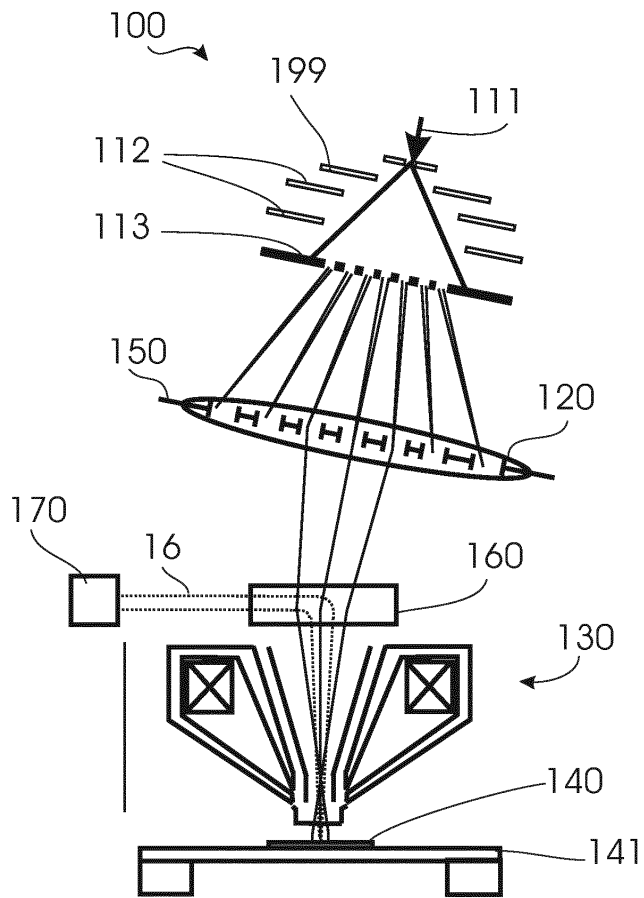
도면1



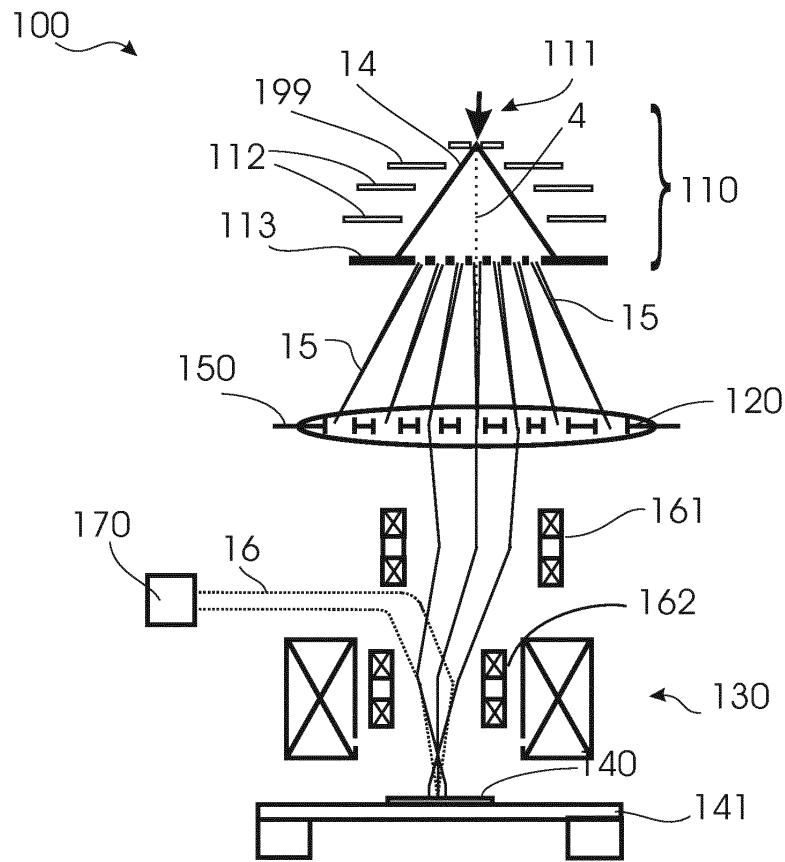
도면2



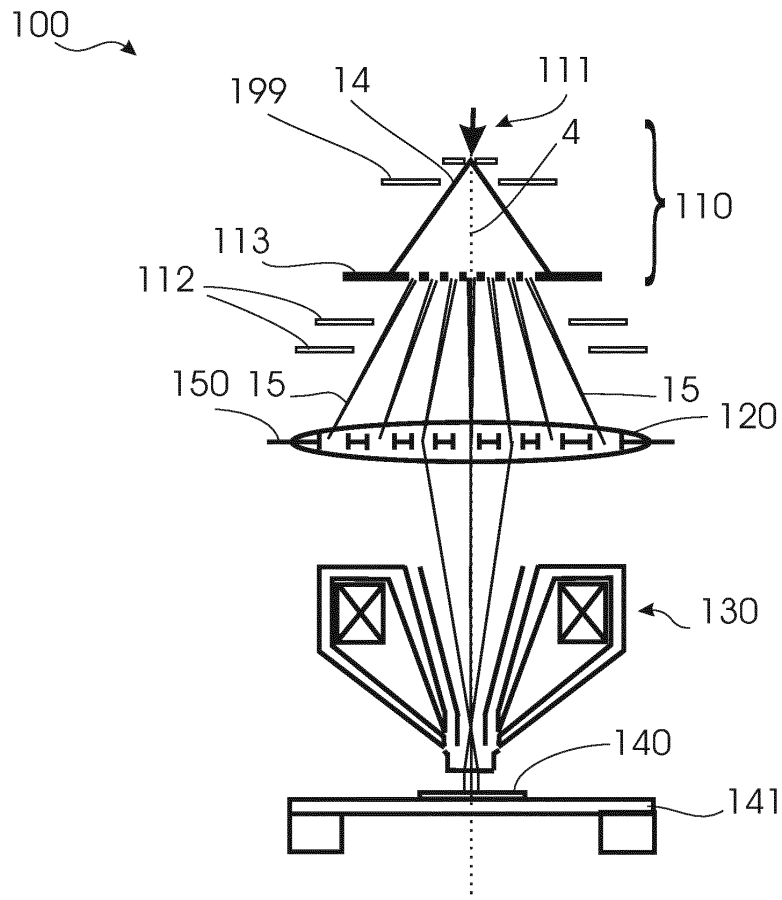
도면3a



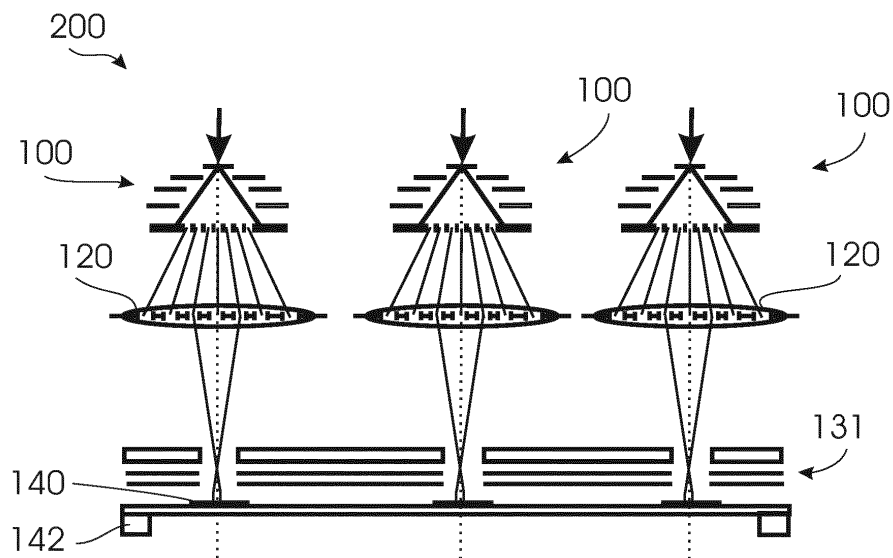
도면3b



도면4



도면5



도면6

