



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0098813
(43) 공개일자 2023년07월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/28 (2006.01) H01J 37/12 (2006.01)
H01J 37/153 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/28 (2020.05)
H01J 37/12 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7016291
- (22) 출원일자(국제) 2021년11월03일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2023년05월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2021/080509
- (87) 국제공개번호 WO 2022/101072
국제공개일자 2022년05월19일
- (30) 우선권주장
20207178.3 2020년11월12일
유럽특허청(EPO)(EP)
(뒷면에 계속)

- (71) 출원인
에이에스엠엘 네델란드 비.브이.
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
- (72) 발명자
빌란트, 마르코, 잔-자코
네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오.박스 324
- (74) 대리인
특허법인(유)화우

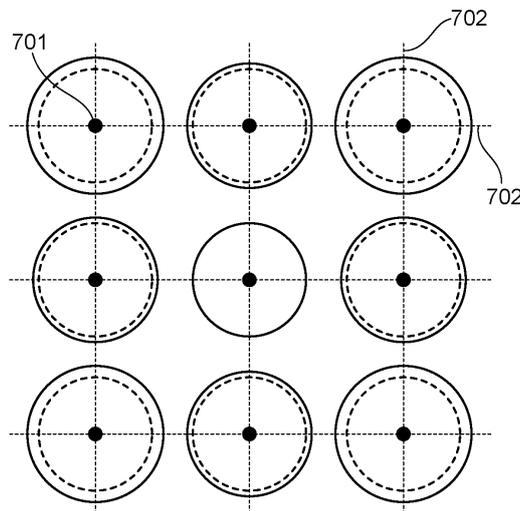
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **대물 렌즈 어레이 조립체, 전자-광학 시스템, 전자-광학 시스템 어레이, 포커싱 방법**

(57) 요약

대물 렌즈 어레이 조립체들 및 연계된 방법들이 개시된다. 일 구성에서, 대물 렌즈 어레이 조립체는 샘플 상에 서브-빔들의 멀티-빔을 포커싱한다. 평면 요소들이 서브-빔 경로들을 따라 정렬되는 복수의 어퍼처들을 정의한다. 대물 렌즈 어레이가 샘플을 향해 멀티-빔을 투영한다. 평면 요소들 중 1 이상의 어퍼처들이 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상한다.

대표도 - 도16



(52) CPC특허분류

H01J 37/153 (2013.01)
H01J 2237/1205 (2013.01)
H01J 2237/1532 (2013.01)
H01J 2237/1534 (2013.01)

(30) 우선권주장

21166214.3 2021년03월31일
유럽특허청(EPO)(EP)
21191726.5 2021년08월17일
유럽특허청(EPO)(EP)

명세서

청구범위

청구항 1

전자-광학 장치로서,

멀티-빔이 파생되는 하전 입자 빔을 제공하도록 구성되는 소스; 및 하전 입자 톨의 전자-광학 시스템을 위한 대물 렌즈 어레이 조립체를 포함하는 전자-광학 시스템을 포함하며,

상기 대물 렌즈 어레이 조립체는 샘플 상에 서브-빔들의 멀티-빔을 포커싱하도록 구성되고,

상기 멀티-빔의 서브-빔 경로들을 따라 정렬되는 복수의 어퍼처(aperture)들을 정의하고 샘플을 향해 상기 멀티-빔을 투영하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이를 포함하는 평면 요소(planar element)들을 포함하며,

상기 평면 요소들 중 1 이상의 어퍼처는 상기 멀티-빔에서의 축외 수차(off-axis aberration)들을 보상하도록 구성되고, 상기 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 가지며, 상기 상이한 어퍼처 영역들의 범위는 상기 멀티-빔에서의 축외 수차를 보상하도록 선택되는, 전자-광학 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 평면 요소들 중 1 이상의 어퍼처는 상기 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 성형, 크기조정 및/또는 위치되는, 전자-광학 장치.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 성형, 크기조정 및/또는 위치되는 어퍼처들은 적어도 상기 대물 렌즈 어레이 조립체에서 가장 강한 렌징 효과(lensing effect)를 제공하도록 구성되는 평면 요소에서, 바람직하게는 상기 평면 요소에서만 정의되는 어퍼처들인, 전자-광학 장치.

청구항 4

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 상이한 어퍼처 영역들의 범위에 의해 보상되는 축외 수차들은 필드 곡률을 포함하는, 전자-광학 장치.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상이한 타원율들의 범위를 가지며, 상기 상이한 타원율들의 범위는 상기 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 상기 상이한 타원율들의 범위에 의해 보상되는 축외 수차들은 비점수차를 포함하는, 전자-광학 장치.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치(nominal position)들에 대해 변위되며, 변위들은 상기 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 상기 변위들에 의해 보상되는 축외 수차들은 텔레센트 리시티 오차(telecentricity error)에 의해 야기되는 왜곡을 포함하는, 전자-광학 장치.

청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 구성되는 상기 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상기 대물 렌즈 어레이의 1 이상의 평면 요소에 정의된 어퍼처들인, 전자-광학 장치.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 평면 요소들은 상기 대물 렌즈 어레이의 빔 상류에 위치되는 제어 렌즈 어레이를 더 포함하며, 제어 렌즈들은 상기 서브-빔들을 사전-포커싱(pre-focus)하도록 구성되는, 전자-광학 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 평면 요소들은 상기 제어 렌즈 어레이로부터 빔 상류에 상부 빔 리미터를 더 포함하며, 상기 상부 빔 리미터는 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의하는, 전자-광학 장치.

청구항 10

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서,

상기 제어 렌즈 어레이에 정의된 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치들에 대해 변위되는 위치들에 제공되며, 변위들은 상기 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되는, 전자-광학 장치.

청구항 11

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서,

상기 제어 렌즈 어레이 및 상부 빔 리미터에 정의된 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치들에 대해 변위되는 위치들에 제공되며, 변위들은 상기 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되는, 전자-광학 장치.

청구항 12

제 6 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 있어서,

변위들은 가장 강한 렌징 효과를 제공하는 평면 요소 내의 어퍼처들의 중심들을 통과하는 서브-빔 경로들이 빔 상류에서 대응하는 변위된 어퍼처들의 중심들을 통과하도록 선택되는, 전자-광학 장치.

청구항 13

제 1 항 내지 제 12 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 평면 요소들은 상기 대물 렌즈 어레이를 형성하는 적어도 하나의 평면 요소로부터 빔 하류에 빔 성형 리미터(beam shaping limiter)를 포함하며, 상기 빔 성형 리미터는 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의하는, 전자-광학 장치.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 빔 성형 리미터에 정의된 빔-제한 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상기 대물 렌즈 어레이를 형성하는 빔-상류 평면 요소들 내의 어퍼처들의 각 중심 축들에 대해 변위되는 위치들에 제공되며, 바람직하게는 변위들은 상기 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 상기 변위들에 의해 보상되는 축외 수차들은 코마를 포함하는, 전자-광학 장치.

청구항 15

제 1 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 샘플로부터 방출되는 하전 입자들을 검출하도록 구성되는 검출기를 더 포함하며, 상기 검출기의 적어도 일부는 바람직하게는 상기 대물 렌즈 어레이에 인접 및/또는 통합되고, 바람직하게는 상기 검출기는 상기 조립체의 샘플을 향하는 표면(sample facing surface)을 제공하는, 전자-광학 장치.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 출원은 2020년 11월 12일에 출원된 EP 출원 20207178.3 및 2021년 3월 31일에 출원된 EP 출원 21166214.3 및 2021년 8월 17일에 출원된 EP 출원 21191726.5의 우선권을 주장하며, 이들은 각각 본 명세서에서 그 전문이 인용참조된다.
- [0002] 본 명세서에서 제공되는 실시예들은 일반적으로 하전 입자들의 다수 서브-빔들을 사용하는 하전 입자 튜들에 관한 것이다.

배경 기술

- [0003] 반도체 집적 회로(IC) 칩을 제조하는 경우, 예를 들어 광학 효과 및 부수적인 입자들의 결과로서 원하지 않은 패턴 결함들이 제작 공정들 동안 기관(즉, 웨이퍼) 또는 마스크 상에서 필연적으로 발생하여, 수율을 감소시킨다. 그러므로, 원하지 않은 패턴 결함들의 정도를 모니터링하는 것은 IC 칩들의 제조에서 중요한 프로세스이다. 더 일반적으로, 기관 또는 다른 대상물/재료의 표면의 검사 및/또는 측정은 그 제조 동안 및/또는 제조 후 중요 프로세스이다.
- [0004] 하전 입자 빔을 이용한 패턴 검사 튜들이, 예를 들어 패턴 결함들을 검출하기 위해 대상물들을 검사하는 데 사용되어 왔다. 이 튜들은 통상적으로 스캐닝 전자 현미경(SEM)과 같은 전자 현미경검사 기술들을 사용한다. SEM에서는, 비교적 높은 에너지의 전자들의 일차 전자 빔이 비교적 낮은 랜딩 에너지(landing energy)에서 샘플 상에 착지하기 위해 최종 감속 단계를 목표로 한다. 전자들의 빔은 샘플 상에 프로빙 스폿(probing spot)으로서 포커싱된다. 프로빙 스폿에서의 재료 구조체와 전자들의 빔으로부터의 랜딩 전자들 간의 상호작용은 표면으로부터 이차 전자, 후방산란된 전자 또는 오제 전자와 같은 전자들이 방출되도록 한다. 생성된 이차 전자들은 샘플의 재료 구조체로부터 방출될 수 있다. 일차 전자 빔을 샘플 표면에 걸쳐 프로빙 스폿으로서 스캔함으로써, 이차 전자들이 샘플의 표면 전체에 걸쳐 방출될 수 있다. 샘플 표면으로부터 방출된 이러한 이차 전자들을 수집함으로써, 패턴 검사 튜가 샘플의 표면의 재료 구조체의 특성들을 나타내는 이미지를 얻을 수 있다.
- [0005] 일반적으로, 하전 입자 튜들의 스루풋 및 다른 특성들을 개선할 필요가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 목적은 하전 입자 튜들의 스루풋 또는 다른 특성들의 개선을 지원하는 실시예들을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0007] 본 발명의 제 1 실시형태에 따르면, 멀티-빔이 과생되는 하전 입자 빔을 제공하도록 구성되는 소스; 및 하전 입자 튜의 전자-광학 시스템을 위한 대물 렌즈 어레이 조립체를 포함하는 전자-광학 시스템을 포함한 전자-광학 장치가 제공되며, 대물 렌즈 어레이 조립체는 샘플 상에 서브-빔들의 멀티-빔을 포커싱하도록 구성되고, 멀티-빔의 서브-빔 경로들을 따라 정렬되는 복수의 어퍼처(aperture)들을 정의하고 샘플을 향해 멀티-빔을 투영하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이를 포함하는 평면 요소(planar element)들을 포함하며, 평면 요소들 중 1 이상의 어퍼처는 멀티-빔에서의 축외 수차(off-axis aberration)를 보상하도록 구성되고, 적어도 어퍼처들의 서브세트는 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 가지며, 상이한 어퍼처 영역들의 범위는 멀티-빔에서의 축외 수차를 보상하도록 선택된다.
- [0008] 본 발명의 제 2 실시형태에 따르면, 샘플을 향해 하전 입자들의 멀티-빔을 포커싱하는 방법이 제공되며, 이는: 멀티-빔의 서브-빔 경로들을 따라 정렬되는 복수의 어퍼처들을 정의하고 샘플을 향해 멀티-빔을 투영하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이를 포함하는 평면 요소들을 포함하는 대물 렌즈 어레이 조립체를 제공하는 단계; 및 멀티-빔에서의 축외 수차를 보상하기 위해 평면 요소들 중 1 이상에 정의된 어퍼처를 사용하는 단계를 포함하고, 적어도 어퍼처들의 서브세트는 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 가지며, 상이한 어퍼처 영역들의 범위는 멀티-빔에서의 축외 수차를 보상하도록 선택된다.

도면의 간단한 설명

[0009]

본 발명의 앞선 실시형태 및 다른 실시형태는 첨부된 도면들과 함께 취해진 예시적인 실시예들의 설명으로부터 더 명백해질 것이다.

도 1은 예시적인 하전 입자 빔 검사 장치를 나타내는 개략적인 다이어그램이다.

도 2는 도 1의 예시적인 하전 입자 빔 검사 장치의 일부인 예시적인 멀티-빔 장치를 나타내는 개략적인 다이어그램이다.

도 3은 매크로 시준기(macro collimator) 및 매크로 스캔 디플렉터를 포함하는 예시적인 전자-광학 시스템의 개략적인 다이어그램이다.

도 4는 예시적인 구성에 대한 랜딩 에너지 대 분해능의 그래프이다.

도 5는 매크로 시준기 및 스캔-디플렉터 어레이를 포함하는 예시적인 전자-광학 시스템의 개략적인 다이어그램이다.

도 6은 시준기 요소 어레이 및 스캔-디플렉터 어레이를 포함하는 예시적인 전자-광학 시스템의 개략적인 다이어그램이다.

도 7은 도 6의 전자-광학 시스템들을 포함하는 예시적인 전자-광학 시스템 어레이의 개략적인 다이어그램이다.

도 8은 대물 렌즈 어레이 조립체의 빔 상류의 집속 렌즈 어레이(condenser lens array)를 포함하는 예시적인 전자-광학 시스템의 개략적인 다이어그램이다.

도 9는 제어 렌즈 및 대물 렌즈의 확대된 다이어그램이다.

도 10은 2-전극 대물 렌즈 어레이와 통합된 검출기 모듈의 개략적인 측면면도이다.

도 11은 도 10에 도시된 타입의 검출기 모듈의 저면도이다.

도 12는 빔 어퍼처들이 육각 밀집 어레이(hexagonal close packed array)에 있는 대안적인 검출기 모듈의 저면도이다.

도 13은 도 10의 대물 렌즈 어레이에 통합하기 위한 검출기 모듈의 확대된 개략적인 단면도이다.

도 14는 빔 성형 리미터(beam shaping limiter)를 갖는 대물 렌즈들 및 상부 빔 리미터를 갖는 제어 렌즈들을 형성하는 전극 부분들의 개략적인 측면면도이다.

도 15는 빔 성형 리미터에서의 빔-제한 어퍼처를 나타내는 도 14의 A-A 평면에 대한 개략적인 확대된 단면도이다.

도 16은 필드 곡률을 보상하기 위한 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 갖는 어퍼처들을 정의하는 평면 요소들을 포함하는 예시적인 조립체의 부분의 평면도이다.

도 17은 필드 곡률을 보상하기 위한 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 갖는 어퍼처들을 정의하는 평면 요소들을 포함하는 또 다른 예시적인 조립체의 부분의 평면도이다.

도 18은 비점수차를 보상하기 위한 상이한 타원율들의 범위를 갖는 어퍼처들을 정의하는 평면 요소들을 포함하는 또 다른 예시적인 조립체의 부분의 평면도이다.

도 19는 비점수차를 보상하기 위한 상이한 타원율들의 범위를 갖는 어퍼처들을 정의하는 평면 요소들을 포함하는 또 다른 예시적인 조립체의 부분의 평면도이다.

도 20은 텔레센트리시티 오차(telecentricity error)에 의해 야기되는 왜곡을 보정하기 위해 공칭 위치들에 대하여 변위되는 어퍼처들을 정의하는 평면 요소들을 포함하는 또 다른 예시적인 조립체의 부분의 도 21에 나타난 A-A 평면에 대한 단면도이다.

도 21은 B-B 평면에 대한 도 20의 구성의 단면도이다.

도 22는 빔 성형 리미터의 빔-제한 어퍼처들이 빔-상류 평면 요소들에서 어퍼처들의 각 중심 축들에 대하여 변위되는 위치들에 제공되는 예시적인 조립체의 부분의 저면도이다.

도 23은 A-A 평면에 대한 도 22의 구성의 측단면도이다.

도 24는 텔레센트리시티 오차에 의해 야기되는 왜곡을 보정하기 위해 공칭 위치들에 대하여 어퍼처들이 변위되는 집속 렌즈 어레이의 부분의 저면도이다.

도 25는 더미(dummy) 어퍼처들을 포함하는 예시적인 평면 요소의 부분의 평면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0010] 이제 예시적인 실시예들을 상세히 언급할 것이며, 그 예시들은 첨부된 도면들에서 나타낸다. 다음 설명은, 달리 나타내지 않는 한 상이한 도면들에서의 동일한 번호들이 동일하거나 유사한 요소들을 나타내는 첨부된 도면들을 참조한다. 예시적인 실시예들의 다음 설명에서 설명되는 구현들은 본 발명에 따른 모든 구현들을 나타내지는 않는다. 대신에, 이들은 첨부된 청구항들에서 언급되는 바와 같은 본 발명에 관련된 실시형태들과 일치하는 장치들 및 방법들의 예시들에 불과하다.
- [0011] 디바이스들의 물리적 크기를 감소시키는 전자 디바이스들의 향상된 컴퓨팅 능력은 IC 칩에서 트랜지스터, 커패시터, 다이오드 등과 같은 회로 구성요소들의 패키징 밀도를 크게 증가시킴으로써 달성될 수 있다. 이는 더 작은 구조체들이 만들어질 수 있게 하는 증가된 분해능에 의해 가능해졌다. 예를 들어, 엄지손톱의 크기이고 2019년 또는 그 이전에 이용가능한 스마트 폰의 IC 칩은 20 억 개가 넘는 트랜지스터들을 포함할 수 있으며, 각각의 트랜지스터의 크기는 사람 머리카락의 1/1000 미만이다. 따라서, 반도체 IC 제조가 수백 개의 개별 단계들을 갖는 복잡하고 시간-소모적인 공정이라는 것은 놀라운 일이 아니다. 심지어 한 단계에서의 오차들이 최종 생산물의 기능에 극적으로 영향을 미칠 잠재력을 갖는다. 하나의 "치명적 결함(killer defect)"도 디바이스 실패를 야기할 수 있다. 제조 공정의 목표는 공정의 전체 수율을 개선하는 것이다. 예를 들어, 50-단계 공정(여기서, 단계는 웨이퍼 상에 형성되는 층들의 수를 나타낼 수 있음)에 대해 75 % 수율을 얻기 위해, 각각의 개별적인 단계가 99.4 %보다 큰 수율을 가져야 한다. 개별적인 단계가 95 %의 수율을 갖는 경우, 전체 공정 수율은 7 %만 큼 낮을 것이다.
- [0012] IC 칩 제조 설비에서는 높은 공정 수율이 바람직하지만, 시간 당 처리되는 기관들의 수로 정의되는 높은 기관 (즉, 웨이퍼) 스루풋을 유지하는 것도 필수적이다. 높은 공정 수율 및 높은 기관 스루풋은 결함의 존재에 의해 영향을 받을 수 있다. 이는 특히 결함들을 검토하기 위해 작업자 개입이 필요한 경우에 그러하다. 따라서, [스캐닝 전자 현미경('SEM')과 같은] 검사 툴들에 의한 마이크로 및 나노-스케일 결함들의 고스루풋 검출 및 식별이 높은 수율 및 낮은 비용을 유지하기 위해 필수적이다.
- [0013] SEM은 스캐닝 디바이스 및 검출기 장치를 포함한다. 스캐닝 디바이스는 일차 전자들을 생성하는 전자 소스를 포함하는 조명 장치, 및 일차 전자들의 1 이상의 포커싱된 빔으로 기관과 같은 샘플을 스캔하는 투영 장치를 포함한다. 적어도 조명 장치 또는 조명 시스템, 및 투영 장치 또는 투영 시스템은 함께 전자-광학 시스템 또는 장치라고 칭해질 수 있다. 일차 전자들은 샘플과 상호작용하고, 이차 전자들을 생성한다. 검출 장치는 SEM이 샘플의 스캔된 영역의 이미지를 생성할 수 있도록 샘플이 스캔될 때 샘플로부터 이차 전자들을 포착한다. 고스루풋 검사를 위해, 검사 장치들 중 일부는 일차 전자들의 다수 포커싱된 빔들, 즉 멀티-빔을 사용한다. 멀티-빔의 구성 빔(component beam)들은 서브-빔들 또는 빔릿(beamlet)들로 지칭될 수 있다. 멀티-빔은 샘플의 상이한 부분들을 동시에 스캔할 수 있다. 그러므로, 멀티-빔 검사 장치는 단일-빔 검사 장치보다 훨씬 더 빠른 속도로 샘플을 검사할 수 있다.
- [0014] 알려진 멀티-빔 검사 장치의 구현이 아래에 설명되어 있다.
- [0015] 도면들은 개략적이다. 그러므로, 도면들에서의 구성요소들의 상대적인 치수들은 명확함을 위해 과장된다. 도면들의 다음 설명 내에서, 동일하거나 유사한 참조 번호들은 동일하거나 유사한 구성요소들 또는 개체들을 지칭하며, 개별적인 실시예들에 대한 차이들만이 설명된다. 설명 및 도면들은 전자-광학 장치에 관한 것이지만, 실시예들은 본 개시내용을 특정 하전 입자들로 제한하는 데 사용되지 않는다는 것을 이해한다. 그러므로, 본 명세서 전체에 걸친 전자들에 대한 언급은 더 일반적으로 하전 입자들에 대한 언급으로 간주될 수 있으며, 하전 입자들이 반드시 전자들인 것은 아니다.
- [0016] 이제 도 1을 참조하며, 이는 예시적인 하전 입자 빔 검사 장치(100)를 나타내는 개략적인 다이어그램이다. 도 1의 하전 입자 빔 검사 장치(100)는 주 챔버(10), 로드 락 챔버(load lock chamber: 20), 전자 빔 툴(40), EFEM(equipment front end module: 30) 및 제어기(50)를 포함한다. 전자 빔 툴(40)은 주 챔버(10) 내에 위치된다.

- [0017] EFEM(30)은 제 1 로딩 포트(loading port: 30a) 및 제 2 로딩 포트(30b)를 포함한다. EFEM(30)은 추가적인 로딩 포트(들)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제 1 로딩 포트(30a) 및 제 2 로딩 포트(30b)는 검사될 기관들[예를 들어, 반도체 기관들 또는 다른 재료(들)로 만들어진 기관들] 또는 샘플들(이후, 기관, 웨이퍼 및 샘플은 집합적으로 "샘플"이라고 함)을 포함하는 기관 FOUNP(front opening unified pod)들을 수용할 수 있다. EFEM(30) 내의 1 이상의 로봇 아암(robot arm)(도시되지 않음)이 로드 락 챔버(20)로 샘플들을 이송한다.
- [0018] 로드 락 챔버(20)는 샘플 주위의 가스를 제거하는 데 사용된다. 이는 주위 환경에서의 압력보다 낮은 국부적 가스 압력인 진공을 생성한다. 로드 락 챔버(20)는 로드 락 챔버(20) 내의 가스 입자들을 제거하는 로드 락 진공 펌프 시스템(도시되지 않음)에 연결될 수 있다. 로드 락 진공 펌프 시스템의 작동은 로드 락 챔버가 대기압 미만의 제 1 압력에 도달할 수 있게 한다. 제 1 압력에 도달한 후, 1 이상의 로봇 아암(도시되지 않음)이 로드 락 챔버(20)로부터 주 챔버(10)로 샘플을 이송한다. 주 챔버(10)는 주 챔버 진공 펌프 시스템(도시되지 않음)에 연결된다. 주 챔버 진공 펌프 시스템은 샘플 주위에서의 압력이 제 1 압력 미만의 제 2 압력에 도달하도록 주 챔버(10) 내의 가스 분자들을 제거한다. 제 2 압력에 도달한 후, 샘플은 전자 빔 툴로 이송되고 이에 의해 검사될 수 있다. 전자 빔 툴(40)은 멀티-빔 전자-광학 장치를 포함할 수 있다.
- [0019] 제어기(50)가 전자 빔 툴(40)에 전자적으로 연결된다. 제어기(50)는 하전 입자 빔 검사 장치(100)를 제어하도록 구성되는 (컴퓨터와 같은) 프로세서일 수 있다. 또한, 제어기(50)는 다양한 신호 및 이미지 처리 기능들을 실행하도록 구성되는 처리 회로를 포함할 수 있다. 제어기(50)는 도 1에서 주 챔버(10), 로드 락 챔버(20), 및 EFEM(30)을 포함하는 구조의 외부에 있는 것으로 도시되지만, 제어기(50)가 구조의 일부일 수 있다는 것을 이해한다. 제어기(50)는 하전 입자 빔 검사 장치의 구성 요소들 중 하나에 위치될 수 있거나, 또는 이는 구성 요소들 중 적어도 2 개에 걸쳐 분포될 수 있다. 본 발명은 전자 빔 검사 툴을 하우징하는 주 챔버(10)의 예시들을 제공하지만, 본 발명의 실시형태들은 가장 넓은 의미에서 전자 빔 검사 툴을 하우징하는 챔버에 제한되지 않는다는 것을 유의하여야 한다. 오히려, 앞선 원리들은 제 2 압력 하에서 작동하는 장치의 다른 구성들 및 다른 툴들에도 적용될 수 있다는 것을 이해한다.
- [0020] 이제 도 2를 참조하며, 이는 도 1의 예시적인 하전 입자 빔 검사 장치(100)의 일부인 멀티-빔 검사 툴을 포함하는 예시적인 전자 빔 툴(40)을 나타내는 개략적인 다이어그램이다. 멀티-빔 전자 빔 툴(40)[본 명세서에서 장치(40)라고도 함]은 전자 소스(201), 투영 장치(230), 전동 스테이지(motorized stage: 209), 및 샘플 홀더(207)를 포함한다. 따라서, 전자 빔 장치는 전자-광학 시스템 및 샘플 홀더(207)를 포함할 수 있다. 샘플 홀더(207)는 샘플을 지지하도록 구성된다. 전자 소스(201) 및 투영 장치(230)는 함께 조명 장치라고 칭해질 수 있다. 샘플 홀더(207)는 전자 빔 장치(40)의 일부일 수 있는 스테이지(209)에 의해 작동될 수 있다. 샘플 홀더(207)는 전동 스테이지(209)에 의해 지지되어 검사를 위한 샘플(208)(예를 들어, 기관 또는 마스크)을 유지한다. 멀티-빔 전자 빔 툴(40)은 전자 검출 디바이스(240)를 더 포함한다.
- [0021] 전자 소스(201)는 캐소드(cathode: 도시되지 않음) 및 추출기 또는 애노드(anode: 도시되지 않음)를 포함할 수 있다. 작동 동안, 전자 소스(201)는 캐소드로부터 일차 전자들로서 전자들을 방출하도록 구성된다. 일차 전자들은 추출기 및/또는 애노드에 의해 추출 또는 가속되어 일차 전자 빔(202)을 형성한다.
- [0022] 투영 장치(230)는 일차 전자 빔(202)을 복수의 서브-빔들(211, 212, 213)로 전환하고, 각각의 서브-빔을 샘플(208) 상으로 향하게 하도록 구성된다. 단순화를 위해 3 개의 서브-빔들이 예시되지만, 수십, 수백 또는 수천 개의 서브-빔들이 존재할 수 있다. 서브-빔들은 빔릿들로 지칭될 수 있다.
- [0023] 제어기(50)는 전자 소스(201), 전자 검출 디바이스(240), 투영 장치(230), 및 전동 스테이지(209)와 같은, 도 1의 하전 입자 빔 검사 장치(100)의 다양한 부분들에 연결될 수 있다. 제어기(50)는 다양한 이미지 및 신호 처리 기능들을 수행할 수 있다. 또한, 제어기(50)는 하전 입자 멀티-빔 장치를 포함한 하전 입자 빔 검사 장치의 작동들을 통제하기 위해 다양한 제어 신호들을 생성할 수 있다.
- [0024] 투영 장치(230)는 검사를 위한 샘플(208) 상에 서브-빔들(211, 212, 및 213)을 포커싱하도록 구성될 수 있고, 샘플(208)의 표면에 3 개의 프로브 스폿들(221, 222, 및 223)을 형성할 수 있다. 투영 장치(230)는 샘플(208)의 표면의 섹션에서 개별 스캐닝 영역들에 걸쳐 프로브 스폿들(221, 222, 및 223)을 스캔하기 위해 일차 서브-빔들(211, 212, 및 213)을 편향하도록 구성될 수 있다. 샘플(208) 상의 프로브 스폿들(221, 222, 및 223)에 대한 일차 서브-빔들(211, 212, 및 213)의 입사에 응답하여, 이차 전자들 및 후방산란 전자들을 포함하는 전자들이 샘플(208)로부터 생성된다. 이차 전자들은 전형적으로 50 eV 이하인 전자 에너지를 갖고, 후방산란 전자들은 전형적으로 50 eV와 일차 서브-빔들(211, 212, 및 213)의 랜딩 에너지 사이의 전자 에너지를 갖는다.

- [0025] 전자 검출 디바이스(240)는 이차 전자들 및/또는 후방산란 전자들을 검출하고, 예를 들어 샘플(208)의 대응하는 스캔 영역들의 이미지들을 구성하기 위해 제어기(50) 또는 신호 처리 시스템(도시되지 않음)으로 전송되는 대응하는 신호들을 생성하도록 구성된다. 전자 검출 디바이스는 투영 장치에 통합될 수 있거나, 또는 이로부터 분리되고, 이차 광학 칼럼(secondary optical column)이 제공되어 이차 전자들 및/또는 후방산란 전자들을 전자 검출 디바이스로 향하게 할 수 있다.
- [0026] 제어기(50)는 이미지 획득기(image acquirer: 도시되지 않음) 및 저장 디바이스(도시되지 않음)를 포함하는 이미지 처리 시스템을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 프로세서, 컴퓨터, 서버, 메인프레임 호스트, 단말기, 개인용 컴퓨터, 여하한 종류의 모바일 컴퓨팅 디바이스 등, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 이미지 획득기는 제어기의 처리 기능의 적어도 일부를 포함할 수 있다. 따라서, 이미지 획득기는 적어도 1 이상의 프로세서를 포함할 수 있다. 이미지 획득기는 특히 전기 전도체, 광섬유 케이블, 휴대용 저장 매체, IR, 블루투스, 인터넷, 무선 네트워크, 무선 라디오, 또는 이들의 조합과 같은 신호 통신을 허용하는 장치(40)의 전자 검출 디바이스(240)에 통신 연결될 수 있다. 이미지 획득기는 전자 검출 디바이스(240)로부터 신호를 수신할 수 있고, 신호에 포함된 데이터를 처리할 수 있으며, 이로부터 이미지를 구성할 수 있다. 이에 따라, 이미지 획득기는 샘플(208)의 이미지들을 획득할 수 있다. 또한, 이미지 획득기는 윤곽(contour)들의 생성, 획득된 이미지에 표시자 중첩 등과 같은 다양한 후-처리 기능들을 수행할 수 있다. 이미지 획득기는 획득된 이미지들의 밝기 및 콘트라스트 등의 조정들을 수행하도록 구성될 수 있다. 저장소는 하드 디스크, 플래시 드라이브, 클라우드 저장소, RAM(random access memory), 다른 타입들의 컴퓨터 관독가능한 메모리 등과 같은 저장 매체일 수 있다. 저장소는 이미지 획득기와 커플링될 수 있고, 후-처리 이미지들 및 원본 이미지들로서 스캔된 원시 이미지 데이터를 저장하는 데 사용될 수 있다.
- [0027] 이미지 획득기는 전자 검출 디바이스(240)로부터 수신된 이미징 신호에 기초하여 샘플의 1 이상의 이미지를 획득할 수 있다. 이미징 신호는 하전 입자 이미징을 수행하기 위한 스캐닝 동작에 대응할 수 있다. 획득된 이미지는 복수의 이미징 영역들을 포함하는 단일 이미지일 수 있다. 단일 이미지는 저장소에 저장될 수 있다. 단일 이미지는 복수의 구역들로 분할될 수 있는 원본 이미지일 수 있다. 구역들 각각은 샘플(208)의 피처(feature)를 포함하는 하나의 이미징 영역을 포함할 수 있다. 획득된 이미지들은 시간 주기에 걸쳐 여러 번 샘플링되는 샘플(208)의 단일 이미징 영역의 다수 이미지들을 포함할 수 있다. 다수 이미지들은 저장소에 저장될 수 있다. 제어기(50)는 샘플(208)의 동일한 위치의 다수 이미지들로 이미지 처리 단계들을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0028] 제어기(50)는 검출된 이차 전자들의 분포를 얻기 위해 측정 회로(예를 들어, 아날로그-디지털 변환기들)를 포함할 수 있다. 검출 시간 윈도우 동안 수집되는 전자 분포 데이터는, 샘플 표면 상에 입사하는 일차 서브-빔들(211, 212, 및 213) 각각의 대응하는 스캔 경로 데이터와 조합하여, 검사 중인 샘플 구조체들의 이미지들을 재구성하는 데 사용될 수 있다. 재구성된 이미지들은 샘플(208)의 내부 또는 외부 구조체들의 다양한 피처들을 드러내기 위해 사용될 수 있다. 재구성된 이미지들은 이에 의해 샘플 내에 존재할 수 있는 여하한 결함들을 드러내기 위해 사용될 수 있다.
- [0029] 제어기(50)는 샘플(208)의 검사 동안 샘플(208)을 이동시키도록 전동 스테이지(209)를 제어할 수 있다. 제어기(50)는 전동 스테이지(209)가 적어도 샘플 검사 동안, 바람직하게는 계속해서, 예를 들어 일정한 속도로 한 방향으로 샘플(208)을 이동시킬 수 있게 할 수 있다. 제어기(50)는 다양한 파라미터들에 따라 샘플(208)의 이동 속도가 변화하도록 전동 스테이지(209)의 이동을 제어할 수 있다. 예를 들어, 제어기는 스캐닝 프로세스의 검사 단계들의 특성에 따라 (그 방향을 포함하여) 스테이지 속도를 제어할 수 있다.
- [0030] 본 발명의 실시예들은 대물 렌즈 어레이 조립체를 제공한다. 대물 렌즈 어레이 조립체는 샘플 상에 서브-빔들의 멀티-빔을 포커싱하도록 구성될 수 있다. 대물 렌즈 어레이 조립체는 하전 입자 평가 튜브와 같은 하전 입자 튜브의 전자-광학 시스템에 통합될 수 있다.
- [0031] 도 3은 대물 렌즈 어레이 조립체를 갖는 예시적인 전자-광학 시스템의 개략적인 다이어그램이다. 전자-광학 시스템은 도 2를 참조하여 설명되고 나타난 전자-광학 장치에서 특징을 이룰 수 있다. 따라서, 도 2의 장치에 존재하는 동일한 특징들, 예컨대 소스(201), 샘플 홀더(207) 및 스테이지(208)가 달리 언급되지 않는 한 존재할 수 있다. 대물 렌즈 어레이 조립체는 멀티-빔의 서브-빔 경로들을 따라 정렬되는 복수의 어퍼처들을 정의하는 평면 요소들을 포함한다. 대물 렌즈 어레이 조립체는 대물 렌즈 어레이(241)를 포함한다. 대물 렌즈 어레이 조립체의 평면 요소들은 대물 렌즈 어레이(241)를 포함한다. 대물 렌즈 어레이(241)는 복수의 평면 요소들을 포함할 수 있다. 대물 렌즈 어레이(241)의 평면 요소들은 전극들로서 작용하도록 구성될 수 있다. 예를 들어,

평면 요소들은 금속성이고, 및/또는 각자의 전위 소스(potential source)들에 연결되도록 구성될 수 있다. 대물 렌즈 어레이(241)의 평면 요소들은 전극들 또는 플레이트 전극 어레이들로 지칭될 수 있다. 각각의 서브-빔 경로를 따라 정렬되는 복수의 어퍼처들이 대물 렌즈 어레이(241)의 상이한 각 평면 요소들(전극들)에서 정의될 수 있다. 따라서, 대물 렌즈 어레이(241)의 평면 요소들 중 하나에 정의된 어퍼처들의 위치들은 대물 렌즈 어레이(241)의 1 이상의 다른 평면 요소에서 대응하는 어퍼처들의 위치들에 대응한다. 서브-빔 경로를 따라 정렬되는 어퍼처들의 각각의 그룹이 대물 렌즈들 중 하나를 정의하고, 사용 시 멀티-빔에서의 동일한 서브-빔에서 작동한다. 각각의 대물 렌즈는 멀티-빔의 각 서브-빔을 샘플(208) 상으로 투영한다. 대물 렌즈 어레이(241)는 복수의 대물 렌즈들을 포함한다.

[0032] 쉽게 설명하기 위해, 여기서 렌즈 어레이들은 타원 형상들의 어레이들로 개략적으로 도시되어 있다. 각각의 타원 형상은 렌즈 어레이 내의 렌즈들 중 하나를 나타낸다. 타원 형상은 관행에 따라, 광학 렌즈들에서 흔히 채택되는 양면 볼록 형태에 비유하여 렌즈를 표현하는 데 사용된다. 하지만, 본 명세서에서 논의되는 것과 같은 하전 입자 구성들의 맥락에서, 렌즈 어레이들은 통상적으로 정전기적으로 작동할 것이므로, 양면 볼록 형상을 채택하는 여하한 물리적 요소들을 필요로 하지 않을 수 있음을 이해할 것이다. 앞서 설명된 바와 같이, 렌즈 어레이들은 대신에 어퍼처들을 정의하는 다수 평면 요소들을 포함할 수 있다.

[0033] 일부 실시예들에서, 대물 렌즈 어레이 조립체의 평면 요소들은 제어 렌즈 어레이(250)를 더 포함한다. 제어 렌즈 어레이(250)는 복수의 제어 렌즈들을 포함한다. 각각의 제어 렌즈는 전극들로서 작용하도록 구성되는 적어도 2 개의 평면 요소들(예를 들어, 전극들로서 작용하도록 구성되는 2 또는 3 개의 평면 요소들)을 포함한다. 제어 렌즈 어레이(250)의 평면 요소들은 각자의 전위 소스들에 연결될 수 있다. 제어 렌즈 어레이(250)의 평면 요소들은 전극들로 지칭될 수 있다. 제어 렌즈 어레이(250)는 각자의 전위 소스들에 연결되는 2 이상의(예를 들어, 3 개의) 플레이트 전극 어레이들을 포함할 수 있다. 각각의 플레이트 전극 어레이는 세라믹 또는 유리를 포함할 수 있는 스페이서와 같은 절연 요소에 의해 인접한 플레이트 전극 어레이에 기계적으로 연결되고, 이로부터 전기적으로 분리된다. 제어 렌즈 어레이(250)는 대물 렌즈 어레이(241)와 연계된다(예를 들어, 두 어레이들은 서로 가깝게 위치되고, 및/또는 서로 기계적으로 연결되고, 및/또는 유닛으로서 함께 제어됨). 제어 렌즈 어레이(250)는 대물 렌즈 어레이(241)의 빔 상류에 위치된다. 제어 렌즈들은 서브-빔들을 사전-포커싱(prefocus)한다[예를 들어, 서브-빔들이 대물 렌즈 어레이(241)에 도달하기 전에 서브-빔들에 포커싱 동작을 적용함]. 사전-포커싱은 서브-빔들의 발산을 감소시키거나, 서브-빔들의 수렴 속도를 증가시킬 수 있다. 일 실시예에서, 대물 렌즈 어레이 조립체를 포함하는 전자-광학 시스템은 제어 렌즈들의 초점 거리가 제어 렌즈 어레이(250)와 대물 렌즈 어레이(241) 사이의 간격보다 크도록 [예를 들어, 제어 렌즈 어레이(250)의 전극들에 적용되는 전위들을 제어함으로써] 대물 렌즈 어레이 조립체를 제어하도록 구성된다. 따라서, 제어 렌즈 어레이(250)와 대물 렌즈 어레이(241)는 비교적 서로 가깝게 위치될 수 있으며, 제어 렌즈 어레이(250)로부터의 포커싱 동작은 제어 렌즈 어레이(250)와 대물 렌즈 어레이(241) 사이에 중간 포커스를 형성하기에 너무 약하다. 제어 렌즈 어레이 및 대물 렌즈 어레이는 함께 작동하여 동일한 표면에 대해 조합된 초점 거리를 형성한다. 중간 포커스가 없는 조합된 작동은 수차의 위험을 감소시킬 수 있다. 다른 실시예들에서, 대물 렌즈 어레이 조립체는 제어 렌즈 어레이(250)와 대물 렌즈 어레이(241) 사이에 중간 포커스를 형성하도록 구성될 수 있다.

[0034] 제어 렌즈 어레이(250)의 제어 렌즈들과 대물 렌즈 어레이(241)의 대물 렌즈들의 전극들에 각자의 전위들을 적용하기 위해 전력 소스가 제공될 수 있다.

[0035] 대물 렌즈 어레이(241)에 추가하여 제어 렌즈 어레이(250)의 제공은 서브-빔들의 속성들을 제어하기 위한 추가적인 자유도를 제공한다. 추가적인 자유도는 제어 렌즈 어레이(250) 및 대물 렌즈 어레이(241)가 비교적 가깝게 제공되는 경우에도 제공되어, 예를 들어 제어 렌즈 어레이(250)와 대물 렌즈 어레이(241) 사이에 중간 포커스가 형성되지 않도록 한다. 제어 렌즈 어레이(250)의 추가적인 전극들이 서브-빔들의 전자-광학 파라미터들을 제어하기 위한 추가 자유도를 제공함[예를 들어, 제어 렌즈 어레이(250)의 추가적인 전극의 추가가 여분의 자유도를 제공할 수 있음]을 고려하면, 제어 렌즈 어레이(250)는 예를 들어 대물 렌즈 어레이 조립체(또는 대물 렌즈 구성부)의 일부로서 대물 렌즈 어레이(241)의 전극들(242, 243)에 추가적인 전극들을 제공하는 것으로 간주될 수 있다. 일 실시예에서, 제어 렌즈 어레이(250)는 대물 렌즈 어레이(241)의 각 대물 렌즈들의 추가적인 기능을 가능하게 하는 대물 렌즈 어레이(241)의 추가적인 전극들인 것으로 간주될 수 있다. 일 구성에서, 이러한 전극들은 대물 렌즈 어레이(241)의 대물 렌즈들에 추가적인 기능을 제공하는 대물 렌즈 어레이의 일부로 간주될 수 있다. 이러한 구성에서, 제어 렌즈는 대물 렌즈의 일부로만 언급되는 경우에도 대응하는 대물 렌즈의 일부인 것으로 간주된다.

[0036] 일 구성에서, 제어 렌즈 어레이(250)는 빔의 축소와 관련하여 빔 개방 각도(beam opening angle)를 최적화하고,

및/또는 대물 렌즈 어레이(241)로 전달되는 빔 에너지를 제어하기 위해 사용될 수 있다. 제어 렌즈 어레이(250)는 2 또는 3 이상의 전극들을 포함할 수 있다. 2 개의 전극들이 있는 경우, 축소 및 랜딩 에너지는 함께 제어된다. 3 개 이상의 전극들이 있는 경우, 축소 및 랜딩 에너지는 독립적으로 제어될 수 있다. 따라서, 제어 렌즈들은 (예를 들어, 제어 렌즈들 및 대물 렌즈들의 전극들에 적절한 각 전위들을 적용하기 위해 전력 소스를 사용하여) 각자의 서브-빔들의 축소 및/또는 빔 개방 각도 및/또는 샘플 상의 랜딩 에너지를 조정하도록 구성될 수 있다. 이러한 최적화는 대물 렌즈들의 수에 과도하게 부정적인 영향을 미치지 않고 대물 렌즈들의 수차를 과도하게 악화시키지 않으면서(예를 들어, 대물 렌즈들의 강도를 감소시키지 않고) 달성될 수 있다. 제어 렌즈 어레이의 사용은 대물 렌즈 어레이가 최적의 전기장 강도에서 작동할 수 있게 한다. 축소 및 개방 각도에 대한 언급은 동일한 파라미터의 변동을 언급하기 위한 것임을 유의한다. 이상적인 구성에서, 다양한 축소와 대응하는 개방 각도의 곱은 일정하다. 하지만, 개방 각도는 어퍼처의 사용에 의해 영향을 받을 수 있다.

[0037] 일 실시예에서, 랜딩 에너지는 사전설정된 범위, 예를 들어 1000 eV 내지 5000 eV에서 원하는 값으로 제어될 수 있다. 도 4는 빔 개방 각도/축소가 변화하는 랜딩 에너지에 대해 다시 최적화된다고 가정하여, 랜딩 에너지의 함수로서 분해능을 도시하는 그래프이다. 알 수 있는 바와 같이, 톨의 분해능은 최소값 LE_{min}에 이르기까지 랜딩 에너지의 변화에 따라 실질적으로 일정하게 유지될 수 있다. 분해능이 LE_{min} 아래에서는 악화되는데, 이는 대물 렌즈들 및/또는 검출기와 샘플 사이의 최소 간격을 유지하기 위해 대물 렌즈들의 렌즈 강도 및 대물 렌즈들 내의 전기장을 감소시켜야 하기 때문이다.

[0038] 바람직하게는, 랜딩 에너지는 주로 제어 렌즈들을 빠져나가는 전자들의 에너지를 제어함으로써 변동된다. 대물 렌즈들 내의 전위차들은 바람직하게는 이 변동 동안 일정하게 유지되어 대물 렌즈들 내의 전기장이 가능한 한 높게 유지되도록 한다. 추가적으로, 제어 렌즈들에 적용되는 전위들은 빔 개방 각도 및 축소를 최적화하는 데 사용될 수 있다. 제어 렌즈들은 랜딩 에너지의 변화들을 고려하여 축소를 변화시키도록 기능할 수 있다. 바람직하게는, 각각의 제어 렌즈는 2 개의 독립적인 제어 변수들을 제공하기 위해 3 개의 전극들을 포함한다. 예를 들어, 전극들 중 하나는 배율을 제어하는 데 사용될 수 있는 한편, 상이한 전극은 랜딩 에너지를 독립적으로 제어하는 데 사용될 수 있다. 대안적으로, 각각의 제어 렌즈는 2 개의 전극들만을 가질 수 있다. 2 개의 전극들만이 있는 경우, 전극들 중 하나가 배율 및 랜딩 에너지를 모두 제어하여야 할 수 있다.

[0039] 도 3의 실시예에서, 전자-광학 시스템은 소스(201)를 포함한다. 소스(201)는 하전 입자(예컨대, 전자) 빔을 제공한다. 샘플(208)에 포커싱되는 멀티-빔은 소스(201)에 의해 제공되는 빔으로부터 파생된다. 예를 들어, 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의하는 빔 리미터를 사용하여 빔으로부터 서브-빔들이 파생될 수 있다. 소스(201)는 바람직하게는 밝기와 총 방출 전류 사이에서 우수하게 절충한 고휘도 열전계 이미터(high brightness thermal field emitter)이다. 나타낸 예시에서, 시준기가 대물 렌즈 어레이 조립체의 빔 상류에 제공된다. 시준기는 매크로 시준기(270)를 포함할 수 있다. 매크로 시준기(270)는 빔이 멀티-빔으로 분할되기 전에 소스(201)로부터의 빔에 작용한다. 매크로 시준기(270)는 빔으로부터 파생된 서브-빔들 각각의 빔 축이 샘플(208) 상에 실질적으로 수직으로[즉, 샘플(208)의 공칭 표면에 대해 실질적으로 90° 로] 입사될 것을 보장하도록 효과적인 양만큼 빔의 각 부분들을 굽힌다. 매크로 시준기(270)는 빔에 거시적 시준을 적용한다. 따라서, (예를 들어, 도 6을 참조하여 아래에서 설명되는 바와 같이) 매크로 시준기(270)는 빔의 상이한 개별 부분에 작용하도록 각각 구성되는 시준기 요소들의 어레이를 포함하기보다는 빔 전체에 작용할 수 있다. 매크로 시준기(270)는 자기 렌즈 또는 복수의 자기 렌즈 서브 유닛들(예컨대, 다극 구성을 형성하는 복수의 전자석들)을 포함하는 자기 렌즈 구성부를 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 매크로 시준기는 적어도 부분적으로 정전기적으로 구현될 수 있다. 매크로 시준기는 정전 렌즈 또는 복수의 정전 렌즈 서브 유닛들을 포함하는 정전 렌즈 구성부를 포함할 수 있다. 매크로 시준기(270)는 자기 렌즈 및 정전 렌즈의 조합을 사용할 수 있다.

[0040] 도 3의 실시예에서, 매크로 스캔 디플렉터(265)가 제공되어 서브-빔들이 샘플(208)에 걸쳐 스캔되도록 한다. 매크로 스캔 디플렉터(265)는 서브-빔들이 샘플(208)에 걸쳐 스캔되도록 하기 위해 빔의 각 부분들을 편향한다. 일 실시예에서, 매크로 스캔 디플렉터(256)는 예를 들어 8 이상의 극(pole)들을 갖는 거시적 다극 디플렉터를 포함한다. 편향은 빔으로부터 파생되는 서브-빔들이 샘플(208)을 가로질러 한 방향으로(예를 들어, X 축과 같은 단일 축에 평행하게) 또는 두 방향으로(예를 들어, X 및 Y 축들과 같은 2 개의 평행하지 않은 축들에 대해) 스캔되도록 하는 것과 같다. 매크로 스캔 디플렉터(265)는 빔의 상이한 개별 부분에 작용하도록 각각 구성되는 요소들의 어레이를 포함하기보다는 빔 전체에 거시적으로 작용한다. 나타낸 실시예에서, 매크로 스캔 디플렉터(265)는 매크로 시준기(270)와 제어 렌즈 어레이(250) 사이에 제공된다.

[0041] 본 명세서에 설명된 여하한 대물 렌즈 어레이 조립체들은 [예를 들어, 검출기 모듈(402)을 포함하는] 검출기를 더 포함할 수 있다. 검출기는 샘플(208)로부터 방출되는 하전 입자들을 검출한다. 검출되는 하전 입자들은

샘플(208)로부터 방출되는 이차 및/또는 후방산란 전자들을 포함하여, SEM에 의해 검출되는 여하한 하전 입자들을 포함할 수 있다. 검출기의 적어도 일부는 대물 렌즈 어레이(241)에 인접 및/또는 통합될 수 있다. 검출기는 대물 렌즈 어레이 조립체의 샘플을 향하는 표면을 제공할 수 있다. 검출기의 예시적인 구성은 도 10 내지 도 15를 참조하여 아래에서 설명된다. 검출기 및 대물 렌즈는 동일한 구조체의 일부일 수 있다. 검출기는 절연 요소에 의해 렌즈에 연결되거나, 또는 대물 렌즈의 전극에 직접 연결될 수 있다.

[0042] 도 5는 도 3의 실시예에 대한 변형을 도시한다. 전자-광학 시스템은 달리 언급되지 않는 한 도 5를 참조하여 설명되고 나타낸 것과 동일한 특징들을 특징으로 할 수 있다. 따라서, 전자-광학 시스템(40)은 도 2를 참조하여 설명되고 나타낸 타입의 전자-광학 장치에서 특징을 이룰 수 있다. 따라서, 도 2의 장치에 존재하는 동일한 특징들, 예컨대 소스(201), 샘플 홀더(207) 및 스테이지(208)가 달리 언급되지 않는 한 존재할 수 있다. 여기서, 대물 렌즈 어레이 조립체는 스캔-디플렉터 어레이(260)를 포함한다. 스캔-디플렉터 어레이(260)는 복수의 스캔 디플렉터들을 포함한다. 스캔-디플렉터 어레이(260)는 MEMS 제조 기술을 사용하여 형성될 수 있다. 각각의 스캔 디플렉터는 샘플(208)에 걸쳐 각자의 서브-빔을 스캔한다. 따라서, 스캔-디플렉터 어레이(260)는 각각의 서브-빔에 대한 스캔 디플렉터를 포함할 수 있다. 각각의 스캔 디플렉터는 서브-빔을 한 방향으로(예를 들어, X 축과 같은 단일 축에 평행하게) 또는 두 방향으로(예를 들어, X 및 Y 축들과 같은 2 개의 평행하지 않은 축들에 대해) 편향할 수 있다. 편향은 서브-빔이 샘플(208)을 가로질러 한 방향 또는 두 방향으로(즉, 1-차원적으로 또는 2-차원적으로) 스캔되도록 하는 것과 같다. 일 실시예에서, 스캔-디플렉터 어레이(260)를 구현하기 위해, 본 명세서에서 그 전문이 특히 스캔 디플렉터에 관하여 인용참조되는 EP2425444에 설명된 스캐닝 디플렉터들이 사용될 수 있다. 스캔-디플렉터 어레이(260)는 대물 렌즈 어레이(241)와 제어 렌즈 어레이(250) 사이에 위치된다. 나타낸 실시예에서, 스캔-디플렉터 어레이(260)는 매크로 스캔 디플렉터(265) 대신에 제공된다. (예를 들어, 앞서 언급된 바와 같이 MEMS 제조 기술을 사용하여 형성된) 스캔-디플렉터 어레이(260)가 매크로 스캔 디플렉터(265)보다 공간적으로 더 콤팩트(compact)할 수 있다.

[0043] 다른 실시예들에서, 매크로 스캔 디플렉터(265) 및 스캔-디플렉터 어레이(260)가 모두 제공된다. 이러한 구성에서, 샘플 표면에 걸친 서브-빔들의 스캐닝은 매크로 스캔 디플렉터(265) 및 스캔-디플렉터 어레이(260)를 함께, 바람직하게는 동기화하여 제어함으로써 달성될 수 있다.

[0044] 매크로 스캔 디플렉터(265) 대신에 스캔-디플렉터 어레이(260)를 제공하는 것은 제어 렌즈들로부터의 수차들을 감소시킬 수 있다. 이는 매크로 스캔 디플렉터(265)의 스캐닝 동작이 제어 렌즈들의 적어도 하나의 전극의 빔 하류에 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의하는 빔 성형 리미터(이는 하부 빔 리미터라고도 할 수 있음)에 걸쳐 빔들의 대응하는 이동을 야기하고, 이것이 제어 렌즈들로부터의 수차에 대한 기여를 증가시키기 때문에 발생할 수 있다. 대신에 스캔-디플렉터 어레이(260)가 사용되는 경우, 빔들은 빔 성형 리미터에 걸쳐 훨씬 더 적은 양만큼 이동된다. 이는 스캔-디플렉터 어레이(260)로부터 빔 성형 리미터까지의 거리가 훨씬 더 짧기 때문이다. 이로 인해, 도 5에 도시된 바와 같이 [예를 들어, 스캔-디플렉터 어레이(260)가 대물 렌즈 어레이(241)에 직접 인접하도록, 및/또는 제어 렌즈 어레이(250)보다 대물 렌즈 어레이(241)에 더 가깝도록] 스캔-디플렉터 어레이(260)를 대물 렌즈 어레이(241)에 가능한 한 가깝게 위치시키는 것이 바람직하다. 빔 성형 리미터에 걸친 이동이 작을수록 각각의 제어 렌즈의 더 작은 부분이 사용되게 한다. 따라서, 제어 렌즈들은 더 작은 수차 기여를 갖는다. 제어 렌즈들에 의해 기여되는 수차들을 최소화하거나 적어도 감소시키기 위해, 빔 성형 리미터는 제어 렌즈들의 적어도 하나의 전극으로부터 빔 하류에서 빔들을 성형하는 데 사용된다. 이는 빔 성형 리미터가 빔 경로에서 제 1 머니폴레이터 어레이의 일부이거나 이와 연계되는 어퍼처 어레이로서만 제공되고, 일반적으로 소스로부터의 단일 빔으로부터 멀티-빔들을 생성하는 종래 시스템들과는 구조적으로 상이하다.

[0045] 일부 실시예들에서, 도 3 및 도 5에 예시된 바와 같이, 제어 렌즈 어레이(250)는 소스(201)의 빔 하류에 있는 빔 경로에서 제 1 편향 또는 렌징(lensing) 전자-광학 어레이 요소이다.

[0046] 도 6은 도 5를 참조하여 설명되고 나타낸 전자-광학 시스템(이는 도 2를 참조하여 설명되고 나타낸 전자-광학 장치에서 특징을 이룰 수 있음)의 실시예들에 대한 변형을 도시한 것으로, 매크로 시준기(270) 대신에 시준기 요소 어레이(271)가 제공된다. 나타내지는 않지만, 도 3의 실시예에 이러한 변형을 적용하여 매크로 스캔 디플렉터 및 시준기 요소 어레이를 갖는 실시예를 제공하는 것도 가능하다. 각각의 시준기 요소는 각자의 서브-빔을 시준한다. (예를 들어, MEMS 제조 기술을 사용하여 형성된) 시준기 요소 어레이(271)가 매크로 시준기(270)보다 공간적으로 더 콤팩트할 수 있다. 그러므로, 시준기 요소 어레이(271) 및 스캔-디플렉터 어레이(260)를 함께 제공하는 것이 공간 절약을 제공할 수 있다. 이러한 공간 절약은 아래에서 도 7을 참조하여 설명되는 바와 같이, 대물 렌즈 어레이 조립체를 포함하는 복수의 전자-광학 시스템들이 전자-광학 시스템 어레이(500)로 제공되는 경우에 바람직하다. 이러한 실시예에서, 매크로 집속 렌즈 또는 집속 렌즈 어레이가 존재하지 않을

수 있다. 이 시나리오에서, 제어 렌즈는 랜딩 에너지의 변화들에 대해 빔 개방 각도 및 배율을 최적화할 가능성을 제공한다. 빔 성형 리미터는 제어 렌즈 어레이의 빔 하류에 있다는 것을 유의한다. 빔 성형 리미터의 어퍼처들은 빔 경로를 따라 빔 전류를 조정하여, 제어 렌즈에 의한 배율의 제어가 개방 각도에서 상이하게 작동하도록 한다. 즉, 빔 성형 리미터의 어퍼처들은 배율과 개방 각도의 변동들 사이의 직접적인 대응을 끊는다.

[0047] 일부 실시예들에서, 도 6에 예시된 바와 같이, 시준기 요소 어레이(271)는 소스(201)의 빔 하류에 있는 빔 경로에서 제 1 편향 또는 포커싱 전자-광학 어레이 요소이다.

[0048] (예를 들어, 도 3 및 도 5의) 제어 렌즈 어레이(250) 또는 (예를 들어, 도 6의) 시준기 요소 어레이(271)의 빔 상류에 어떠한 편향 또는 렌징 전자-광학 어레이 요소들(예를 들어, 렌즈 어레이들 또는 디플렉터 어레이들)을 피하는 것이 대물 렌즈들의 빔 상류의 전자-광학기 및 이러한 전자-광학기의 불완전, 즉 이러한 광학기에 의해 서브-빔들에서 생성되는 수차를 보정하기 위한 보정기에 대한 요건들을 감소시킨다. 예를 들어, 일부 대안적인 구성들이 (도 8을 참조하여 아래에서 설명되는 바와 같이) 대물 렌즈 어레이에 추가하여 집속 렌즈 어레이를 제공함으로써 소스 전류 활용의 최대화를 추구한다. 이러한 방식으로의 집속 렌즈 어레이 및 대물 렌즈 어레이의 제공은 소스 개방 각도에 걸친 가상 소스 위치 균일성의 위치에 대한 엄격한 요건들을 유도하거나, 또는 각각의 서브-빔이 빔 하류의 대응하는 대물 렌즈의 중심을 통과하도록 하기 위해 서브-빔마다 보정 광학기를 필요로 한다. 도 3, 도 5 및 도 6과 같은 아키텍처들이 제 1 편향 또는 렌징 전자-광학 어레이 요소로부터 빔-하류 빔 성형 리미터까지의 빔 경로로 하여금 약 10 mm 미만, 바람직하게는 약 5 mm 미만, 바람직하게는 약 2 mm 미만으로 감소되게 한다. 빔 경로를 감소시키는 것은 소스 개방 각도에 걸친 가상 소스 위치에 대한 엄격한 요건들을 감소시키거나 제거한다. 도 3, 도 5 및 도 6을 참조하여 설명되고 도시된 바와 같은 이러한 아키텍처들의 전자-광학 칼럼(40)은 상부 빔 리미터(252), 시준기 요소 어레이(271), 제어 렌즈 어레이(250), 스캔 디플렉터 어레이(260), 대물 렌즈 어레이(241), 빔 성형 리미터(242) 및 검출기 어레이(240)와 같은 구성요소들을 포함할 수 있다; 존재하는 이러한 요소들 중 1 이상이 세라믹 또는 유리 스페이서와 같은 절연 요소로 1 이상의 인접 요소에 연결될 수 있다.

[0049] 일 실시예에서, 도 7에 예시된 바와 같이, 전자-광학 시스템 어레이(500)가 제공된다. 어레이(500)는 복수의 본 명세서에 설명된 여하한 전자-광학 시스템들을 포함할 수 있다. 어레이(500)는 전자-광학 장치 내의 전자-광학 시스템을 포함할 수 있다. 전자-광학 시스템들 각각은 동일한 샘플의 상이한 구역들 상에 각각의 멀티-빔들을 동시에 포커싱한다. 각각의 전자-광학 시스템은 상이한 각 소스(201)로부터의 하전 입자 빔으로부터 서브-빔들을 형성할 수 있다. 각각의 각 소스(201)는 복수의 소스들(201)에서 하나의 소스일 수 있다. 복수의 소스들(201)의 적어도 서브세트가 소스 어레이로서 제공될 수 있다. 소스 어레이는 공통 기관 상에 제공된 복수의 소스들(201)을 포함할 수 있다. 동일한 샘플의 상이한 구역들 상으로의 복수의 멀티-빔들의 동시 포커싱은 샘플(208)의 증가된 영역이 동시에 처리(예컨대, 평가)되게 한다. 어레이(500) 내의 전자-광학 시스템들은 샘플(208)의 인접한 구역들 상으로 각각의 멀티-빔들을 투영하도록 서로 인접하여 배치될 수 있다. 여하한 수의 전자-광학 시스템들이 어레이(500)에서 사용될 수 있다. 바람직하게는, 전자-광학 시스템들의 수는 9 내지 200 개의 범위 내에 있다. 일 실시예에서, 전자-광학 시스템들은 직사각형 어레이 또는 육각형 어레이로 배치된다. 다른 실시예들에서, 전자-광학 시스템들은 불규칙한 어레이, 또는 직사각형 또는 육각형 이외의 지오메트리를 갖는 규칙적인 어레이로 제공된다. 어레이(500) 내의 각각의 전자-광학 시스템은, 예를 들어 특히 도 6을 참조하여 설명되고 나타난 실시예와 관련하여 앞서 설명된 바와 같은 단일 전자-광학 시스템을 참조할 때, 본 명세서에 설명된 여하한 방식들로 구성될 수 있다. 이러한 구성의 세부사항들은 2020년 7월 6일 출원된 EPA 20184161.6에 설명되어 있으며, 이는 멀티-칼럼 구성에서의 사용을 위해 대물 렌즈가 통합 및 응용되는 방식과 관련하여 본 명세서에서 인용참조된다. 도 7의 예시에서, 어레이(500)는 도 6을 참조하여 앞서 설명된 타입의 복수의 전자-광학 시스템들을 포함한다. 따라서, 이 예시에서의 전자-광학 시스템들 각각은 스캔-디플렉터 어레이(260) 및 시준기 요소 어레이(271)를 모두 포함한다. 앞서 언급된 바와 같이, 스캔-디플렉터 어레이(260) 및 시준기 요소 어레이(271)는 이들의 콤팩트함(compactness)으로 인해 전자-광학 시스템 어레이(500)에 통합하기에 특히 적합하며, 이는 서로 가까운 전자-광학 시스템들의 위치설정을 용이하게 한다. 도 6에 나타난 구성이 도 3 및 도 5에 나타난 구성들보다 선호될 수 있는데, 이는 도 6에 나타난 구성에서와 달리 바람직한 구현들이 시준기(270)로서 자기 렌즈를 사용할 수 있기 때문이다. 자기 렌즈들은 어레이(멀티-칼럼 구성)에서의 사용을 위해 의도되는 전자-광학 시스템에 통합하기 어려울 수 있다.

[0050] 도 8은 소스(201)와 대물 렌즈 어레이 조립체 사이에 집속 렌즈 어레이(231)가 제공되는 도 3, 도 5 및 도 6의 전자-광학 시스템의 실시예들에 대한 변형을 도시한다. 도 8을 참조하여 설명되고 나타난 전자-광학 시스템은 도 2를 참조하여 설명되고 나타난 전자-광학 장치의 전자-광학 시스템(40)과 같은 특징을 가질 수 있다. 따라

서, 집속 렌즈 어레이는 대물 렌즈 어레이 조립체의 빔 상류에 있다. 이러한 구성은 적어도 도 4에 나타낸 아키텍처와 관련하여 본 명세서에서 인용참조되는 EPA 20158804.3에 설명되어 있다. 또한, 상기 구성은 도 7을 참조하여 앞서 설명된 것과 같은, 예를 들어 2020년 11월 11일 출원된 EPA 20206987.8의 멀티-칼럼 어레이에 통합될 수 있다. 집속 렌즈 어레이(231)는 복수의 집속 렌즈들을 포함한다. 수십, 수백 또는 수천 개의 집속 렌즈들이 존재할 수 있다. 집속 렌즈들은 멀티-전극 렌즈들을 포함할 수 있고, 특히 e-빔을 복수의 서브-빔들로 분할하고 각각의 서브-빔에 대한 렌즈를 제공하는 렌즈 어레이에 대해 본 명세서에서 인용참조되는 EP1602121A1에 기초한 구성을 가질 수 있다. 집속 렌즈 어레이(231)는 멀티-빔을 생성하도록 구성될 수 있다. 집속 렌즈 어레이는 전극들로서 작용하는 적어도 2 개의 평면 요소들(플레이트들로 지칭될 수 있음)의 형태를 취할 수 있으며, 각각의 플레이트의 어퍼처는 서로 정렬되고 서브-빔의 위치에 대응한다. 평면 요소들 중 적어도 2 개는 원하는 렌징 효과를 달성하기 위해 작동 동안 상이한 전위들에서 유지된다. 집속 렌즈 어레이(231)의 평면 요소들은 플레이트 어레이들로 지칭될 수 있다.

[0051] 일 구성에서, 집속 렌즈 어레이는 하전 입자들이 각각의 렌즈에 들어가고 나갈 때 동일한 에너지를 갖는 3 개의 플레이트 어레이들로 형성되며, 이 구성은 아인젤 렌즈(Einzel lens)라고 칭해질 수 있다. 따라서, 아인젤 렌즈 자체 내(렌즈의 입구 전극과 출구 전극 사이)에서만 분산이 발생하여, 축외 색수차가 제한된다. 집속 렌즈들의 두께가 낮은 경우, 예를 들어 수 mm인 경우, 이러한 수차들은 작거나 무시할 수 있는 영향을 미친다.

[0052] 집속 렌즈 어레이(231)는 정렬되는 어퍼처들의 어레이를 각각 갖는 2 이상의 플레이트 전극들을 가질 수 있다. 각각의 플레이트 전극 어레이는 세라믹 또는 유리를 포함할 수 있는 스페이서와 같은 절연 요소에 의해 인접한 플레이트 전극 어레이에 기계적으로 연결되고 전기적으로 절연된다. 집속 렌즈 어레이는 본 명세서의 다른 부분에서 설명되는 바와 같이 스페이서와 같은 절연 요소에 의해 인접한 전자-광학 요소, 바람직하게는 정전기 전자-광학 요소와 연결되고, 및/또는 이로부터 이격될 수 있다.

[0053] 집속 렌즈들은 (본 명세서의 다른 부분에서 설명되는 대물 렌즈 어레이 조립체와 같은) 대물 렌즈들을 포함하는 모듈로부터 분리된다. 집속 렌즈들의 저부 표면에 가해지는 전위가 대물 렌즈들을 포함하는 모듈의 최상부 표면에 가해지는 전위와 상이한 경우, 절연 스페이서가 사용되어 집속 렌즈와 대물 렌즈들을 포함하는 모듈을 분리한다. 전위가 실질적으로 동일한 경우, 전도성 요소가 사용되어 대물 렌즈들을 포함하는 모듈과 집속 렌즈들을 분리할 수 있다. 일 구성에서, 스캔 디플렉터 어레이(260)가 집속 렌즈들과 대물 렌즈들 사이에 개재될 수 있다.

[0054] 어레이 내의 각각의 집속 렌즈는 각자의 중간 포커스에 포커싱되는 각자의 서브-빔(211, 212, 213)으로 전자들을 향하게 한다. 각각의 집속 렌즈는 집속 렌즈 어레이(231)와 대물 렌즈 어레이 조립체 내의 각 대물 렌즈 사이에 각자의 중간 포커스를 형성한다. 집속 렌즈 어레이(231)는 바람직하게는 서브-빔 경로들이 집속 렌즈 어레이(231)와 중간 포커스들의 평면 사이에서 서로에 대해 발산하도록 구성된다. 나타낸 실시예에서, 디플렉터들(235)이 중간 포커스들에(즉, 중간 포커스들의 평면에) 제공된다. 디플렉터들(235)은 주 광선(빔 축이라고도 할 수 있음)이 샘플(208) 상에 실질적으로 수직으로(즉, 샘플의 공칭 표면에 대해 실질적으로 90° 로) 입사될 것을 보장하기 위해 효과적인 양만큼 각자의 빔릿(211, 212, 213)을 굽히도록 구성된다. 또한, 디플렉터들(235)은 시준기들로 지칭될 수 있다. 디플렉터들(235)은 사실상 빔릿들의 경로들을 시준하므로, 디플렉터들 전에는 서로에 대한 빔릿 경로들이 발산한다. 디플렉터들의 빔 하류에서, 빔릿 경로들은 서로에 대해 실질적으로 평행하며, 즉 실질적으로 시준된다. 적절한 시준기들은, 멀티-빔 어레이에 대한 디플렉터들의 적용과 관련하여 본 명세서에서 인용참조되는 2020년 2월 7일에 출원된 EP 출원 20156253.5에 개시된 디플렉터들이다.

[0055] 도 9는 대물 렌즈 어레이(241)의 하나의 대물 렌즈(300)와 제어 렌즈 어레이(250)의 하나의 제어 렌즈(600)의 확대된 개략적인 도면이다. 대물 렌즈(300)는 전자 빔을 10보다 큰, 바람직하게는 50 내지 100 이상의 범위의 계수로 축소시키도록 구성될 수 있다. 대물 렌즈(300)는 중간 또는 제 1 전극(301), 하부 또는 제 2 전극(302), 및 상부 또는 제 3 전극(303)을 포함한다. 전압 소스들(V1, V2, V3)이 각각 제 1, 제 2 및 제 3 전극들에 전위들을 적용하도록 구성된다. 추가 전압 소스(V4)가 샘플에 연결되어, 접지될 수 있는 제 4 전위를 적용한다. 전위들은 샘플(208)에 대해 정의될 수 있다. 제 1, 제 2 및 제 3 전극들에는 각각 각자의 서브-빔이 전파되는 어퍼처가 제공된다. 제 2 전위는 샘플의 전위와 유사할 수 있으며, 예를 들어 샘플보다 50 V 내지 200 V 더 양인 범위에 있다. 대안적으로, 제 2 전위는 샘플보다 약 +500 V 내지 약 +1,500 V 더 양인 범위에 있을 수 있다. 검출기가 광학 칼럼에서 가장 낮은 전극보다 높은 경우에 더 높은 전위가 유용하다. 제 1 전위 및/또는 제 2 전위는 포커스 보정들을 위해 어퍼처 또는 어퍼처들의 그룹마다 변동될 수 있다.

[0056] 바람직하게는, 일 실시예에서 제 3 전극이 생략된다. 2 개의 전극들만을 갖는 대물 렌즈는 더 많은 전극들을

갖는 대물 렌즈보다 더 낮은 수차를 가질 수 있다. 3-전극 대물 렌즈는 전극들 사이에 더 큰 전위차들을 가져, 더 강한 렌즈를 가능하게 할 수 있다. 추가적인 전극들(즉, 2보다 많은 전극들)은, 예를 들어 입사 빔뿐만 아니라 이차 전자들을 포커싱하기 위해 전자 궤적들을 제어하는 추가적인 자유도를 제공한다.

[0057] 앞서 언급된 바와 같이, 랜딩 에너지를 결정하기 위해 제어 렌즈를 사용하는 것이 바람직하다. 하지만, 대물 렌즈(300)를 추가로 사용하여 랜딩 에너지를 제어하는 것이 가능하다. 이러한 경우, 대물 렌즈에 대한 전위차는 상이한 랜딩 에너지가 선택될 때 변화된다. 대물 렌즈에 대한 전위차를 변화시킴으로써 랜딩 에너지를 부분적으로 변화시키는 것이 바람직한 상황의 일 예시는 서브-빔들의 포커스가 대물 렌즈에 너무 가까워지는 것을 방지하는 것이다. 이러한 상황에서는, 대물 렌즈 전극이 너무 얇아서 제조가 불가능할 위험이 있다. 이 위치에서의 검출기에 대해서도 마찬가지일 수 있다. 이 상황은, 예를 들어 랜딩 에너지가 낮아지는 경우에 발생할 수 있다. 이는 대물 렌즈의 초점 거리가 사용되는 랜딩 에너지에 따라 대략적으로 스케일링(scale)되기 때문이다. 대물 렌즈에 대한 전위차를 낮춰 대물 렌즈 내부의 전기장을 낮춤으로써, 대물 렌즈의 초점 거리는 다시 더 커져 대물 렌즈보다 더 아래의 포커스 위치를 유도한다. 대물 렌즈만의 사용은 배율의 제어를 제한할 것임을 유의한다. 이러한 구성은 축소 및/또는 개방 각도를 제어할 수 없다. 또한, 대물 렌즈를 사용하여 랜딩 에너지를 제어하는 것은 대물 렌즈가 최적의 전계 강도에서 벗어나 작동할 것임을 의미할 수 있다. 이는 (전극들 사이의 간격과 같은) 대물 렌즈의 기계적 파라미터들이 예를 들어 대물 렌즈를 교환함으로써 조정될 수 있지 않는 한 그러하다.

[0058] 도시된 구성에서, 제어 렌즈(600)는 전위 소스들(V5 내지 V7)에 연결되는 3 개의 전극들(601 내지 603)을 포함한다. 전극들(601 내지 603)은 수 밀리미터(예를 들어, 3 mm) 이격될 수 있다. 제어 렌즈와 대물 렌즈 사이의 간격(즉, 하부 전극(602)과 대물 렌즈의 상부 전극 사이의 갭)은 넓은 범위, 예를 들어 2 mm 내지 200 mm 이상으로부터 선택될 수 있다. 작은 간격이 정렬을 더 쉽게 하는 반면, 더 큰 간격은 더 약한 렌즈가 사용되게 하여 수차를 감소시킨다. 바람직하게는, 제어 렌즈(600)의 최상위 전극(603)의 전위(V5)는 제어 렌즈의 빔 상류에 있는 다음 전자-광학 요소[예를 들어, 디플렉터들(235)]의 전위와 동일하게 유지된다. 하부 전극(602)에 적용되는 전위(V7)는 빔 에너지를 결정하기 위해 변동될 수 있다. 중간 전극(601)에 적용되는 전위(V6)는 제어 렌즈(600)의 렌즈 강도를 결정하고, 이에 따라 빔의 개방 각도 및 축소를 제어하기 위해 변동될 수 있다. 바람직하게는, 제어 렌즈의 하부 전극(602)과 대물 렌즈의 최상위 전극은 실질적으로 동일한 전위를 갖는다. 샘플 및 대물 렌즈의 최저 전극은 통상적으로 제어 렌즈의 최저 전극과 매우 상이한 전위를 갖는다. 전자들은, 예를 들어 대물 렌즈에서 30 kV로부터 2.5 kV로 감속될 수 있다. 하나의 디자인에서, 대물 렌즈의 상부 전극(V3)은 생략된다. 이 경우, 바람직하게는 제어 렌즈의 하부 전극(602) 및 대물 렌즈의 전극(301)이 실질적으로 동일한 전위를 갖는다. 랜딩 에너지가 변화될 필요가 없거나 다른 수단에 의해 변화되는 경우에도, 제어 렌즈는 빔 개방 각도를 제어하는 데 사용될 수 있다는 것을 유의하여야 한다. 서브-빔의 포커스의 위치는 각 제어 렌즈 및 각 대물 렌즈의 작용들의 조합에 의해 결정된다.

[0059] 일 예시에서, 1.5 kV 내지 2.5 kV 범위의 랜딩 에너지를 얻기 위해, 아래 표 1에 나타낸 바와 같이 전위들 V5, V6 및 V7이 설정될 수 있다. 이 표의 전위들은 빔 소스(201)의 캐소드에 대한 전극 전위와 동등한 keV 단위의 빔 에너지 값들로서 주어진다. 전자-광학 시스템을 디자인함에 있어서, 시스템에서 어느 지점이 접지 전위로 설정될지에 대해 상당한 디자인 자유가 있으며, 시스템의 작동은 절대 전위들보다는 전위차들에 의해 결정됨을 이해할 것이다.

표 1

랜딩 에너지	1.5 keV	2.5 keV	3.5 keV
V1	29 keV	30 keV	31 keV
V2	1.55 keV	2.55 keV	3.55 keV
V3 (또는 생략)	29 keV	30 keV	31 keV
V4	1.5 keV	2.5 keV	3.5 keV
V5	30 keV	30 keV	30 keV
V6	19.3 keV	20.1 keV	20.9 keV
V7	29 keV	30 keV	31 keV

[0060]

[0061] V1, V3 및 V7에서의 빔 에너지는 동일함을 알 것이다. 실시예들에서, 이 지점들에서의 빔 에너지는 10 keV 내지 50 keV일 수 있다. 더 낮은 전위가 선택되는 경우, 특히 대물 렌즈에서 전극 간격이 감소되어 전기장의 감

소를 제한할 수 있다.

- [0062] 예를 들어, 도 8의 실시예의 집속 렌즈보다는 제어 렌즈가 전자 빔의 개방 각도/배율 보정에 사용되는 경우, 시준기는 중간 포커스에 유지되므로 시준기의 비점수차 보정이 필요하지 않다. (이러한 구성에서는 빔 전류가 빔 경로를 따라 일정하게 유지되기 때문에 배율의 조정이 개방 각도의 유사한 조정을 유도한다는 것을 유의하여야 한다.) 또한, 대물 렌즈에서 최적의 전계 강도를 유지하면서 랜딩 에너지는 광범위한 에너지들에 걸쳐 변동될 수 있다. 이는 대물 렌즈의 수차를 최소화한다. 또한, 집속 렌즈(사용되는 경우)의 강도는 일정하게 유지되어, 중간 초점면에 있지 않은 시준기 또는 집속 렌즈를 통한 전자 경로의 변화로 인한 추가적인 수차들의 여하한의 도입을 피한다. 또한, (집속 렌즈를 갖지 않는) 도 3, 도 5 및 도 6에 나타난 바와 같은 빔 성형 리미터를 특징으로 하는 실시예의 제어 렌즈가 사용되는 경우, 랜딩 에너지뿐만 아니라 개방 각도/배율이 추가적으로 제어될 수 있다.
- [0063] 일부 실시예들에서, 하전 입자 톨은 서브-빔들에서 1 이상의 수차를 감소시키는 1 이상의 수차 보정기를 더 포함한다. 일 실시예에서, 수차 보정기들의 적어도 서브세트 각각은 도 8에 도시된 타입의 실시예들에서 중간 포커스들 중 각 하나에 또는 바로 인접하여(예를 들어, 중간 이미지 평면 내에 또는 인접하여) 위치된다. 서브-빔들은 중간 평면(중간 포커스들의 평면)과 같은 초점면 내에서 또는 그 근처에서 최소 단면적을 갖는다. 이는 다른 곳, 즉 중간 평면의 빔 상류 또는 빔 하류에서 이용가능한 것보다(또는 중간 평면을 갖지 않는 대안적인 구성들에서 이용가능한 것보다) 수차 보정기들을 위한 더 많은 공간을 제공한다.
- [0064] 일 실시예에서, 중간 포커스들(또는 중간 평면)에 또는 바로 인접하여 위치되는 수차 보정기들은 상이한 빔들에 대해 상이한 위치들에 있는 것으로 보이는 소스(201)를 보정하기 위한 디플렉터들을 포함한다. 보정기들은 각각의 서브-빔과 대응하는 대물 렌즈 사이의 양호한 정렬을 방해하는 소스로부터 발생하는 거시적 수차들을 보정하는 데 사용될 수 있다.
- [0065] 수차 보정기들은 적절한 칼럼 정렬을 방해하는 수차들을 보정할 수 있다. 또한, 이러한 수차들은 서브-빔들과 보정기들 사이의 오정렬을 초래할 수 있다. 이러한 이유로, 추가적으로 또는 대안적으로 수차 보정기들을 집속 렌즈 어레이(231)의 집속 렌즈들에 또는 그 근처에 위치시키는 것이 바람직할 수 있다(예를 들어, 각각의 이러한 수차 보정기들은 집속 렌즈들 중 1 이상과 통합되거나, 또는 바로 인접함). 이는 집속 렌즈들이 빔 어퍼처들과 수직으로 근접 또는 일치하기 때문에 집속 렌즈들에서 또는 그 근처에서 수차들이 아직 대응하는 서브-빔들의 시프트로 이어지지 않았을 것이므로 바람직하다. 하지만, 집속 렌즈들에 또는 그 근처에 보정기들을 위치시키는 것에 대한 문제는 더 하류(또는 빔 하류)의 위치들에 비해 이 위치에서 서브-빔들이 각각 상대적으로 큰 단면적들 및 상대적으로 작은 피치를 갖는다는 것이다. 집속 렌즈들 및 보정기들은 동일한 구조체의 일부일 수 있다. 예를 들어, 이들은 예를 들어 전기적 절연 요소로 서로 연결될 수 있다.
- [0066] 일부 실시예들에서, 수차 보정기들의 적어도 서브세트 각각은 대물 렌즈 어레이 조립체 내의 대물 렌즈들 또는 제어 렌즈들 중 1 이상과 통합되거나 바로 인접한다. 일 실시예에서, 이 수차 보정기들은: 필드 곡률; 포커스 오차; 및 비점수차 중 1 이상을 감소시킨다. 대물 렌즈들 및/또는 제어 렌즈들 및 보정기들은 동일한 구조체의 일부일 수 있다. 예를 들어, 이들은 예를 들어 전기적 절연 요소로 서로 연결될 수 있다.
- [0067] 수차 보정기들은 EP2702595A1에 개시된 바와 같은 CMOS 기반 개별 프로그램가능 디플렉터들 또는 EP2715768A2에 개시된 바와 같은 다극 디플렉터들의 어레이일 수 있으며, 이 두 문서의 빔릿 머니플레이터에 대한 설명들은 본 명세서에서 인용참조된다.
- [0068] 일부 실시예들에서, 대물 렌즈 어레이 조립체의 검출기는 대물 렌즈 어레이(241)의 적어도 하나의 전극의 빔 하류에 검출기 모듈을 포함한다. 일 실시예에서, 검출기(예를 들어, 검출기 모듈)의 적어도 일부가 대물 렌즈 어레이(241)에 인접 및/또는 통합된다. 예를 들어, 검출기 모듈은 대물 렌즈 어레이(241)의 저부 전극에 CMOS 칩 검출기를 통합함으로써 구현될 수 있다. 대물 렌즈 어레이 조립체로의 검출기 모듈의 통합이 이차 칼럼을 대체한다. CMOS 칩은 바람직하게는 [샘플과 전자-광학 시스템의 저부 사이의 짧은 거리(예를 들어, 100 μ m)로 인해] 샘플을 향하도록 방위지정(orientate)되어, 조립체의 샘플을 향하는 표면을 제공한다. 일 실시예에서, 이차 전자 신호들을 포착하기 위한 전극들이 CMOS 디바이스의 최상부 금속층에 형성된다. 전극들은 다른 층들에 형성될 수 있다. CMOS의 전력 및 제어 신호들은 실리콘-관통 비아(through-silicon via)들에 의해 CMOS에 연결될 수 있다. 견고성을 위해, 바람직하게는 저부 전극은 2 개의 요소들: CMOS 칩 및 홀들을 갖는 패시브 Si 플레이트로 구성된다. 플레이트는 높은 E-필드로부터 CMOS를 차폐한다.
- [0069] 검출 효율을 최대화하기 위해, (어퍼처들을 제외한) 대물 렌즈 어레이(241)의 실질적으로 모든 영역이 전극들에

의해 점유되고 각각의 전극이 어레이 피치와 실질적으로 동일한 직경을 갖도록 전극 표면을 가능한 한 크게 만드는 것이 바람직하다. 일 실시예에서, 전극의 외형은 원이지만, 이는 검출 영역을 최대화하기 위해 정사각형으로 만들어질 수 있다. 또한, 기관-관통홀의 직경은 최소화될 수 있다. 전자 빔의 통상적인 크기는 5 내지 15 마이크로미터 정도이다.

[0070] 일 실시예에서, 단일 전극이 각각의 어퍼처를 둘러싼다. 또 다른 실시예에서, 복수의 전극 요소들이 각각의 어퍼처 주위에 제공된다. 하나의 어퍼처를 둘러싸는 전극 요소들에 의해 포착되는 전자들은 단일 신호로 조합되거나, 또는 독립적인 신호들을 생성하는 데 사용될 수 있다. 전극 요소들은 반경방향으로(즉, 복수의 동심 환형들을 형성하도록), 각도로(즉, 복수의 부채꼴 조각들을 형성하도록), 반경방향 및 각도로, 또는 여하한 다른 편리한 방식으로 분할될 수 있다.

[0071] 하지만, 더 큰 전극 표면이 더 큰 기생 커패시턴스(parasitic capacitance)를 초래하므로, 대역폭이 더 낮다. 이러한 이유로, 전극의 외경을 제한하는 것이 바람직할 수 있다. 특히 더 큰 전극이 약간 더 큰 검출 효율만을 제공하지만, 상당히 더 큰 커패시턴스를 제공하는 경우이다. 원형(환형) 전극이 수집 효율과 기생 커패시턴스 사이에서 좋은 절충안을 제공할 수 있다.

[0072] 또한, 전극의 더 큰 외경이 더 큰 크로스토크(이웃한 홀의 신호에 대한 감도)를 초래할 수도 있다. 이는 전극 외경을 더 작게 만드는 이유일 수도 있다. 특히 더 큰 전극이 약간 더 큰 검출 효율만을 제공하지만, 상당히 더 큰 크로스토크를 제공하는 경우이다.

[0073] 전극에 의해 수집되는 후방산란 및/또는 이차 전자 전류는 트랜스 임피던스 증폭기에 의해 증폭될 수 있다.

[0074] 대물 렌즈 어레이에 통합된 검출기의 예시적인 실시예가 도 10에 도시되어 있다. 도 10은 대물 렌즈 어레이의 일부(401)를 개략적인 단면도로 나타낸다. 이 실시예에서, 검출기는 복수의 검출기 요소들(405)(예를 들어, 캡처 전극들과 같은 센서 요소들)을 포함하는 검출기 모듈(402)을 포함한다. 이 실시예에서, 검출기 모듈(402)은 대물 렌즈 어레이의 출력 측에 제공된다. 출력 측은 샘플(208)을 향하는 측이다. 도 11은 빔 어퍼처(406)를 각각 둘러싸는 복수의 캡처 전극들(405)이 제공되는 기관(404)을 포함하는 검출기 모듈(402)의 저면도이다. 빔 어퍼처들(406)은 기관(404)을 통해 에칭함으로써 형성될 수 있다. 도 11에 나타낸 구성에서, 빔 어퍼처들(406)은 직사각형 어레이로 도시되어 있다. 또한, 빔 어퍼처들(406)은 상이하게, 예를 들어 도 12에 도시된 바와 같이 육각 밀집 어레이로 배치될 수 있다.

[0075] 도 13은 더 큰 스케일에서 검출기 모듈(402)의 일부의 단면을 도시한다. 캡처 전극들(405)은 검출기 모듈(402)의 맨 아래, 즉 샘플에 가장 가까운 표면을 형성한다. 캡처 전극들(405)과 실리콘 기관(404)의 주 몸체 사이에는 로직 층(logic layer: 407)이 제공된다. 로직 층(407)은 증폭기, 예를 들어 트랜스 임피던스 증폭기, 아날로그-디지털 컨버터, 및 판독 로직을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 캡처 전극(405)마다 하나의 증폭기 및 하나의 아날로그-디지털 컨버터가 있다. 로직 층(407) 및 캡처 전극들(405)은 CMOS 공정을 사용하여 제조될 수 있으며, 캡처 전극들(405)은 최종 금속화 층을 형성한다.

[0076] 배선 층(408)이 기관(404)의 후면 또는 내부에 제공되고, 실리콘-관통 비아(409)에 의해 로직 층(407)에 연결된다. 실리콘-관통 비아들(409)의 수는 빔 어퍼처들(406)의 수와 동일할 필요는 없다. 특히 전극 신호들이 로직 층(407)에서 디지털화되는 경우, 데이터 버스를 제공하기 위해 적은 수의 실리콘-관통 비아들만이 필요할 수 있다. 배선 층(408)은 제어 라인들, 데이터 라인들 및 전력 라인들을 포함할 수 있다. 빔 어퍼처들(406)에도 불구하고, 필요한 모든 연결을 위한 충분한 공간이 있음을 유의할 것이다. 검출기 모듈(402)은 바이폴라 또는 다른 제조 기술들을 사용하여 제작될 수도 있다. 인쇄 회로 기관 및/또는 다른 반도체 칩들이 검출기 모듈(402)의 후면에 제공될 수 있다.

[0077] 또한, 검출기 모듈(402)은 대물 렌즈 어레이의 최저 전극 어레이뿐만 아니라 다른 전극 어레이들에도 통합될 수 있다. 대물 렌즈에 통합된 검출기 모듈의 더 자세한 사항 및 대안적인 구성들은 EP 출원 20184160.8호에서 찾아볼 수 있으며, 이 문서는 적어도 검출기 모듈 및 대물 렌즈에서의 이러한 모듈의 통합과 관련하여 본 명세서에서 인용참조된다.

[0078] 일부 실시예들에서, 도 14 및 도 15에 예시된 바와 같이, 대물 렌즈 어레이 조립체의 평면 요소들은 빔 성형 리미터(242)를 더 포함한다. 빔 성형 리미터(242)는 빔-제한 어퍼처들(124)의 어레이를 정의한다. 빔 성형 리미터(242)는 하부 빔 리미터, 하부 빔-제한 어퍼처 어레이 또는 최종 빔-제한 어퍼처 어레이라고 칭해질 수 있다. 빔 성형 리미터(242)는 복수의 어퍼처들을 갖는 플레이트(플레이트와 같은 몸체일 수 있음) 형태의 평면 요소를 포함할 수 있다. 빔 성형 리미터(242)는 제어 렌즈 어레이(250)의 적어도 하나의 평면 요소(전극)로부터, 선택

적으로는 모든 평면 요소들로부터 빔 하류에 있다. 일부 실시예들에서, 빔 성형 리미터(242)는 대물 렌즈 어레이(241)의 적어도 하나의 평면 요소(전극)로부터, 선택적으로는 모든 평면 요소들로부터 빔 하류에 있다. 빔 성형 리미터(242)의 플레이트는 세라믹 또는 유리를 포함할 수 있는 스페이서와 같은 절연 요소에 의해 대물 렌즈의 인접한 플레이트 전극 어레이에 연결될 수 있다.

[0079] 일 구성에서, 빔 성형 리미터(242)는 대물 렌즈 어레이(241)의 전극(302)과 구조적으로 통합된다. 즉, 빔 성형 리미터(242)의 플레이트는 대물 렌즈 어레이(241)의 인접한 플레이트 전극 어레이에 직접 연결된다. 바람직하게는, 빔 성형 리미터(242)는 낮은 정전기장 강도의 구역에 위치된다. 빔-제한 어퍼처들(124) 각각이 대물 렌즈 어레이(241) 내의 대응하는 대물 렌즈와 정렬된다. 정렬은 대응하는 대물 렌즈로부터의 서브-빔의 일부가 빔-제한 어퍼처(124)를 통과하고 샘플(208) 상에 부딪힐 수 있도록 이루어진다. 각각의 빔-제한 어퍼처(124)는 빔 제한 효과를 가져, 빔 성형 리미터(242)에 입사되는 서브-빔의 선택된 부분만이 빔-제한 어퍼처(124)를 통과하게 한다. 선택된 부분은 대물 렌즈 어레이 내의 각 어퍼처들의 중심부를 통과하는 각 서브-빔의 부분만이 샘플에 도달하도록 이루어질 수 있다. 중심부는 원형 단면을 가질 수 있고, 및/또는 서브-빔의 빔 축을 중심으로 할 수 있다.

[0080] 일부 실시예들에서, 전자-광학 시스템은 상부 빔 리미터(252)를 더 포함한다. 대물 렌즈 어레이 조립체의 평면 요소들은 상부 빔 리미터(252)를 포함할 수 있다. 상부 빔 리미터(252)는 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의한다. 상부 빔 리미터(252)는 상부 빔-제한 어퍼처 어레이 또는 빔-상류 빔-제한 어퍼처 어레이라고 칭해질 수 있다. 상부 빔 리미터(252)는 복수의 어퍼처들을 갖는 플레이트(플레이트와 같은 몸체일 수 있음) 형태의 평면 요소를 포함할 수 있다. 상부 빔 리미터(252)는 소스(201)에 의해 방출되는 하전 입자 빔으로부터 서브-빔들을 형성한다. 서브-빔들을 형성하는 데 기여하는 것들 이외의 빔의 부분들은 빔 하류에서 서브-빔들과 간섭하지 않도록 상부 빔 리미터(252)에 의해 차단(예를 들어, 흡수)될 수 있다. 상부 빔 리미터(252)는 서브-빔 정의 어퍼처 어레이라고 칭해질 수 있다.

[0081] 도 3, 도 5 및 도 6에 예시된 바와 같이, 집속 렌즈 어레이를 포함하지 않는 실시예들에서, 상부 빔 리미터(252)는 대물 렌즈 어레이 조립체의 일부를 형성할 수 있다. 예를 들어, 상부 빔 리미터(252)는 제어 렌즈 어레이(250)에 인접 및/또는 통합될 수 있다[예를 들어, 도 14에 나타낸 바와 같이 소스(201)에 가장 가까운 제어 렌즈 어레이(250)의 전극(603)에 인접 및/또는 통합될 수 있음]. 상부 빔 리미터(252)는 제어 렌즈 어레이(250)의 가장 빔 상류의 전극일 수 있다. 일 실시예에서, 상부 빔 리미터(252)는 빔 성형 리미터(242)의 빔-제한 어퍼처들(124)보다 더 큰(예를 들어, 더 큰 단면적을 갖는) 빔-제한 어퍼처들을 정의한다. 따라서, 빔 성형 리미터(242)의 빔-제한 어퍼처들(124)은 상부 빔 리미터(252) 및/또는 대물 렌즈 어레이(241) 및/또는 제어 렌즈 어레이(250)에 정의된 대응하는 어퍼처들보다 작은 치수(즉, 더 작은 면적 및/또는 더 작은 직경 및/또는 더 작은 다른 특성 치수)로 이루어질 수 있다.

[0082] 도 8에 예시된 바와 같이, 집속 렌즈 어레이(231)를 갖는 실시예들에서, 상부 빔 리미터(252)는 집속 렌즈 어레이(231)에 인접 및/또는 통합하여[예를 들어, 소스(201)에 가장 가까운 집속 렌즈 어레이(231)의 전극에 인접 및/또는 통합하여] 제공될 수 있다. 일반적으로, 빔 성형 리미터(242)의 빔-제한 어퍼처들을 빔 성형 리미터(242)로부터 빔 상류에서 빔-제한 어퍼처들을 정의하는 다른 모든 빔 리미터들의 빔-제한 어퍼처들보다 더 작게 구성하는 것이 바람직하다.

[0083] 빔 성형 리미터(242)는 바람직하게는 빔-제한 효과를 갖도록[즉, 빔 성형 리미터(242)에 입사되는 각각의 서브-빔의 부분을 제거하도록] 구성된다. 예를 들어, 빔 성형 리미터(242)는 대물 렌즈 어레이(241)의 대물 렌즈를 빠져나가는 각각의 서브-빔이 각자의 대물 렌즈의 중심을 통과할 것을 보장하도록 구성될 수 있다. 대안적인 접근법들과 대조적으로, 이 효과는 대물 렌즈들에 입사되는 서브-빔들이 대물 렌즈들과 잘 정렬될 것을 보장하기 위해 복잡한 정렬 절차를 필요로 하지 않고도 빔 성형 리미터(242)를 사용하여 달성될 수 있다. 또한, 빔 성형 리미터(242)의 효과는 칼럼 정렬 동작, 소스 불안정 또는 기계적 불안정에 의해 방해받지 않을 것이다. 또한, 빔 성형 리미터(242)는 스캐닝이 서브-빔들에서 작동하는 길이를 감소시킨다. 거리는 빔 성형 리미터(242)로부터 샘플 표면까지의 빔 경로의 길이로 감소된다.

[0084] 일부 실시예들에서, 상부 빔 리미터(252) 내의 빔-제한 어퍼처의 직경 대 빔 성형 리미터(242) 내의 대응하는 빔-제한 어퍼처(124)의 직경의 비는 3보다 크거나 같고, 선택적으로 5보다 크거나 같고, 선택적으로 7.5보다 크거나 같고, 선택적으로 10보다 크거나 같다. 예를 들어, 일 구성에서, 상부 빔 리미터(252) 내의 빔-제한 어퍼처는 약 50 미크론의 직경을 갖고, 빔 성형 리미터(242) 내의 대응하는 빔-제한 어퍼처(124)는 약 10 미크론의 직경을 갖는다. 또 다른 구성에서, 상부 빔 리미터(252) 내의 빔-제한 어퍼처는 약 100 미크론의 직경을 갖고,

빔 성형 리미터(242) 내의 대응하는 빔-제한 어퍼처(124)는 약 10 마이크로미터의 직경을 갖는다. 대물 렌즈의 중심을 통과한 빔의 부분만이 빔-제한 어퍼처(124)에 의해 선택되는 것이 바람직하다. 도 14에 나타난 예시에서, 각각의 대물 렌즈는 전극들(301 및 302) 사이의 정전기장에 의해 형성된다. 일부 실시예들에서, 각각의 대물 렌즈는 2 개의 기본 렌즈들(각각 초점 거리 = $4 * \text{BeamEnergy} / E_{\text{field}}$ 를 가짐): 전극(301)의 저부[즉, 빔-상류 전극(301)의 저부] 및 전극(302)의 최상부[즉, 빔-하류 전극(302)의 최상부]로 구성된다. 우세한 렌즈(dominant lens)는 전극(302)의 최상부에 있는 렌즈일 수 있다[빔 에너지가 예를 들어 전극(301)에 가까운 30 kV에 비해 2.5 kV로 작을 수 있고, 이는 렌즈를 다른 렌즈보다 약 12 배 더 강하게 만들 것이기 때문이다]. 전극(302)의 최상부에서 어퍼처의 중심을 통과하는 빔의 부분은 빔-제한 어퍼처(124)를 통과하는 것이 바람직하다. 전극(302)의 최상부와 어퍼처(124) 사이의 z에서의 거리가 매우 작기 때문에(예를 들어, 통상적으로 100 내지 150 마이크로미터), 빔의 비교적 큰 각도들에 대해서도 빔의 올바른 부분이 선택된다.

[0085] 도 14 및 도 15의 특정 예시에서, 빔 성형 리미터(242)는 대물 렌즈 어레이(241)의 저부 전극(302)과 별개로 형성되는 요소로서 도시되어 있다. 다른 실시예들에서, 빔 성형 리미터(242)는 [예를 들어, 기관의 맞은편들에서 렌즈 어퍼처들 및 빔-차단 어퍼처들로서 기능하기에 적절한 캐비티(cavity)들을 예칭하도록 리소그래피를 수행함으로써] 대물 렌즈 어레이(241)의 저부 전극과 일체로 형성될 수 있다.

[0086] 일 실시예에서, 빔 성형 리미터(242)의 어퍼처들(124)은 대응하는 대물 렌즈 어레이(241)의 저부 전극에서의 대응하는 렌즈 어퍼처의 적어도 일부로부터 빔 하류로 이격되어 제공된다. 빔 성형 리미터는 렌즈 어퍼처의 직경보다 크거나 같을 수 있는, 바람직하게는 렌즈 어퍼처의 직경보다 적어도 1.5 배 더 크고, 바람직하게는 렌즈 어퍼처의 직경보다 적어도 2 배 더 큰 빔-하류 거리에 제공될 수 있다.

[0087] 일반적으로, 가장 강한 렌징 효과를 갖는 각각의 대물 렌즈의 전극에 인접하여 빔 성형 리미터(242)를 위치시키는 것이 바람직하다. 도 14 및 도 15의 예시에서, 저부 전극(302)은 가장 강한 렌징 효과를 가질 것이며, 빔 성형 리미터(242)는 이 전극에 인접하여 위치된다. 이러한 대물 렌즈는 감속 렌즈이다. 가속 렌즈인 대물 렌즈 어레이에서는, 빔 상류 전극(301)이 가장 강한 렌징 효과를 갖는다. 빔 성형 리미터(242)는 빔 상류 전극(301)에 인접하여 위치된다. 대물 렌즈 어레이(241)가 3 개의 전극들을 갖는 아인펠 렌즈 구성과 같이 2 개 이상의 전극들을 포함하는 경우, 가장 강한 렌징 효과를 갖는 전극은 통상적으로 중간 전극일 것이다. 이 경우, 중간 전극에 인접하여 빔 성형 리미터(242)를 위치시키는 것이 바람직할 것이다. 따라서, 대물 렌즈 어레이(241)의 전극들 중 적어도 하나가 빔 성형 리미터(242)의 빔 하류에 위치될 수 있다. 또한, 전자-광학 시스템은 (예를 들어, 대물 렌즈 어레이의 전극들에 적용되는 전위들을 제어함으로써) 대물 렌즈 어레이 조립체를 제어하여, 빔 성형 리미터(242)가 대물 렌즈 어레이(241)의 전극들 중 가장 강한 렌징 효과를 갖는 대물 렌즈 어레이(241)의 전극에 인접하거나 통합되도록 구성될 수 있다. 이 맥락에서, 가장 강한 렌징 효과는 전자 빔에서 작동하는 2 이상의 렌징 요소들, 즉 전자 광학 요소들 중 가장 강한 렌즈의 효과를 의미하는 것으로 간주된다. 렌징 효과는 요소가 작동하는 전자 빔을 (더 통상적으로는) 수렴하거나 발산하는 정도이다.

[0088] 또한, 전기장이 작은 구역, 바람직하게는 실질적으로 전계가 없는 구역에 빔 성형 리미터(242)를 위치시키는 것이 일반적으로 바람직하다. 이는 빔 성형 리미터(242)의 존재에 의한 원하는 렌징 효과의 방해를 피하거나 최소화한다.

[0089] 도 14 및 도 15에 예시된 바와 같이, 검출기[예컨대, 검출기 모듈(402)]의 빔 상류에 빔 성형 리미터(242)를 제공하는 것이 바람직하다. 검출기의 빔 상류에 빔 성형 리미터(242)를 제공하는 것은, 빔 성형 리미터(242)가 샘플(208)로부터 방출되는 하전 입자들을 막아 이들이 검출기에 도달하지 못하게 하지 않을 것을 보장한다. 그러므로, 검출기가 대물 렌즈 어레이(241)의 모든 전극들의 빔 상류에 제공되는 실시예들에서는, 대물 렌즈 어레이(241)의 모든 전극들의 빔 상류에 또는 심지어 제어 렌즈 어레이(250)의 전극들 중 1 이상의 빔 상류에 빔 성형 리미터(242)를 제공하는 것이 바람직하다. 이 시나리오에서, 빔 성형 리미터(242)를 여전히 검출기의 빔 상류에 있으면서 대물 렌즈 어레이(241)에 가능한 한 가깝게 위치시키는 것이 바람직할 수 있다. 따라서, 빔 성형 리미터(242)는 빔-상류 방향에서 검출기에 바로 인접하여 제공될 수 있다.

[0090] 제어 렌즈 어레이(250)의 적어도 하나의 전극 및/또는 대물 렌즈 어레이(241)의 적어도 하나의 전극으로부터 빔 하류에 빔 성형 리미터(242)를 갖는 앞서 설명된 대물 렌즈 어레이 조립체들은 대물 렌즈 구성의 한 종류의 예시들이다. 이 종류의 실시예들은 샘플(208) 상에 멀티-빔을 포커싱하는 전자-광학 시스템을 위한 대물 렌즈 구성을 포함한다. 대물 렌즈 구성은 빔-상류 렌징 어퍼처 어레이[예를 들어, 도 14에 도시된 바와 같이, 소스(201)에 가장 가까운 대물 렌즈 어레이(241)의 전극(301)]를 포함한다. 대물 렌즈 구성은 빔-하류 렌징 어퍼처 어레이[예를 들어, 도 14에 도시된 바와 같이, 소스(201)로부터 가장 멀리 떨어진 대물 렌즈 어레이(241)의 전

극(302)]를 더 포함한다. 빔-하류 렌징 어퍼처 어레이[예컨대, 전극(302)] 및 빔-상류 렌징 어퍼처 어레이[예컨대, 전극(301)]는 함께 작동하여 멀티-빔의 서브-빔들을 렌징한다. 어퍼처들[예를 들어, 도 14의 빔-제한 어퍼처들(124)]이 빔-상류 렌징 어퍼처 어레이 및 빔-하류 렌징 어퍼처 어레이 내의 어퍼처들보다 작은 치수(즉, 더 작은 면적 및/또는 더 작은 직경 및/또는 더 작은 다른 특성 치수)로 이루어지는 빔-제한 어퍼처 어레이[예를 들어, 도 14에 도시된 빔 성형 리미터(242)]가 제공된다. 빔-제한 어퍼처 어레이의 어퍼처들은 각각의 서브-빔을 빔-상류 렌징 어퍼처 어레이 및 빔-하류 렌징 어퍼처 어레이 내의 각 어퍼처들의 중심부들을 통과한 서브-빔의 일부로 제한하도록 구성된다. 따라서, 앞서 설명된 바와 같이, 빔-제한 어퍼처 어레이는 대물 렌즈 구성의 대물 렌즈를 빠져나가는 각각의 서브-빔이 각각의 렌즈의 중심을 통과하였을 것을 보장할 수 있다.

[0091] 본 명세서에 설명된 여하한의 구성들에서, 시정 조치가 취해지지 않은 경우, 멀티-빔에서 바람직하지 않은 축외 수차들이 발생할 수 있다. 이 맥락에서 축외 수차들은 (예를 들어, 한 서브-빔으로부터 또 다른 서브-빔으로) 멀티-빔의 주 축에 수직인 평면 내의 위치의 함수로서 변동하는 멀티-빔 내의 또는 멀티-빔 전체에 걸친 여하한의 불완전을 포함하는 것으로 이해된다.

[0092] 멀티-빔에서의 축외 수차들은 멀티-빔에서의 필드 곡률(예를 들어, 상이한 서브-빔들 사이의 필드 곡률)을 포함할 수 있다. 즉, 초점면이 멀티-빔의 상이한 서브-빔들에 대해 상이하여, 필드 곡률 오차를 갖는 멀티-빔이 예를 들어 샘플 상의 동일한 초점면에서 포커스 내에 서브-빔들 중 일부만을 갖도록 할 것이다.

[0093] 멀티-빔에서의 축외 수차들은 비점수차(수직 평면들에서 전파되는 빔들이 상이한 포커스들을 갖는 경우)를 포함할 수 있다.

[0094] 멀티-빔에서의 축외 수차들은 텔레센트리시티 오차(예를 들어, 서브-빔들의 전파 방향들에서의 각도 오차)에 의해 야기되는 왜곡(예를 들어, 개별 서브-빔들과 관련된 위치 오차)을 포함할 수 있다. 왜곡은 샘플 및/또는 멀티-빔의 주 축에 수직인 다른 기준 평면들을 통과할 때 서브-빔들의 축 위치들에서의 오차들에 의해 특징지어질 수 있다.

[0095] 멀티-빔에서의 축외 수차들은 코마(coma)를 포함할 수 있다.

[0096] 축외 수차들, 특히 필드 곡률 및 비점수차는 (예를 들어, 도 3 내지 도 5를 참조하여 앞서 설명된 바와 같은) 매크로 시준기(270)를 사용하는 실시예들에서 특히 중요할 수 있다. 이러한 예시적인 실시예들에서의 필드 곡률에 대한 통상적인 값들은 매크로 시준기(270)의 물체 축에서 1 내지 2 mm 디포커스의 범위 내에 있을 수 있다. 이러한 실시예들에서의 비점수차에 대한 통상적인 값들은 축 방향과 방위각 방향 사이의 매크로 시준기(270)의 물체 축에서 1 내지 2 mm 포커스 차의 범위 내에 있을 수 있다. (예를 들어, 도 8을 참조하여 앞서 설명된 바와 같이) 매크로 시준기(270) 대신에 집속 렌즈 어레이(231)를 사용하는 실시예들에서의 필드 곡률 및 비점수차는 더 작을 수 있지만, 보정이 여전히 바람직하다. 매크로 시준기(270)에 의해 야기되는 왜곡은 전형적으로 0.5 내지 1 mrad의 범위 내에 있을 수 있다(텔레센트리시티 오차로서 표현됨). 그러므로, 10 mm 정도의 두께를 갖는 대물 렌즈 어레이 조립체에 대하여, 왜곡은 반경방향 가장 바깥쪽 서브-빔들에 대해 10 마이크로 정도의 어퍼처들의 변위들을 필요로 할 수 있다. 10 마이크로미터의 값은 대물 렌즈 어레이의 두께와 텔레센트릭 오차의 상한의 곱으로 결정될 수 있다(즉, 10 mm × 1 mrad = 10 마이크로미터). 코마는 전형적으로 매우 작을 것으로 예상된다.

[0097] 일부 실시예들에서, 대물 렌즈 어레이 조립체 내의 평면 요소들(예를 들어, 전극들) 중 1 이상의 어퍼처들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 (예를 들어, 적어도 부분적으로) 보상하도록 구성된다. 이 접근법은 본 명세서에 설명된 여하한의 대물 렌즈 어레이 조립체들과 사용될 수 있다. 평면 요소들의 어퍼처들은 축외 수차들을 보상하도록 성형, 크기조정 및/또는 위치됨으로써 축외 수차들을 보상하도록 구성될 수 있다.

[0098] 어퍼처들의 성형, 크기조정 및/또는 위치설정은 하나의 평면 요소 내에서의, 예를 들어 대물 렌즈 어레이(241)의 전극들 중 하나 내에서의 다수 어퍼처들에 적용될 수 있다. 이는 평면 요소 내의 어퍼처들이 평면 요소 내에서 다양한 상이한 형상들, 크기들 및/또는 (공칭 위치들에 대한) 위치들로 제공되게 할 수 있다. 어퍼처들의 성형, 크기조정 및/또는 위치설정은 복수의 평면 요소들, 예를 들어 대물 렌즈 어레이(241)의 복수의 전극들 각각에서의 다수 어퍼처들에 적용될 수 있다. 그러므로, 평면 요소들 중 하나에 정의된 어퍼처들의 어레이는 평면 요소들 중 다른 요소에 정의된 어퍼처들의 어레이와 상이한 지오메트리를 가질 수 있다. 축외 수차들을 보상하기 위한 대물 렌즈 어레이 조립체 내의 어퍼처들의 성형, 크기조정, 및/또는 위치설정은, 통상적으로 대물 렌즈 어레이 조립체[예를 들어, 대물 렌즈 어레이(241)]에서 가장 강한 렌징 효과를 제공하도록 구성되는 평면 요소(전극)에 정의된 어퍼처들에 적용될 때 가장 효과적이다. 따라서, 적어도 대물 렌즈 어레이 조립체[예를

들어, 대물 렌즈 어레이(241)]에서 가장 강한 렌징 효과를 제공하도록 구성되는 평면 요소(전극)에서, 바람직하게는 여기에서만, 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 성형, 크기조정 및/또는 위치되는 어퍼처들을 제공하는 것이 바람직하다.

[0099] 대물 렌즈 어레이(241) 내의 평면 요소의 예시적인 경우에 대해 도 16 및 도 17에 개략적으로 도시되는 바와 같이, 일부 실시예들에서 (대물 렌즈 어레이 조립체의 평면 요소들 내에 정의된) 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 갖는다. 상이한 어퍼처 영역들의 범위는 하나의 동일한 평면 요소 또는 다수 평면 요소들 각각에 존재할 수 있다. 도 16 및 도 17에 도시된 어퍼처 영역의 변동들은 명확함을 위해 과장되며, 실제로는 도시된 것보다 작을 것이다. 예를 들어, 어퍼처 영역의 통상적인 변동은 50 마이크론의 직경을 갖는 원형 어퍼처들에 대해 0 내지 2 마이크론의 범위 내의 직경 편차에 대응할 수 있다. (이러한 구성에서, 직경 편차는 통상적으로 주 축에 대한 반경방향 거리의 제곱에 따라 축소되어, 주 축 가까이에서 0에 가까워질 수 있다.) 실선 원들은 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 갖는 어퍼처들을 나타낸다. 과선 원들은 도시된 어퍼처 영역의 변동들의 시각적 인식에 도움을 주기 위해 수정되지 않은 어퍼처 크기들을 나타낸다. 상이한 어퍼처 영역들은 동일한 어퍼처 영역을 가졌을 원의 직경을 참조하여 설명될 수 있다. 따라서, 어퍼처 영역들은 대응하는 어퍼처들이 정확히 원형이 아니더라도 직경을 참조하여 설명될 수 있다. 상이한 어퍼처 영역들의 범위는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택된다. 상이한 어퍼처 영역들의 범위에 의해 보상되는 축외 수차들은 필드 곡률을 포함할 수 있다. 변동들은 흔히 멀티-빔의 주 축으로부터 증가하는 거리의 함수로서 어퍼처 영역의 증가들을 수반할 것이다(도 16에 개략적으로 도시된 바와 같이, 주 축은 페이지에 수직이고 가장 중심의 어퍼처를 통과함). 또한, (도 17에 개략적으로 도시된 바와 같이) 적절한 보정들이 멀티-빔의 주 축으로부터 증가하는 거리의 함수로서 어퍼처 영역의 감소들을 수반할 수도 있다. 도 16 및 도 17에 나타난 예시들에서, 어퍼처들은 그리드 포인트들(701) 및 그리드 라인들(702)에 의해 정의되는 규칙적인 그리드 상에 배열된다.

[0100] 대물 렌즈 어레이(241) 내의 평면 요소의 예시적인 경우에 대해 도 18 및 도 19에 개략적으로 도시되는 바와 같이, 일부 실시예들에서 (대물 렌즈 어레이 조립체의 평면 요소들 내에 정의된) 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상이한 타원율들의 범위를 갖는다. 상이한 타원율들의 범위는 하나의 동일한 평면 요소 또는 다수 평면 요소들 각각에 존재할 수 있다. 도 18 및 도 19에 도시된 타원율의 변동들은 명확함을 위해 과장되며, 실제로는 도시된 것보다 작을 것이다. 예를 들어, 타원율의 통상적인 변동은 50 마이크론의 직경을 갖는 초기 원형 어퍼처들에 대해 최대 약 0 내지 2 마이크론의 장축 변동에 대응할 수 있다. 상이한 타원율들의 범위는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택된다. 상이한 타원율들의 범위에 의해 보상되는 축외 수차들은 비점수차를 포함할 수 있다. 변동들은 멀티-빔의 주 축으로부터 증가하는 거리의 함수로서 어퍼처들의 장축들일 수 있는 반경방향 축들(radially oriented axes)의 크기의 증가들을 수반할 수 있다(도 18에 개략적으로 도시된 바와 같이, 주 축은 페이지에 수직이고 가장 중심의 어퍼처를 통과함). 또한, (도 19에 개략적으로 도시된 바와 같이) 적절한 보정이 멀티-빔의 주 축으로부터 증가하는 거리의 함수로서 어퍼처들의 장축들일 수 있는 방위각 방향 축들(azimuthally oriented axes)의 크기의 증가들을 수반할 수도 있다.

[0101] 시준기[예를 들어, 도 3 및 도 5에 도시된 것과 같은 매크로 시준기(270)]의 물체 축의 필드 곡률 및 비점수차는 크기에 있어서 총 선형 배율을 총 각도 배율로 나눈 것과 같은 계수를 곱한 샘플 평면에서의 필드 곡률 및 비점수차와 관련된다. 총 선형 배율은 M_{tot} 로 주어진다. 총 각도 배율은 M_{a_tot} 로 주어진다. 따라서, $M_{tot}=1/15$ 및 $M_{a_tot}=50$ 의 통상적인 값들에 대해, 시준기의 물체 축에서 1 내지 2 mm 범위의 필드 곡률 및 비점수차는 대물 렌즈의 이미지 축에서 1.3 내지 2.7 마이크론 범위의 필드 곡률 및 비점수차에 대응한다[이는 $1.3 = 1000/(15 \times 50)$ 이고 $2.7 = 2000/(15 \times 50)$ 이기 때문임]. 사용되는 정밀한 축소는 소스(201)의 특성뿐 아니라, 목표가 되는 분해능 및 랜딩 에너지에 의존한다.

[0102] 감속 정전 렌즈의 초점 거리는 최저 빔 에너지에서의 전극에 의해 형성되는 어퍼처 렌즈에 의해 좌우될 것이다. 이 초점 거리는 대략 $4 * U_{beam} / E_{field}$ 이다(U_{beam} 는 어퍼처 렌즈에서의 빔 에너지이고, E_{field} 는 정전기장 임). 하지만, 이 초점 거리는 렌즈의 어퍼처 영역(렌즈 직경)에 대한 약간의 의존성이 있다. 통상적으로, 이는 초점 거리가 대략 $4 * U_{beam} / E_{field}$ 인 것으로 가정하여 얻어지는 추산치보다 초점 거리를 약 $0.6 * L$ -여기서, L 은 렌즈 직경임-만큼 더 크게 한다. 결과적으로, 마이크론 또는 수 마이크론(예를 들어, 0.5 내지 5 마이크론) 정도의 샘플 레벨에서의 필드 곡률을 보정하기 위해서는, 대응하는 양(예를 들어, 0.5 내지 5 마이크론)을 0.6으로 나눈 값만큼 렌즈 직경을 조정하는 것이 충분할 것이다. 이는 예를 들어 50 내지 200 마이크론의 통상적인 실제 렌즈 직경들에 비해 여전히 상대적으로 작다. 따라서, 이러한 보정이 실용적이다.

[0103] 또한, 앞선 계산은 대물 렌즈 어레이 조립체의 빔 상류의 렌즈 어레이에 의해 (즉, 상당한 축소 전에) 보정이 적용되는 경우, 밀리미터 범위의 렌즈 직경들의 변동들이 필요할 것을 나타낸다. 렌즈 피치들이 1 밀리미터보

다 훨씬 더 작은 경우, 이러한 크기의 변동들은 실용적이지 않다.

[0104] 일부 실시예들에서, 도 20 및 도 21에 예시된 바와 같이, (대물 렌즈 어레이 조립체의 평면 요소들에 정의된) 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치들에 대해, 예를 들어 각 요소들의 평면에서 변위된다. 이러한 변위는 멀티-빔의 경로에 대해 횡방향일 수 있다. 이러한 공칭 위치들은 그리드의 그리드 라인들 사이의 교차점에 대응할 수 있다. 어퍼처들은 각각 그리드 상의 대응하는 공칭 위치에 대해 변위된다. 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택된다. 공칭 위치들은 규칙적인 그리드에 제공될 수 있다. 규칙적인 그리드는, 예를 들어 직사각형, 정사각형, 또는 육각형 그리드를 포함할 수 있다. 나타낸 예시에서, 공칭 위치들은 그리드 포인트들(701) 및 그리드 라인들(702)에 의해 표시된다. 공칭 위치들은 축외 수차들이 없는 이상적인 구성에 대응하는 위치들을 나타낼 수 있다. 공칭 위치들로부터의 변위들은 하나의 동일한 평면 요소 또는 다수 평면 요소들 각각에 존재할 수 있다. 도 20 및 도 21에 도시된 변위들은 명확함을 위해 과장되며, 실제로는 도시된 것보다 작을 것이다. 변위들은 어퍼처들이 [그리드 라인들(702)로 도시된] 공칭 그리드에 대해 왜곡되는 (두꺼운 파선으로 도시된) 그리드에 놓이게 된다. 변위들에 의해 보상되는 축외 수차들은 텔레센트리시티 오차에 의해 야기되는 왜곡을 포함할 수 있다. 변위들은 도 20 및 도 21에 예시된 바와 같이 반경방향 안쪽으로(멀티-빔의 주 축을 향해) 또는 반경방향 바깥쪽으로 이루어질 수 있다. 두 경우 모두, 변위들의 크기는 반경방향 거리에 따라 증가할 수 있다. 도 20 및 도 21의 단순화된 예시에서, 이는 코너 어퍼처들이 측면 어퍼처들보다 더 많이 변위되게 한다.

[0105] 도 20 및 도 21에 예시된 바와 같이, 어퍼처들의 변위들은 대물 렌즈 어레이 조립체가 제어 렌즈 어레이(250)를 포함하는 실시예들에서 제공될 수 있다. 이러한 타입의 실시예들에서, 어퍼처들은 제어 렌즈 어레이(250) 및 대물 렌즈 어레이(241) 중 어느 하나 또는 둘 모두에서 변위될 수 있다. 나타낸 예시에서, 제어 렌즈 어레이(250)는 3 개의 전극들(601 내지 603)을 포함한다. 제어 렌즈 어레이(250)는 도 3 내지 도 15를 참조하여 앞서 설명된 여하한의 방식으로 작동하도록 배치되고 구성될 수 있다. 이 예시에서는 3 개의 전극들(601 내지 603) 모두에서 어퍼처들이 변위된다. 바람직하게는, 서브-빔 경로들의 적어도 서브세트 각각에 대해, 서브-빔 경로를 따라 위치되는 대물 렌즈 어레이 조립체 내의 모든 어퍼처들이 가장 강한 렌징 효과를 제공하는 평면 요소(전극) 내의 어퍼처를 제외하고 변위된다. 도 21에 나타낸 예시에서, 대물 렌즈 어레이(241)가 감속 렌즈 효과를 제공하는 2 개의 평면 요소들[전극들(301 및 302)]을 포함하는 경우, 최하위 전극(302)이 가장 강한 렌징 효과를 제공할 것이다. 또 다른 구성에서, 2 개의 평면 요소들은 최상위 전극(301)이 가장 강한 렌징 효과를 제공하는 가속 렌즈를 제공한다. 대물 렌즈 어레이(241)가 아인젤 렌즈를 포함하는 대안적인 실시예에서는, 중심 전극이 가장 강한 렌징 효과를 제공할 수 있다. 변위들은 바람직하게는 도 21에 나타낸 바와 같이, 가장 강한 렌징 효과를 제공하는 전극[나타낸 예시에서는 전극(302)] 내의 어퍼처 중심을 통과하는 서브-빔이 빔 상류에서 대응하는 변위된 어퍼처들의 중심들도 통과하도록 선택된다. 도 21에 나타낸 바와 같이, 본 예시에서 전극들(601 내지 603 및 301) 내의 가장 왼쪽에 있는 3 개의 어퍼처들은 (수평 화살표들로 나타낸 바와 같이) 오른쪽으로 변위되어 전극(302) 내의 대응하는 어퍼처의 중심을 통과하는 서브-빔(801)과 정렬된다. 전극들(601 내지 603 및 301) 내의 가장 오른쪽에 있는 3 개의 어퍼처들은 (수평 화살표들로 나타낸 바와 같이) 왼쪽으로 변위되어 전극(302) 내의 대응하는 어퍼처의 중심을 통과하는 서브-빔(802)과 정렬된다. 반면에, 최하위 전극(302) 내의 어퍼처들은 이 예시에서 변위되지 않는다.

[0106] 도 20 및 도 21에 더 예시된 바와 같이, 어퍼처들의 변위들은 대물 렌즈 어레이 조립체가 상부 빔 리미터(252)를 포함하는 실시예들에서 제공될 수 있다. 상부 빔 리미터(252)는 제어 렌즈 어레이(250)로부터 빔 상류에 있다. 상부 빔 리미터(252)는 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의한다. 상부 빔 리미터(252)는 도 3 내지 도 15를 참조하여 앞서 설명된 여하한의 방식으로 작동하도록 배치되고 구성될 수 있다. 이러한 타입의 실시예들에서, 어퍼처들의 변위는 제어 렌즈 어레이(250)의 1 이상의 전극(601 내지 603)에 정의된 어퍼처들 및 상부 빔 리미터(252)의 빔-제한 어퍼처들 모두에 적용될 수 있다. 따라서, 제어 렌즈 어레이(250) 및 상부 빔 리미터(252)에 정의된 어퍼처들의 적어도 서브세트가 공칭 위치들에 대해 변위되는 위치들에 제공될 수 있으며, 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택된다. 이 예시에서는 제어 렌즈 어레이(250)의 3 개의 전극들(601 내지 603) 및 상부 빔 리미터(252) 모두에서 어퍼처들이 변위된다. 변위들은 가장 강한 렌징 효과를 제공하는 평면 요소 내의 어퍼처 중심들을 통과하는 서브-빔 경로들이 빔 상류에서 대응하는 변위된 어퍼처들의 중심들도 통과하도록 선택될 수 있다.

[0107] 도 20 및 도 21의 구성에 나타낸 바와 같이, [대물 렌즈 어레이(241), 제어 렌즈 및 상부 빔 리미터(252)와 같은] 서브-빔 경로들(801, 802)에 있는 모든 요소들의 평면 요소들, 예를 들어 전극들의 모든 어퍼처들이 정렬된다. 즉, 서브-빔 경로들의 어퍼처들은 빔이 평면 요소들의 모든 어퍼처들의 중심을 통과하도록 조명의 "텔레센

트리시티"와 관련하여 정렬된다. 앞서 설명된 바와 같이 가장 강한 렌징 효과를 제공하는 평면 요소(이에 따라, 대물 렌즈의 저부 전극)가 기준 평면 요소로서 선택되는 것이 바람직하지만, 평면 요소들 중 어느 것이든 기준으로 선택될 수 있다. 어느 하나의 평면 요소를 기준으로 선택할 때, 평면 요소들은 전체적으로 시프트될 수 있지만, 나머지 다른 평면 요소들의 어퍼처들은 빔 경로들과 정렬될 수 있다. 이는 정렬이 상대적이기 때문이다. 실제로, 수차들의 측면에서 여하한 다른 평면 요소가 기준으로 선택되었어도 상관없을 것이다. 그러므로, 기준은 샘플 또는 관측자의 기준 프레임일 수 있다. 샘플의 관점(perspective)을 기준으로 선택할 때, 멀티-빔에서 서브-빔 경로들의 상대 위치들에 의해 정의된 그리드가 이상적인 그리드 또는 규칙적인 그리드로 간주될 수 있다. 이러한 기준을 취하는 것은 멀티-빔에 스캐닝 전략을 적용할 때 유용하다.

[0108] 일부 실시예들에서, 도 22 및 도 23에 예시된 바와 같이, 대물 렌즈 어레이 조립체의 평면 요소들은 대물 렌즈 어레이(241)를 형성하는 적어도 하나의 평면 요소로부터 빔 하류에 빔 성형 리미터(242)를 포함한다. 빔 성형 리미터(242)는 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의한다. 빔 성형 리미터(242)는 도 3 내지 도 15, 특히 도 14 및 도 15를 참조하여 앞서 설명된 여하한 방식으로 작동하도록 배치되고 구성될 수 있다. 나타낸 예시에서, 대물 렌즈 어레이(241)를 형성하는 평면 요소들은 2 개의 전극들(301 및 302)을 포함한다. 빔 성형 리미터(242)는 두 전극들(301 및 302) 모두로부터 빔 하류에 있다. 일부 실시예들에서, 빔 성형 리미터(242)에 정의된 빔-제한 어퍼처들의 적어도 서브세트는 대물 렌즈 어레이(241)를 형성하는 빔-상류 평면 요소들(301 및 302) 내의 어퍼처들의 각 중심 축들(704)에 대해 변위되는 위치들에 제공된다. 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택될 수 있다. 변위들에 의해 보상되는 축외 수차들은 코마를 포함할 수 있다. 코마의 보상이 비점수차 및/또는 필드 곡률을 증가시키는 경우, 이러한 효과들은 도 16 내지 도 19를 참조하여 앞서 설명된 바와 같이 어퍼처 영역들 및/또는 어퍼처들의 타원율을 변동시킴으로써 보상될 수 있다.

[0109] 따라서, 코마 수차를 보상하도록 코마 보상을 도입하기 위해서는, 앞서 설명된 바와 같이 대물 렌즈의 가장 강한 요소의 전극이 경로에 대해 시프트되어야 한다. 도 20 및 도 21을 참조하여 설명된 바와 같이, 코마 보상에 앞서 대물 렌즈 어레이 조립체의 모든 평면 요소들 내의 어퍼처들은 서브-빔 경로가 각각의 대응하는 어퍼처의 중심을 통과하도록 위치된다. 따라서, 샘플의 기준 프레임에서, 멀티-빔 구성은 규칙적인 또는 이상적인 그리드에 대응한다. 코마 보상의 도입은, 서브-빔 경로들이 빔 성형 리미터(242) 내의 대응하는 어퍼처들의 중심과 오정렬되도록 빔 성형 리미터(242)의 어퍼처들이 변위된다는 것을 의미한다. 따라서, 오정렬이 코마 보상, 및 언급된 바와 같은 많은 수차들, 예컨대 왜곡 또는 텔레센트리시티 오차, 필드 곡률 및 비점수차를 도입할 것이다. 텔레센트리시티 오차, 필드 곡률 및 비점수차의 도입은 앞서 설명된 방식으로 추가 보정을 필요로 할 수 있으므로, 코마는 무시하는 것이 바람직하다. 하지만, 필요한 경우 코마 수차들이 보정될 수 있다.

[0110] 그러므로, 대물 렌즈 어레이 조립체의 요소들은 필드 곡률, 비점수차, 텔레센트리시티 오차 및/또는 코마와 같은 축외 수차들을 보상하기 위해 빔 구성에 대해 위치, 타원율 및/또는 어퍼처 영역의 측면에서 수정된 어퍼처들을 가질 수 있다.

[0111] 예를 들어 도 8을 참조하여 앞서 설명된 바와 같이 집속 렌즈 어레이(231)를 포함하는 실시예들에서, 집속 렌즈 어레이(231)는 서브-빔들의 공칭 위치들에 대해 대물 렌즈 어레이(241)에서의 서브-빔들의 적어도 서브세트의 위치들을 변위시키도록 구성될 수 있다. 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택될 수 있다. 변위들에 의해 보정되는 축외 수차들은 텔레센트리시티 오차에 의해 야기되는 왜곡을 포함할 수 있다. 도 24에 개략적으로 도시된 바와 같이, 서브-빔들의 변위들은 집속 렌즈들의 공칭 위치들에 대해 변위되는 집속 렌즈 어레이 내의 위치들에 각 집속 렌즈들을 제공함으로써 적어도 부분적으로 구현될 수 있다. 공칭 위치들은 규칙적인 그리드에 제공될 수 있다. 규칙적인 그리드는, 예를 들어 직사각형, 정사각형, 또는 육각형 그리드를 포함할 수 있다. 나타낸 예시에서, 공칭 위치들은 그리드 포인트들(711) 및 그리드 라인들(712)에 의해 표시된다. 공칭 위치들은 축외 수차들이 없는 이상적인 구성에 대응하는 위치들을 나타낼 수 있다. 공칭 위치들로부터의 변위들은 하나의 동일한 평면 요소 또는 다수 평면 요소들 각각에 존재할 수 있다. 도 24에 도시된 변위들은 명확함을 위해 과장되며, 실제로는 도시된 것보다 작을 것이다. 변위들은 어퍼처들이 [그리드 라인들(712)로 도시된] 공칭 그리드에 대해 왜곡되는 (두꺼운 파선으로 도시된) 그리드에 놓이게 된다. 대안적으로 또는 추가적으로, 1 이상의 디플렉터가 서브-빔들의 변위들을 적어도 부분적으로 구현하는 데 사용될 수 있다.

[0112] 대물 렌즈 어레이(241)를 형성하는 1 이상의 평면 요소 내의 어퍼처들이 공칭 위치들에 대해 변위되는 앞서 설명된 여하한 실시예들은 코마를 보상하는 데 사용될 수 있다. 이 접근법은, 예를 들어 도 8을 참조하여 앞서 설명된 바와 같이 집속 렌즈 어레이(231)를 포함하는 실시예들에서 특히 바람직할 수 있다. 이러한 전자-광학 디자인에서, 집속 렌즈 어레이(231) 또는 집속 렌즈 어레이(231)와 연계된 빔-제한 어퍼처 어레이는 멀티-빔 구성의 서브-빔들을 성형한다. 이러한 디자인은 (앞서 설명된 바와 같이, 코마를 보상하는 데 사용될 수 있는)

전자-광학 디자인의 대물 렌즈 어레이 조립체에서의 빔 성형 리미터를 특징으로 하지 않을 수 있다. (예를 들어, 도 8을 참조하여 앞서 설명된 바와 같이) 집속 렌즈 어레이(231)를 사용하는 실시예들에서, 대물 렌즈 어레이 조립체는 집속 렌즈 어레이(231)를 포함하지 않는 실시예들에 대해 앞서 설명된 여하한 방식으로 멀티-빔에서의 다른 축의 수차들을 보상하도록 구성될 수 있다. 대물 렌즈 어레이 조립체는, 예를 들어 비점수차, 필드 곡률 및/또는 (예를 들어, 텔레센트리시티 오차에 의해 야기되는) 왜곡을 보정하도록 구성될 수 있다.

[0113] 도 25에 개략적으로 도시된 바와 같이, 본 명세서에 설명된 여하한 실시예들은 멀티-빔이 평면 요소들에 정의된 어퍼처들의 중심에 위치한 서브세트만을 통과하도록 응용될 수 있다. 도 25는 멀티-빔이 파선 박스(720)로 둘러싸인 중심 구역 내의 어퍼처들만을 통과하는 예시적인 평면 요소[예를 들어, 대물 렌즈 어레이(241)의 전극]를 도시한다. 서브-빔들은 파선 박스(720) 내의 모든 어퍼처들을 통과하고, 파선 박스(720) 외부의 어퍼처들은 어느 것도 통과하지 않는다. 파선 박스(720) 외부의 어퍼처들은 더미(dummy) 어퍼처들로 칭해질 수 있다. 더미 어퍼처들을 통과하는 서브-빔들은 없지만, 이들의 존재는 더미 어퍼처들이 제공되지 않을 경우 발생할 수 있는 예외 효과들을 감소시키거나 제거하는 데 도움이 될 수 있다. 그러므로, 서브-빔이 작동 시 통과하는 평면 플레이트에 정의된 어레이의 각각의 어퍼처는 어퍼처들로 둘러싸인다. 서브-빔이 통과하는 어퍼처는 어퍼처 어레이의 예지로부터 떨어져 있다. 축의 수차들을 보상하기 위한 앞서 설명된 어퍼처들의 성형, 크기 조정 및/또는 위치설정 중 어느 것이든 더미 어퍼처들에도 적용될 수 있다.

[0114] 일부 실시예들에서, 서브-빔들이 샘플을 향해 투영되는 동안 대물 렌즈 어레이에 적용되는 전기장은 대물 렌즈 어레이 조립체 내의 평면 요소들(예를 들어, 전극들) 중 1 이상을 왜곡시킬 수 있다. 대물 렌즈 어레이(241)는, 예를 들어 전기장에 의해 왜곡될 수 있다. 왜곡은 보우(bow)라고 칭해질 수 있다. 왜곡은 통상적으로 전극들 사이의 인력으로부터 발생하여 전극들 사이의 거리가 작아지도록 할 것이다. 전극들 사이의 거리를 더 작게 만드는 것은 전극들 사이의 정전기장 강도를 증가시킬 것이다. 정전기장 강도를 증가시키는 것은 더 짧은 초점 거리를 초래할 것이다. 이는 감속 대물 렌즈 및 아인젤 대물 렌즈 모두에 대한 경우이다. 감속 대물 렌즈에 대해서는, 렌즈 자체가 추가적으로 위로 이동할 것이다. 이는 우세한 렌즈가 최저 전극에 의해 형성되기 때문이다. 이러한 최저 전극은 위쪽으로 구부러질 것이다. 아인젤 대물 렌즈에 대해서는, 우세한 렌즈가 중심 전극에 의해 형성되며, 이는 구부러지지 않을 것이다. 이는 중심 전극 위와 아래에서의 정전기장의 대칭으로 인한 것이다. 렌즈 전극들의 왜곡의 영향은 필드 곡률이다. 일부 실시예들에서, 대물 렌즈 어레이(241)는 왜곡이 적어도 부분적으로 멀티-빔에서의 필드 곡률을 보상하도록 구성된다. 따라서, 대물 렌즈 어레이(241) 및 대물 렌즈 어레이(241)의 구동은 필드 곡률에 대한 기여가 다른 소스들로부터의 필드 곡률에 대한 기여들과 부호가 반대되도록 구성될 수 있다. 이는 통상적으로 매크로 시준기(270)가 사용되는 실시예들의 경우일 것이며, 이는 매크로 시준기(270)에 의해 기여되는 필드 곡률이 대물 렌즈 어레이 조립체 내의 전극들의 왜곡에 의해 기여되는 필드 곡률과 부호가 반대일 것이기 때문이다. 일부 실시예들에서, 왜곡은 다른 소스들로부터의 멀티-빔의 필드 곡률의 대부분, 바람직하게는 실질적으로 전부를 보상한다. 일부 실시예들에서, 평면 요소들의 어퍼처 영역들이 또한 필드 곡률[선택적으로, 대물 렌즈 어레이(241) 내의 정전기장 유도 왜곡에 의해 기여되는 필드 곡률을 포함함]을 보상하기 위해 앞서 설명된 바와 같이 변동된다. 결과적으로, 전자-광학 칼럼이 관리할 수 있는 필드 곡률 수차들은 대물 렌즈 어레이 내의 휨(bowing) 또는 크기, 위치 및/또는 타원율, 바람직하게는 크기 분포의 수정에 의해 달성될 수 있는 것보다 더 클 수 있다.

[0115] 도 16 내지 도 25에 개시되고 설명된 실시예들에서, 어퍼처 어레이들은 제한된 수의 어퍼처들, 예를 들어 9 개 또는 25 개로 도시되어 있다. 하지만, 이러한 수치는 예시적인 것이며, 어퍼처 어레이들은 여하한 수의 어퍼처들, 예를 들어 20,000 개나 되는 어퍼처들을 가질 수 있는 것으로 의도된다. 어퍼처들은 직사각형, 예컨대 정사각형 또는 육각형일 수 있는 그리드를 따라 어레이로 배치될 수 있다.

[0116] 소정 방식으로 하전 입자 빔을 조작하기 위해 제어가능한 구성요소들 또는 요소들의 구성요소 또는 시스템에 대한 언급은, 설명된 방식으로 하전 입자 빔을 조작하기 위해 구성요소를 제어하는 제어기 또는 제어 시스템 또는 제어 유닛을 구성하는 것을 포함하며, 선택적으로 이 방식으로 하전 입자 빔을 조작하기 위해 구성요소를 제어하는 다른 제어기들 또는 디바이스들(예를 들어, 전압 공급기 및/또는 전류 공급기)을 사용하는 것도 포함한다. 예를 들어, 전압 공급기가 제어기 또는 제어 시스템 또는 제어 유닛의 제어 하에, 비-제한된 목록에서 제어 렌즈 어레이(250), 대물 렌즈 어레이(241), 집속 렌즈(231), 보정기, 시준기 요소 어레이(271) 및 스캔 디플렉터 어레이(260)와 같은 1 이상의 구성요소에 전기적으로 연결되어, 구성요소들에 전위들을 적용할 수 있다. 스테이지와 같은 작동가능한 구성요소가 구성요소의 작동을 제어하기 위해 1 이상의 제어기, 제어 시스템 또는 제어 유닛을 사용하여 작동하고, 이에 따라 빔 경로와 같은 또 다른 구성요소에 대해 이동하도록 제어가능할 수 있다.

- [0117] 본 명세서에 설명된 실시예들은 일련의 어퍼처 어레이들, 또는 빔 또는 멀티-빔 경로를 따라 어레이들로 배치된 전자-광학 요소들의 형태를 취할 수 있다. 이러한 전자-광학 요소들은 정전기적일 수 있다. 일 실시예에서, 예를 들어 빔 제한 어퍼처 어레이로부터 샘플 이전의 서브-빔 경로에서의 마지막 전자-광학 요소에 이르는 모든 전자-광학 요소들은 정전기적일 수 있고, 및/또는 어퍼처 어레이 또는 플레이트 어레이의 형태일 수 있다. 일부 구성들에서, 전자-광학 요소들 중 1 이상은 MEMS(microelectromechanical system)으로서 (즉, MEMS 제조 기술들을 사용하여) 제조된다.
- [0118] 상부와 하부, 상류와 하류, 위와 아래에 대한 언급들은 샘플(208)에 부딪히는 전자 빔 또는 멀티-빔의 빔-상류 및 빔-하류 방향들(통상적으로 항상 수직인 것은 아님)에 평행한 방향들을 지칭하는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 빔 상류 및 빔 하류에 대한 언급들은 현재 중력장과 무관하게 빔 경로에 관한 방향들을 지칭하기 위한 것이다.
- [0119] 본 발명의 일 실시예에 따른 평가 툴은 샘플의 정성적 평가(예컨대, 합격/불합격)를 수행하는 툴, 샘플의 정량적 측정(예컨대, 피치의 크기)을 수행하는 툴 또는 샘플의 맵 이미지를 생성하는 툴일 수 있다. 평가 툴의 예시들은 검사 툴(예를 들어, 결함 식별용), 검토투 툴(예를 들어, 결함 분류용) 및 메트론펠로지 툴, 또는 검사 툴, 검토투 툴 또는 메트론펠로지 툴과 관련된 평가 기능들의 여하한의 조합을 수행할 수 있는 툴들(예를 들어, 메트로-검사 툴)이다. 전자-광학 칼럼(40)은 검사 툴 또는 메트로-검사 툴과 같은 평가 툴의 구성요소, 또는 e-빔 리소그래피 툴의 일부일 수 있다. 본 명세서에서 툴에 대한 어떠한 언급은 디바이스, 장치 또는 시스템을 포함하는 것으로 의도되며, 툴은 함께 위치될 수도 있고 위치되지 않을 수도 있는, 그리고 특히 예를 들어 데이터 처리 요소들에 대해, 분리된 공간들에 위치될 수도 있는 다양한 구성요소들을 포함한다.
- [0120] "서브-빔" 및 "빔릿"이라는 용어들은 본 명세서에서 교환가능하게 사용되며, 둘 다 모(parent) 방사선 빔을 나누거나 분할함으로써 모 방사선 빔으로부터 파생되는 여하한의 방사선 빔을 포함하는 것으로 이해된다. "머니플래이터"라는 용어는 렌즈 또는 디플렉터와 같이 서브-빔 또는 빔릿의 경로에 영향을 미치는 여하한의 요소를 포괄하는 데 사용된다.
- [0121] 빔 경로 또는 서브-빔 경로를 따라 정렬되는 요소들에 대한 언급은 각 요소들이 빔 경로 또는 서브-빔 경로를 따라 위치됨을 의미하는 것으로 이해된다.
- [0122] 광학기에 대한 언급은 전자-광학기를 의미하는 것으로 이해된다.
- [0123] 본 명세서에서 제어 렌즈들 및 대물 렌즈들과 같은 전자-광학 요소들의 제어에 대한 언급은 기계적 디자인 및 설정된 작동 인가 전압 또는 전위차에 의한 제어, 즉 수동 제어뿐만 아니라 전자-광학 칼럼 내의 자동 제어 또는 사용자 선택에 의한 능동 제어를 모두 지칭하기 위한 것이다. 능동 또는 수동 제어에 대한 선호도는 상황에 따라 결정되어야 한다.
- [0124] 본 발명은 다양한 실시예들과 관련하여 설명되었지만, 본 발명의 다른 실시예들이 본 명세서에 개시된 발명의 실행 및 사양을 고려하여 당업자에게 명백할 것이다. 사양 및 예시들은 단지 예시적인 것으로 간주되며, 본 발명의 진정한 범위 및 기술사상은 다음 청구항들 및 항목들에 의해 표시되는 것으로 의도된다.
- [0125] 다음 항목들이 제공된다:
- [0126] 1 항: 하전 입자 툴의 전자-광학 시스템을 위한 대물 렌즈 어레이 조립체로서,
- [0127] 샘플 상에 서브-빔들의 멀티-빔을 포커싱하도록 구성되고,
- [0128] 멀티-빔의 서브-빔 경로들을 따라 정렬되는 복수의 어퍼처들을 정의하고 샘플을 향해 멀티-빔을 투영하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이를 포함하는 평면 요소들을 포함하며,
- [0129] 평면 요소들 중 1 이상의 어퍼처는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0130] 2 항: 1 항에 있어서, 평면 요소들 중 1 이상의 어퍼처는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 성형, 크기 조정 및/또는 위치되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0131] 3 항: 2 항에 있어서, 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 성형, 크기조정 및/또는 위치되는 어퍼처들은 적어도 대물 렌즈 어레이 조립체에서 가장 강한 렌징 효과를 제공하도록 구성되는 평면 요소에서, 바람직하게는 여기에서만, 정의되는 어퍼처들인 대물 렌즈 어레이 조립체.

- [0132] 4 항: 1 항 내지 3 항 중 어느 하나에 있어서, 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 가지며, 상이한 어퍼처 영역들의 범위는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 어퍼처들의 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0133] 5 항: 4 항에 있어서, 상이한 어퍼처 영역들의 범위에 의해 보상되는 축외 수차들은 필드 곡률을 포함하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0134] 6 항: 1 항 내지 5 항 중 어느 하나에 있어서, 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상이한 타원율들의 범위를 가지며, 상이한 타원율들의 범위는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 어퍼처들의 적어도 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0135] 7 항: 6 항에 있어서, 상이한 타원율들의 범위에 의해 보상되는 축외 수차들은 비접수차를 포함하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0136] 8 항: 1 항 내지 7 항 중 어느 하나에 있어서, 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치들에 대해 변위되며, 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 어퍼처들의 적어도 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0137] 9 항: 8 항에 있어서, 공칭 위치들은 규칙적인 그리드 상에 있고, 바람직하게는 규칙적인 그리드는 복수의 평면 요소들에 공통적인 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0138] 10 항: 9 항에 있어서, 규칙적인 그리드는 직사각형 그리드, 예컨대 정사각형 그리드 또는 육각형 그리드를 포함하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0139] 11 항: 8 항 내지 10 항 중 어느 하나에 있어서, 변위들에 의해 보상되는 축외 수차들은 텔레센트리시티 오차에 의해 야기되는 왜곡을 포함하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0140] 12 항: 1 항 내지 11 항 중 어느 하나에 있어서, 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 구성되는 어퍼처들의 적어도 서브세트는 대물 렌즈 어레이의 1 이상의 평면 요소에 정의되는 어퍼처들이며, 바람직하게는 어퍼처들의 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0141] 13 항: 1 항 내지 12 항 중 어느 하나에 있어서, 평면 요소들은 대물 렌즈 어레이의 빔 상류에 위치되는 제어 렌즈 어레이를 더 포함하며, 제어 렌즈들은 서브-빔들을 사전-포커싱하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0142] 14 항: 13 항에 있어서, 평면 요소들은 제어 렌즈 어레이로부터 빔 상류에 상부 빔 리미터를 더 포함하며, 상부 빔 리미터는 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0143] 15 항: 13 항 또는 14 항에 있어서, 제어 렌즈 어레이에 정의된 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치들에 대해 변위되는 위치들에 제공되며, 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 어퍼처들의 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되며, 바람직하게는 공칭 위치들은 규칙적인 그리드 상에 있고, 바람직하게는 규칙적인 그리드는 복수의 평면 요소들에 공통적인 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0144] 16 항: 13 항 또는 14 항에 있어서, 제어 렌즈 어레이 및 상부 빔 리미터에 정의된 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치들에 대해 변위되는 위치들에 제공되며, 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 어퍼처들의 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0145] 17 항: 8 항 내지 16 항 중 어느 하나에 있어서, 변위들은 가장 강한 렌징 효과를 제공하는 평면 요소 내의 어퍼처들의 중심들을 통과하는 서브-빔 경로들이 빔 상류에서 대응하는 변위된 어퍼처들의 중심들을 통과하도록 선택되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0146] 18 항: 1 항 내지 17 항 중 어느 하나에 있어서, 평면 요소들은 대물 렌즈 어레이를 형성하는 적어도 하나의 평면 요소로부터 빔 하류에 빔 성형 리미터를 포함하며, 빔 성형 리미터는 빔-제한 어퍼처들의 어레이를 정의하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0147] 19 항: 18 항에 있어서, 빔 성형 리미터에 정의된 빔-제한 어퍼처들의 적어도 서브세트는 대물 렌즈 어레이를 형성하는 빔-상류 평면 요소들에서 어퍼처들의 각 중심 축들에 대해 변위되는 위치들에 제공되며, 바람직하게는

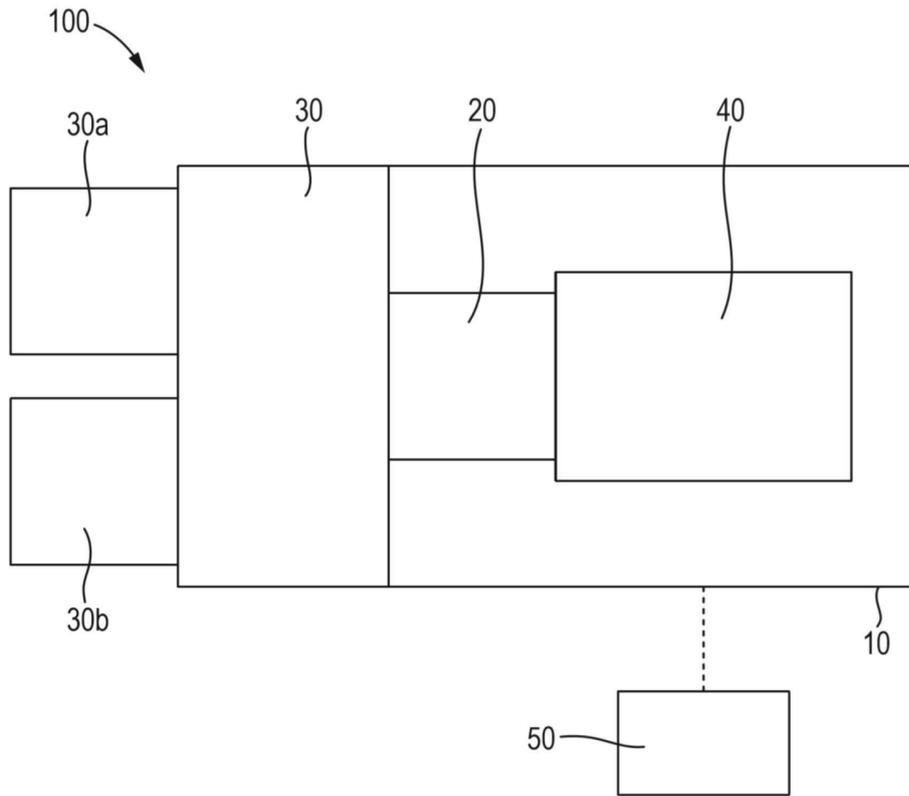
변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 어퍼처들의 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되는 대물 렌즈 어레이 조립체.

- [0148] 20 항: 19 항에 있어서, 변위들에 의해 보상되는 축외 수차들은 코마를 포함하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0149] 21 항: 1 항 내지 20 항 중 어느 하나에 있어서, 샘플로부터 방출되는 하전 입자들을 검출하도록 구성되는 검출기를 더 포함하며, 검출기의 적어도 일부는 바람직하게는 대물 렌즈 어레이에 인접 및/또는 통합되고, 바람직하게는 검출기는 조립체의 샘플을 향하는 표면을 제공하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0150] 22 항: 하전 입자 튜의 전자-광학 시스템을 위한 대물 렌즈 어레이 조립체로서,
- [0151] 샘플 상에 서브-빔들의 멀티-빔을 포커싱하도록 구성되고, 샘플을 향해 멀티-빔을 투영하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이를 포함하며,
- [0152] 멀티-빔의 서브-빔 경로들을 따라 정렬되는 복수의 어퍼처들을 정의하는 평면 요소들을 포함하고, 평면 요소들 중 1 이상에 정의된 어퍼처들의 어레이는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0153] 23 항: 1 항 내지 22 항 중 어느 하나에 있어서, 축외 수차들은 텔레센트리시티 오차, 필드 곡률, 비점수차 및 코마 중 적어도 하나를 포함하는 대물 렌즈 어레이 조립체.
- [0154] 24 항: 1 항 내지 23 항 중 어느 하나의 대물 렌즈 어레이 조립체를 포함하는 전자-광학 시스템.
- [0155] 25 항: 24 항에 있어서, 대물 렌즈 어레이 조립체의 빔 상류에 시준기를 더 포함하는 전자-광학 시스템.
- [0156] 26 항: 25 항에 있어서, 시준기는 빔에 거시적 시준을 적용하도록 구성되는 매크로 시준기를 포함하는 전자-광학 시스템.
- [0157] 27 항: 24 항 내지 26 항 중 어느 하나에 있어서, 대물 렌즈 어레이 조립체의 빔 상류에 집속 렌즈 어레이를 더 포함하며, 집속 렌즈 어레이는 바람직하게는 멀티-빔을 생성하도록 구성되는 전자-광학 시스템.
- [0158] 28 항: 27 항에 있어서, 집속 렌즈 어레이 내의 집속 렌즈들은 대물 렌즈 어레이 조립체에서 집속 렌즈 어레이와 각 대물 렌즈들 사이에 각 중간 포커스들을 형성하도록 구성되어, 바람직하게는 서브-빔 경로들이 집속 렌즈 어레이와 중간 포커스들 사이에서 서로에 대해 발산하도록 하는 전자-광학 시스템.
- [0159] 29 항: 27 항 또는 28 항에 있어서, 집속 렌즈 어레이는 대물 렌즈 어레이에서의 서브-빔들의 적어도 서브세트의 위치들을 서브-빔들의 공칭 위치들에 대해 변위시키도록 구성되며, 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보정하도록 선택되고, 바람직하게는 어퍼처들의 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되며, 바람직하게는 공칭 위치들은 규칙적인 그리드 상에 있고, 바람직하게는 규칙적인 그리드는 복수의 평면 요소들에 공통적인 전자-광학 시스템.
- [0160] 30 항: 29 항에 있어서, 서브-빔들의 변위들은 적어도 부분적으로 집속 렌즈들의 공칭 위치들에 대해 변위되는 집속 렌즈 어레이 내의 위치들에 각 집속 렌즈들을 제공함으로써 구현되는 전자-광학 시스템.
- [0161] 31 항: 29 항 또는 30 항에 있어서, 서브-빔들의 변위들을 적어도 부분적으로 구현하도록 구성되는 1 이상의 디플렉터를 더 포함하는 전자-광학 시스템.
- [0162] 32 항: 29 항 내지 31 항 중 어느 하나에 있어서, 변위들에 의해 보정되는 축외 수차들은 텔레센트리시티 오차에 의해 야기되는 왜곡을 포함하는 전자-광학 시스템.
- [0163] 33 항: 24 항 내지 32 항 중 어느 하나에 있어서, 대물 렌즈 어레이를 형성하는 평면 요소들 중 적어도 하나에 정의된 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치들에 대해 변위되는 위치들에 제공되며, 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되고, 바람직하게는 공칭 위치들은 규칙적인 그리드 상에 있으며, 바람직하게는 규칙적인 그리드는 복수의 평면 요소들에 공통적인 전자-광학 시스템.
- [0164] 34 항: 33 항에 있어서, 어퍼처들은 적어도 대물 렌즈 어레이에서 가장 강한 렌징 효과를 제공하도록 구성되는 평면 요소에서, 바람직하게는 여기에서만, 공칭 위치들에 대해 변위되는 전자-광학 시스템.
- [0165] 35 항: 33 항 또는 34 항에 있어서, 변위들에 의해 보상되는 축외 수차들은 코마를 포함하는 전자-광학 시스템.
- [0166] 36 항: 24 항 내지 35 항 중 어느 하나에 있어서, 멀티-빔이 평면 요소들에 정의된 어퍼처들의 중심에 위치한 서브세트만을 통과하도록 구성되는 전자-광학 시스템.

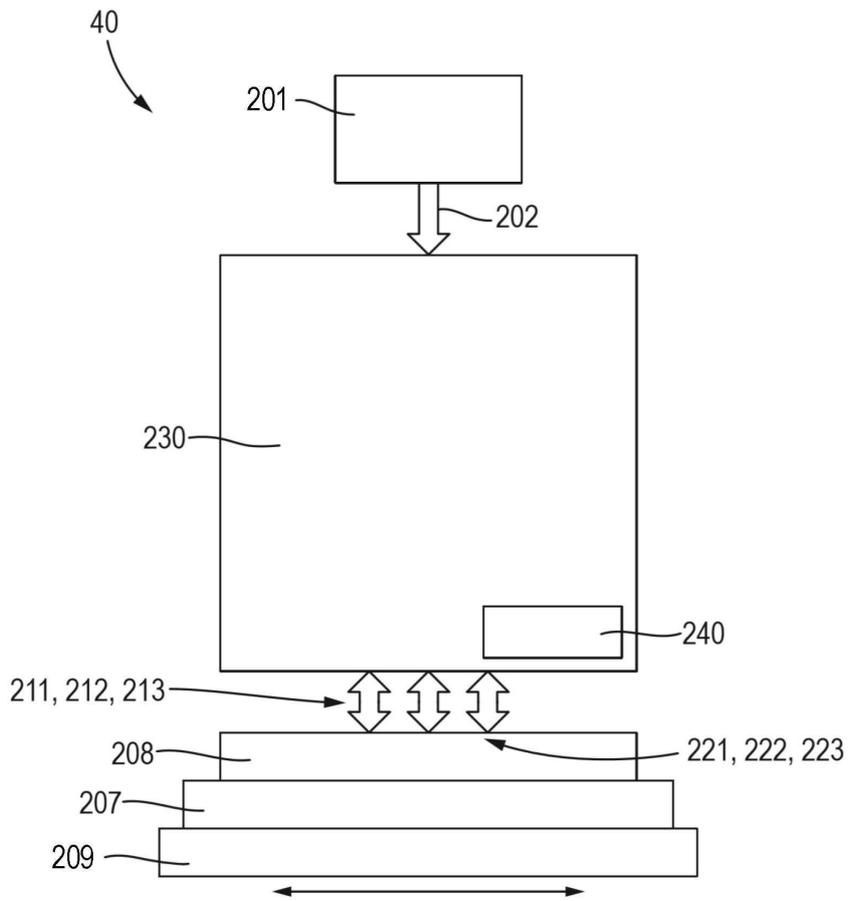
- [0167] 37 항: 24 항 내지 36 항 중 어느 하나에 있어서, 멀티-빔이 파생되는 하전 입자 빔을 제공하도록 구성되는 소스를 더 포함하는 전자-광학 시스템.
- [0168] 38 항: 전자-광학 시스템 어레이로서,
- [0169] 24 항 내지 37 항 중 어느 하나의 복수의 전자-광학 시스템들을 포함하며,
- [0170] 전자-광학 시스템들은 동일한 샘플의 상이한 구역들에 각 멀티-빔들을 동시에 포커싱하도록 구성되는 전자-광학 시스템 어레이.
- [0171] 39 항: 24 항 내지 37 항 중 어느 하나의 시스템 또는 38 항의 전자 광학 시스템 어레이를 포함하는 전자-광학 장치.
- [0172] 40 항: 39 항에 있어서, 멀티-빔이 파생되는 하전 입자 빔을 제공하도록 구성되는 소스, 또는 멀티-빔이 파생되는 각 시스템에 대한 하전 입자 빔을 제공하도록 구성되는 각각의 각 시스템에 대한 소스를 포함하는 전자-광학 장치.
- [0173] 41 항: 39 항 또는 40 항에 있어서, 샘플을 지지하도록 구성되는 스테이지를 포함하며, 바람직하게는 스테이지는 샘플을 지지하도록 구성되는 지지체를 포함하는 전자-광학 장치.
- [0174] 42 항: 샘플을 향해 하전 입자들의 멀티-빔을 포커싱하는 방법으로서,
- [0175] 1 항 내지 23 항 중 어느 하나의 대물 렌즈 어레이 조립체를 제공하는 단계; 및 대물 렌즈 어레이를 사용하여 샘플을 향해 서브-빔들을 투영하는 단계를 포함하는 방법.
- [0176] 43 항: 샘플을 향해 하전 입자들의 멀티-빔을 포커싱하는 방법으로서,
- [0177] 멀티-빔의 서브-빔 경로들을 따라 정렬되는 복수의 어퍼처들을 정의하고 샘플을 향해 멀티-빔을 투영하도록 구성되는 대물 렌즈 어레이를 포함하는 평면 요소들을 포함하는 대물 렌즈 어레이 조립체를 제공하는 단계; 및 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하기 위해 평면 요소들 중 1 이상에 정의된 어퍼처들을 사용하는 단계를 포함하는 방법.
- [0178] 44 항: 42 항 또는 43 항에 있어서, 대물 렌즈 어레이는 샘플을 향한 서브-빔들의 투영 동안 대물 렌즈 어레이에 적용되는 정전기장에 의해 왜곡되고, 왜곡은 적어도 부분적으로 멀티-빔에서의 필드 곡률을 보상하는 방법.
- [0179] 45 항: 44 항에 있어서, 왜곡은 멀티-빔에서의 필드 곡률의 대부분을 보상하는 방법.
- [0180] 46 항: 44 항 또는 45 항에 있어서, 대물 렌즈 어레이에 정의된 어퍼처들의 적어도 서브세트는 정전기장에 의한 대물 렌즈 어레이의 왜곡에 의해 야기되는 멀티-빔에서의 필드 곡률을 보상하기 위해 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 갖도록 배치되며, 바람직하게는 어퍼처들의 서브세트는 1 이상의 평면 요소, 바람직하게는 동일한 평면 요소에 정의되는 방법.
- [0181] 47 항: 42 항 내지 46 항 중 어느 하나에 있어서, 멀티-빔은 평면 요소들에 정의된 어퍼처들의 중심에 위치한 서브세트만을 통과하도록 구성되는 방법.
- [0182] 48 항: 샘플을 향해 하전 입자들의 멀티-빔을 포커싱하는 방법으로서,
- [0183] 대물 렌즈 어레이 조립체를 사용하여 샘플을 향해 멀티-빔을 투영하는 단계; 및 대물 렌즈 어레이 내에서 멀티-빔의 축외 수차들을 보상하는 단계를 포함하는 방법.
- [0184] 49 항: 43 항 또는 48 항에 있어서, 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상이한 어퍼처 영역들의 범위를 갖고, 상이한 어퍼처 영역들의 범위는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되며, 및/또는 어퍼처들의 적어도 서브세트는 상이한 타원율들의 범위를 갖고, 상이한 타원율들의 범위는 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되며, 및/또는 어퍼처들의 적어도 서브세트는 공칭 위치들에 대해 변위되고, 변위들은 멀티-빔에서의 축외 수차들을 보상하도록 선택되는 방법.

도면

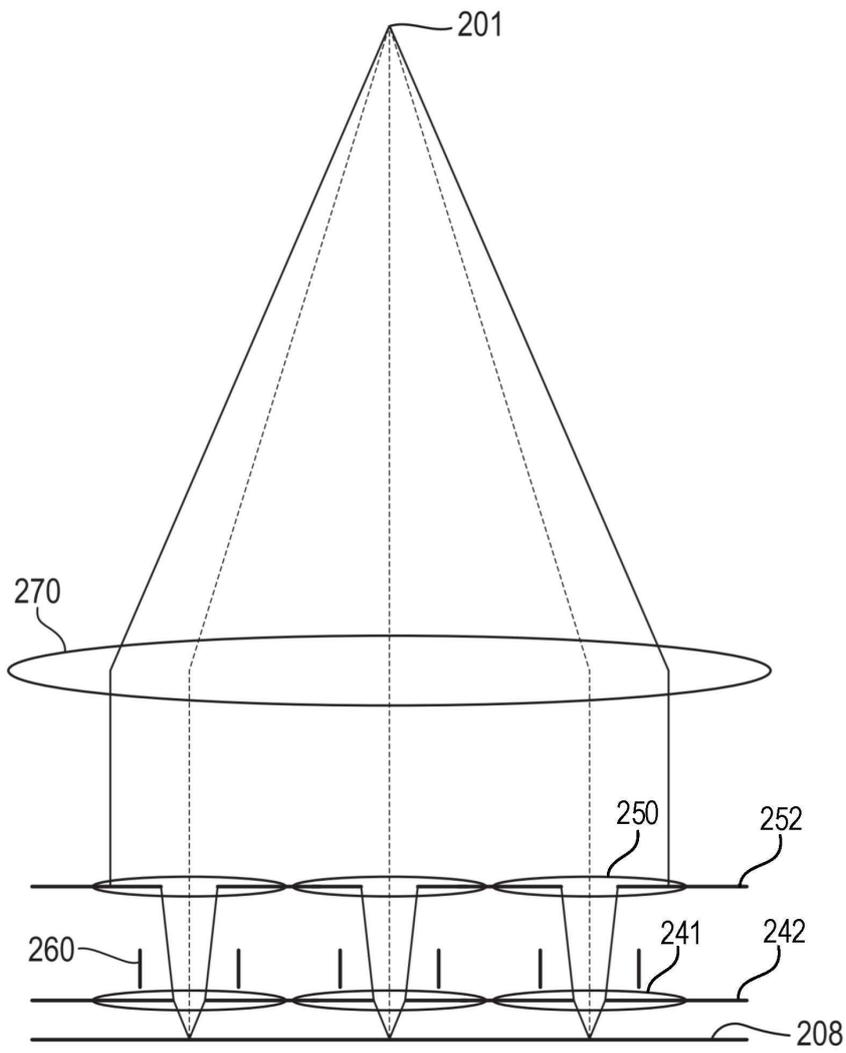
도면1



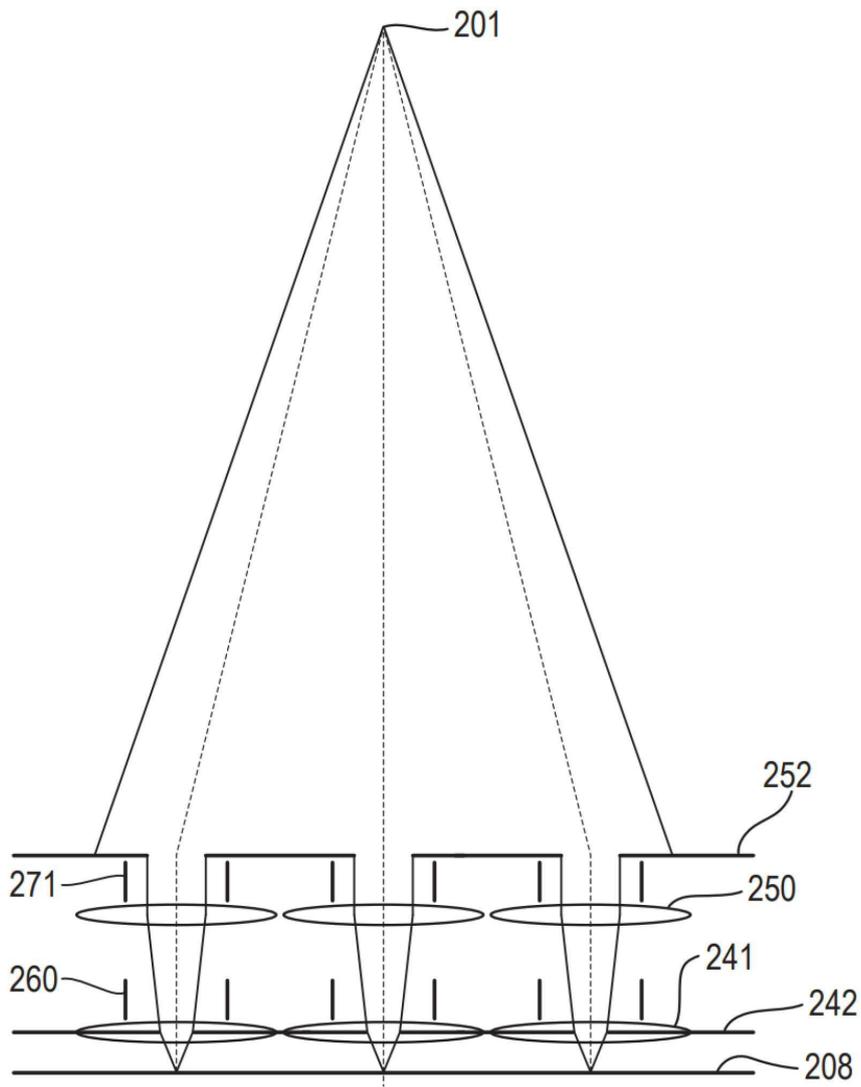
도면2



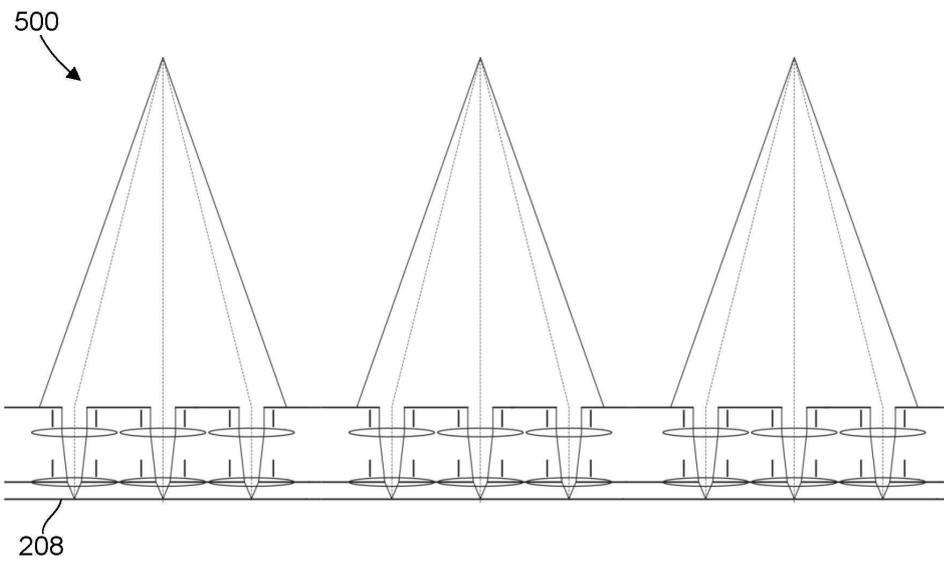
도면5



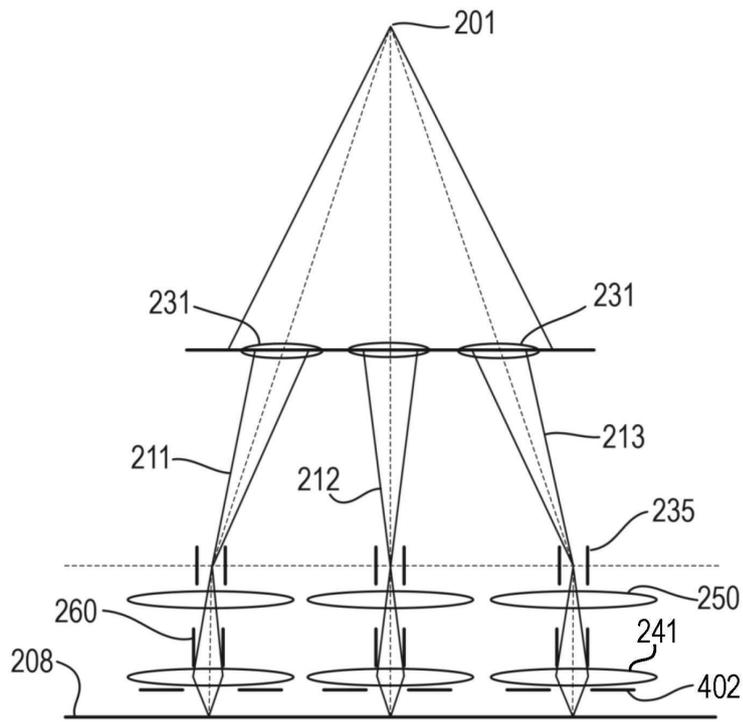
도면6



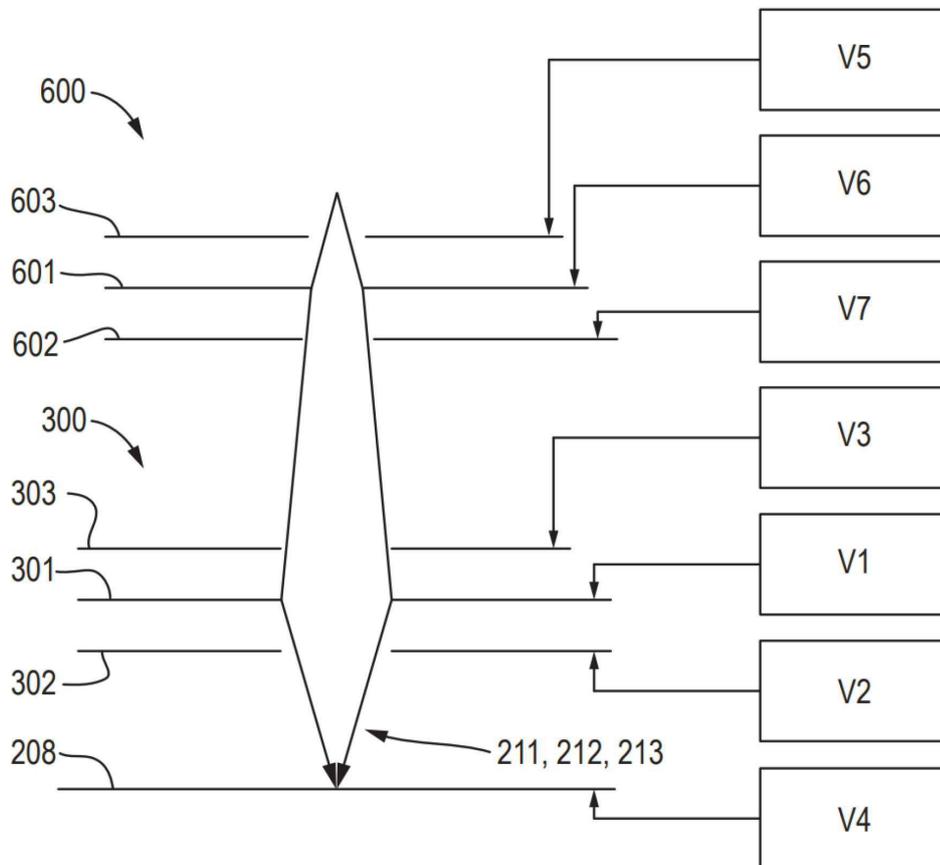
도면7



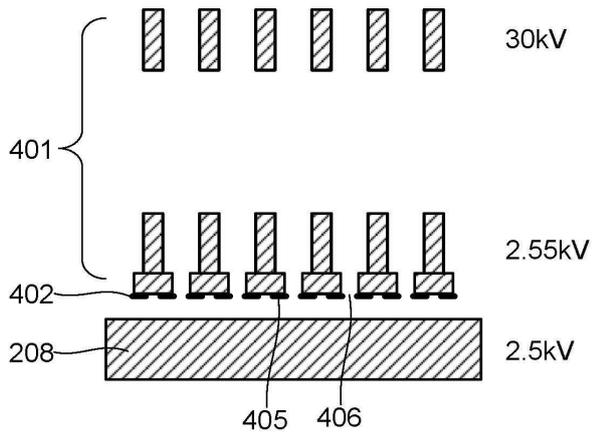
도면8



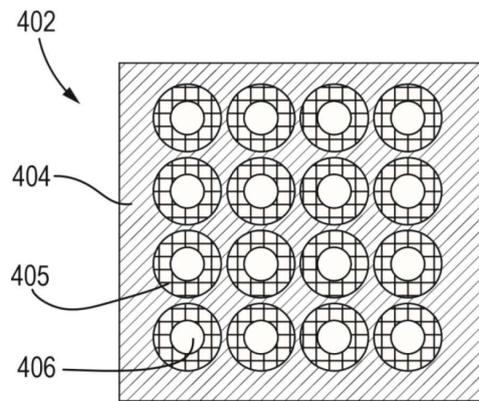
도면9



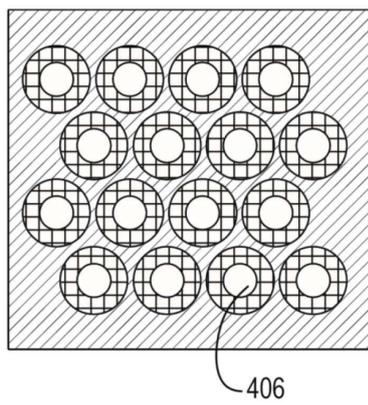
도면10



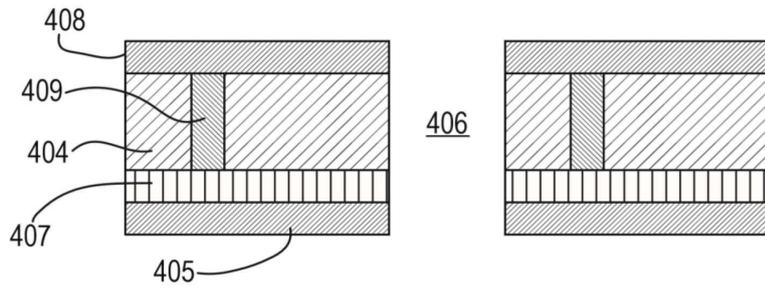
도면11



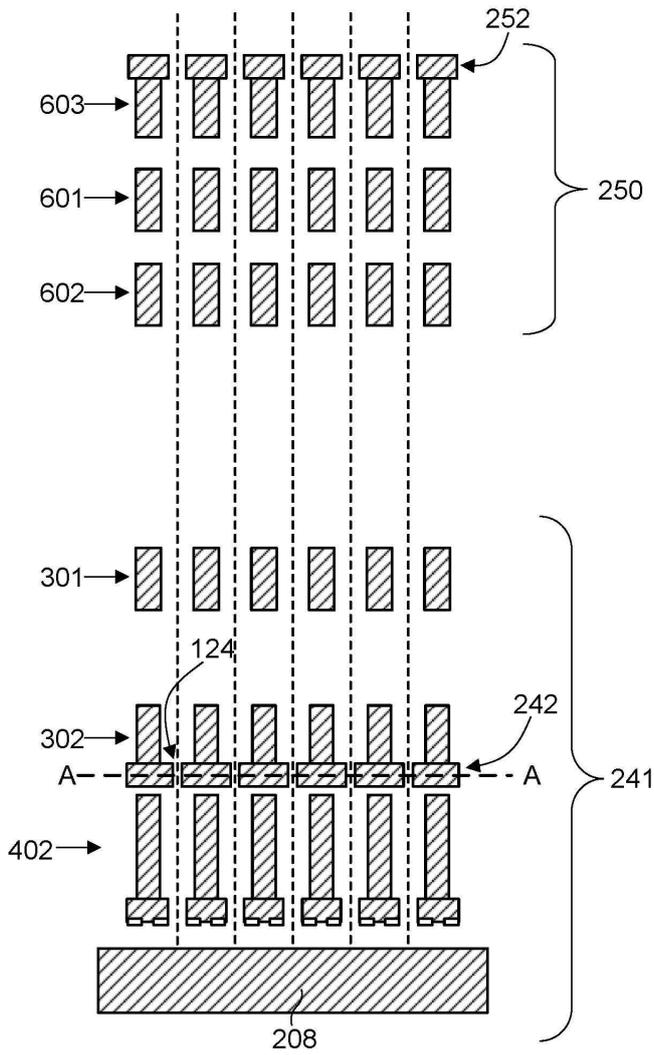
도면12



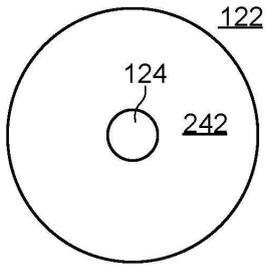
도면13



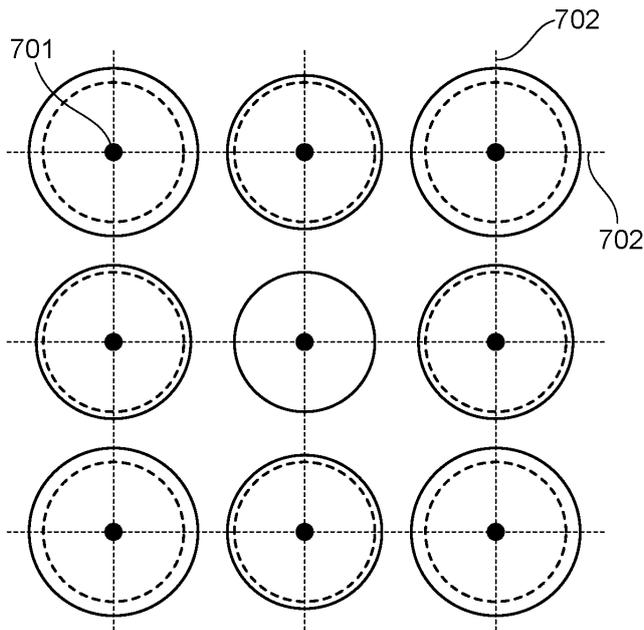
도면14



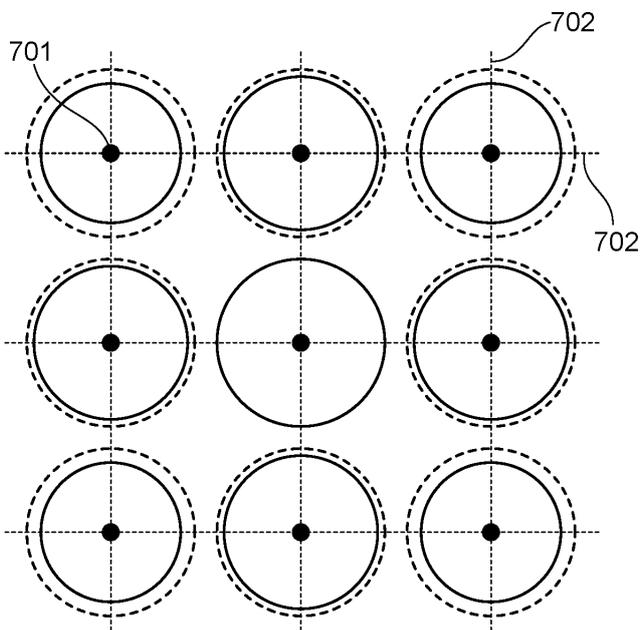
도면15



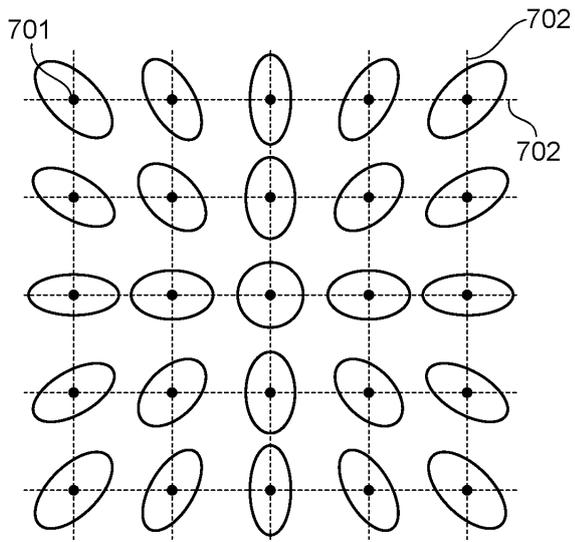
도면16



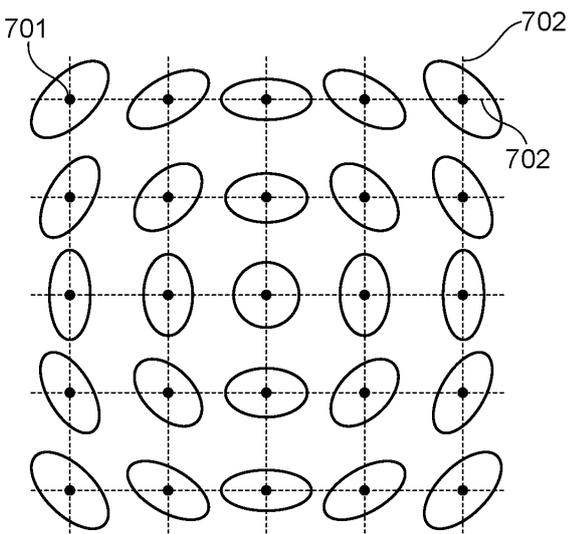
도면17



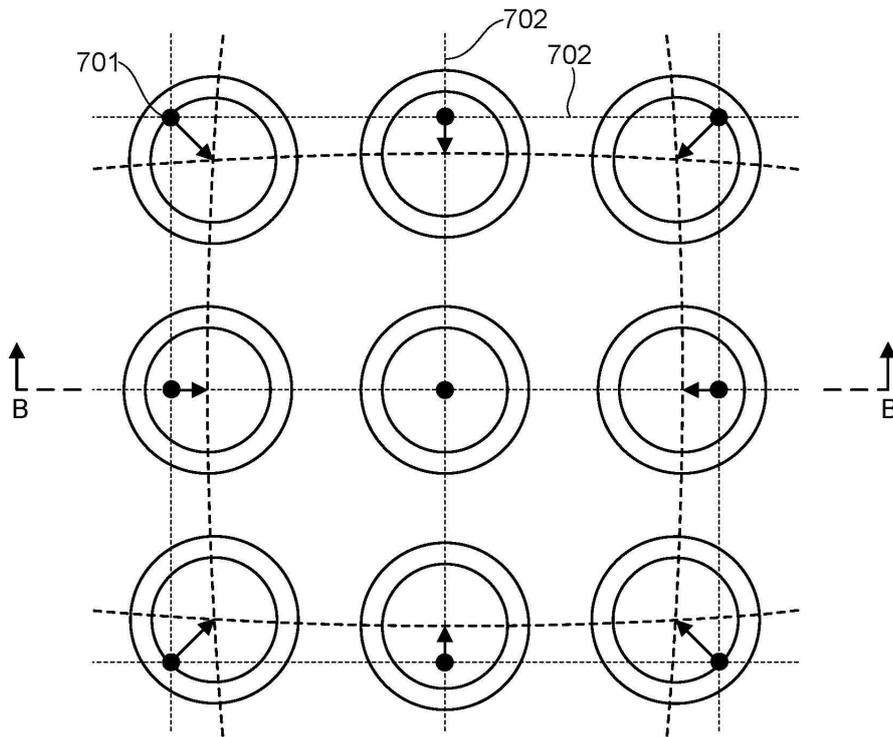
도면18



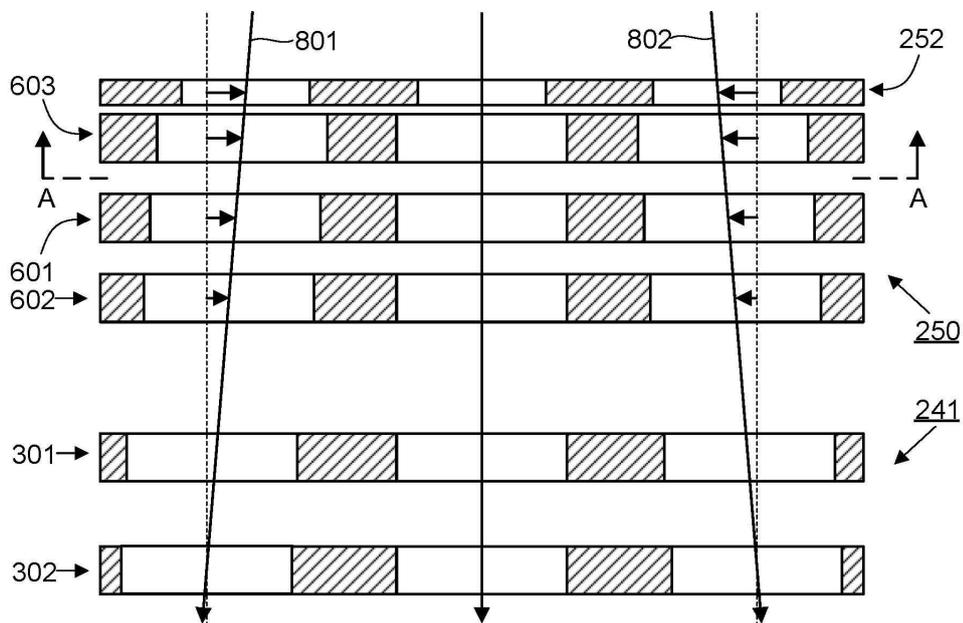
도면19



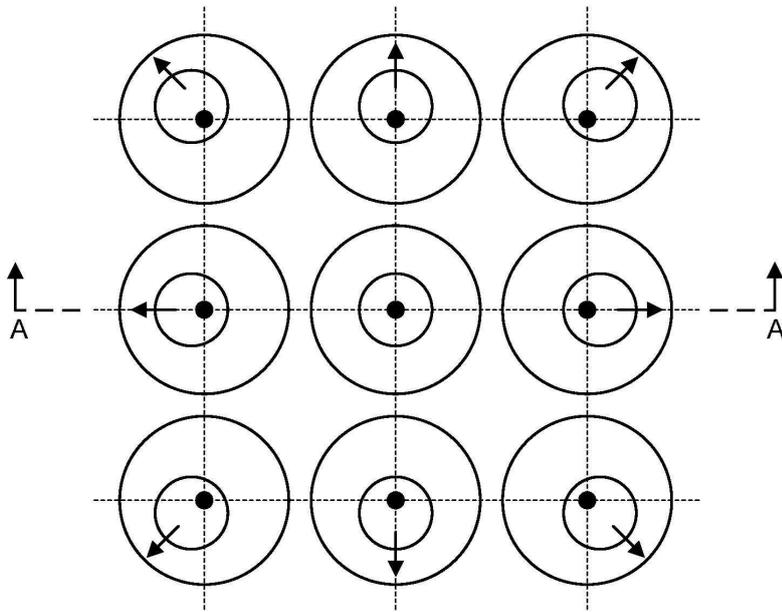
도면20



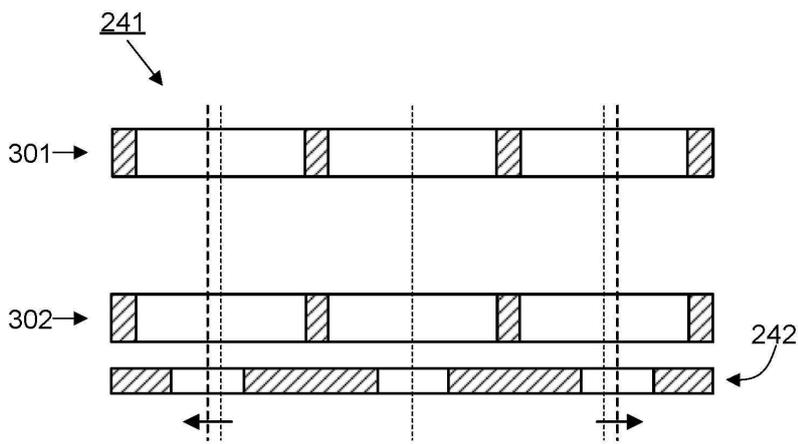
도면21



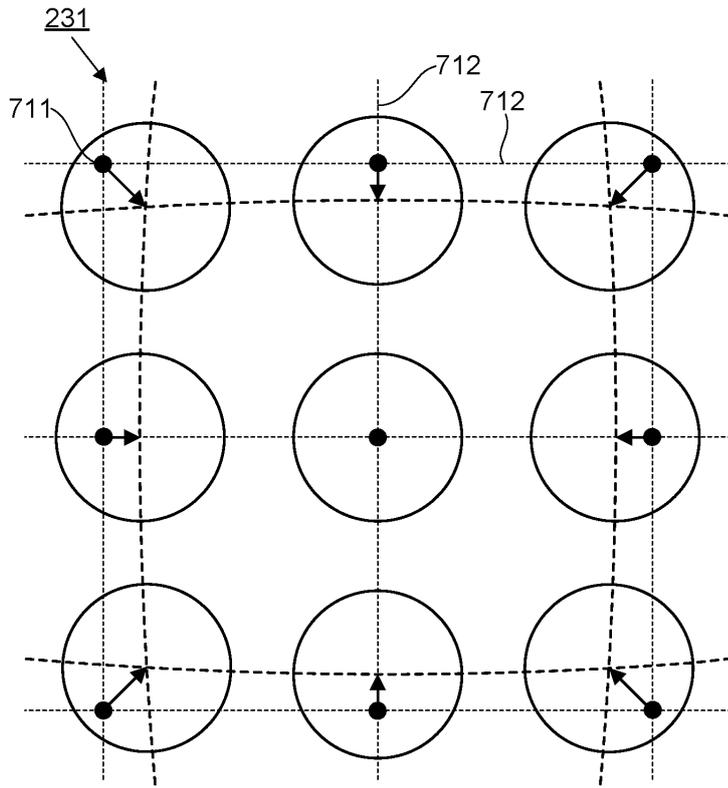
도면22



도면23



도면24



도면25

