



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0140585
(43) 공개일자 2015년12월16일

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/02 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
H01J 37/02 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2015-0079754</p> <p>(22) 출원일자 2015년06월05일
심사청구일자 없음</p> <p>(30) 우선권주장
10 2014 008 383.7 2014년06월06일 독일(DE)</p> | <p>(71) 출원인
칼 짜이스 마이크로스코피 게엠베하
독일 예나 칼-짜이스-프로메나테 10 (우: 07745)</p> <p>(72) 발명자
필러, 잉고
독일, 73433 아알렌, 아우구스트-마케-베그 3
벤게쎄, 니콜레
독일, 86738 다이닝겐, 라이파이센스트라쎄 6
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
한양특허법인</p> |
|---|---|

전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 입자 빔 시스템 및 입자 광학 유닛을 동작하는 방법

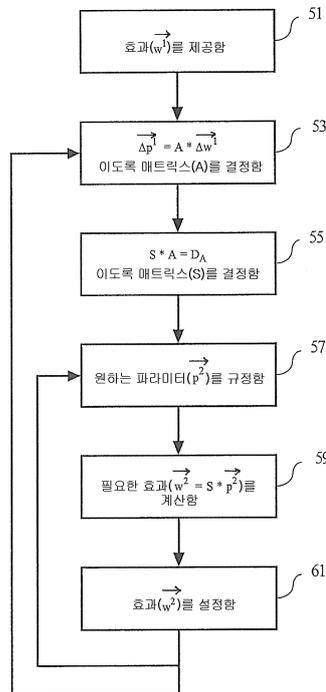
(57) 요약

본 발명은, 멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법으로서:

- (1) 입자-광학 구성요소의 효과의 제1 설정을 제공하는 단계 - 입자-광학 이미징이 적어도 두 개의 파라미터에 의해 특징지어짐 - ;

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



(2) 다음의 수학식이 유효하도록 매트릭스(A)를 결정하는 단계:

$$\overrightarrow{\Delta p^1} = A \cdot \overrightarrow{\Delta w^1}$$

이때, $\overrightarrow{\Delta w^1} = \overrightarrow{w^1} - \overrightarrow{w^1_{\text{init}}}$ 및 $\overrightarrow{\Delta p^1} = \overrightarrow{p^1} - \overrightarrow{p^1_{\text{init}}}$,

여기서, $\overrightarrow{\Delta w^1}$ 는, 제1 설정인 경우에 구성요소의 효과의 변화를 나타내며,

$\overrightarrow{\Delta p^1}$ 는, 제1 설정인 경우에 파라미터의 변화를 나타냄;

(3) 다음의 수학식이 유효하도록 매트릭스(S)를 결정하는 단계:

$$S \cdot A = D_A$$

여기서, D_A 는 대각 매트릭스임;

(4) 원하는 이미징을 특징화하는 파라미터의 값을 규정하는 단계;

(5) 상기 입자-광학 이미징이 규정된 값을 갖는 파라미터에 의해 특징지어지도록 구성요소의 효과의 제2 설정을 제공하는 단계로서, 상기 제2 설정에 필요한 효과가 다음의 수학식에 따라 결정되며:

$$\overrightarrow{\Delta p^2} = S \cdot \overrightarrow{\Delta w^2}$$

이때, $\overrightarrow{\Delta w^2} = \overrightarrow{w^2} - \overrightarrow{w^2_{\text{init}}}$ 및 $\overrightarrow{\Delta p^2} = \overrightarrow{p^2} - \overrightarrow{p^2_{\text{init}}}$,

여기서, $\overrightarrow{\Delta w^2}$ 는, 제2 설정인 경우에 구성요소의 효과를 나타내며,

$\overrightarrow{\Delta p^2}$ 는 파라미터의 규정된 값을 나타내는, 제2 설정 제공 단계를 포함하는, 방법에 관한 것이다.

(72) 발명자

리데셀, 크리스토프

독일, 73457 에싱겐, 모차르트베그 3/8

케멘, 토마스

독일, 73433 아알렌, 에켄네르훤헤 3

야코비, 외르그

독일, 73434 아알렌, 스타이너트가쎄 63

토마, 아르네

독일, 73431 아알렌, 란게르트스트라쎄 45

되링, 마르쿠스

독일, 69123 하이델베르그, 포르스트베그 3아

자이들러, 디르크

독일, 73447 오버코헨, 드라이켄탈스트라쎄 72

키나스트, 위르겐

독일, 07745 예나, 프리즈-루터-스트라쎄 19

베너, 게르트

독일, 73434 아알렌, 밀란베그 95

명세서

청구범위

청구항 1

멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법으로서, 상기 멀티-빔 입자 광학 유닛은 적어도 두 개의 입자-광학 구성요소를 가지며, 상기 입자-광학 구성요소를 통해 각 경우에 복수의 입자 빔이 통과하고, 상기 입자 빔에 대한 상기 입자-광학 구성요소의 효과는 설정 가능하며, 상기 방법은:

(1) 제1 평면이 상기 입자 빔의 입자에 의해 입자-광학적으로 제2 평면에 이미징되도록 상기 입자-광학 구성요소의 효과의 제1 설정을 제공하는 단계 - 상기 입자-광학 이미징은 적어도 두 개의 파라미터에 의해 특징지어짐 - ;

(2) 다음의 수학식이 유효하도록 매트릭스(A)를 결정하는 단계:

$$\overrightarrow{\Delta p^1} = A \cdot \overrightarrow{\Delta w^1}$$

이때, $\overrightarrow{\Delta w^1} = \overrightarrow{w^1} - \overrightarrow{w^1_{\text{init}}}$ 및 $\overrightarrow{\Delta p^1} = \overrightarrow{p^1} - \overrightarrow{p^1_{\text{init}}}$,

여기서, $\overrightarrow{w^1}$ 는 구성요소($w^1_1, w^1_2, \dots, w^1_n$)를 갖는 벡터이며, n은 입자-광학 구성요소의 개수이고, 구성요소(w^1_i) 각각은 상기 제1 설정인 경우에서의 상기 입자-광학 구성요소 중 하나의 효과의 값을 나타내고,

\overrightarrow{w} 는, 상기 제1 설정과는 상이한 설정인 경우에서의 상기 입자-광학 구성요소의 효과의 값을 나타내는 구성요소(w_1, w_2, \dots, w_n)를 갖는 벡터이며,

$\overrightarrow{p^1}$ 는 구성요소($p^1_1, p^1_2, \dots, p^1_m$)를 갖는 벡터이며, m은 상기 입자-광학 이미징을 특징화하는 파라미터

의 개수이고, 구성요소(p^1_i) 각각은 상기 제1 설정인 경우에 파라미터 중 하나의 값을 나타내며,

\overrightarrow{p} 은, 상기 제1 설정과는 상이한 설정인 경우에서의 상기 파라미터의 값을 나타내는 구성요소(p_1, p_2, \dots, p_m)를 갖는 벡터임;

(3) 다음의 수학식이 유효하도록 매트릭스(S)를 결정하는 단계:

$$S \cdot A = D_A$$

여기서, D_A 는 대각 매트릭스임;

(4) 원하는 입자-광학 이미징을 특징화하는 파라미터의 값을 규정하는 단계;

(5) 상기 입자-광학 이미징이 규정된 값을 갖는 상기 파라미터에 의해 특징지어지도록 상기 입자-광학 구성요소의 효과의 제2 설정을 제공하는 단계로서, 상기 제2 설정에 필요한 효과가 다음의 수학식에 따라 결정되며:

$$\overrightarrow{\Delta w^2} = S \cdot \overrightarrow{\Delta p^2}$$

이때, $\overrightarrow{\Delta w^2} = \overrightarrow{w^2} - \overrightarrow{w^1}$ 및 $\overrightarrow{\Delta p^2} = \overrightarrow{p^2} - \overrightarrow{p^1}$,

여기서, $\overrightarrow{w^2}$ 는, 상기 제2 설정인 경우에서의 상기 입자-광학 구성요소의 효과의 값을 나타내는 구성요소 $(w^2_1, w^2_2, \dots, w^2_n)$ 를 갖는 벡터이며,

$\overrightarrow{p^2}$ 는, 상기 파라미터의 규정된 값을 나타내는 구성요소 $(p^2_1, p^2_2, \dots, p^2_m)$ 를 갖는 벡터인, 제2 설정 제공 단계를 포함하는, 멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 입자-광학 이미징을 특징화하는 상기 적어도 두 개의 파라미터는, 이미징 스케일, 회전, 빔 경로의 수렴(convergence) 및 상기 제1 평면과 상기 제2 평면 사이의 상기 빔 경로를 따른 거리를 포함하는 파라미터 그룹으로부터 선택되는, 멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서, 상기 매트릭스(A)를 결정하는 단계는:

상기 벡터 $\overrightarrow{\Delta w^1}$ 의 구성요소 $(\Delta w^1_1, \Delta w^1_2, \dots, \Delta w^1_n)$ 중 단 하나가 0과 상이하도록 상기 제1 설정과 상이한 설정을 생성하는 단계, 상기 제1 설정과 상이한 상기 입자-광학 구성요소의 설정인 경우에 발생하는 상기 입자-광학 이미징을 분석하는 단계, 및 상기 입자-광학 이미징을 특징화하는 상기 파라미터를 결정하는 단계를 포함하는, 멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서, 상기 제1 설정과 상이한 설정을 생성하는 단계를 반복하는 단계를 더 포함하며, 상기 벡터 $\overrightarrow{\Delta w^1}$ 의 구성요소 $(\Delta w^1_1, \Delta w^1_2, \dots, \Delta w^1_n)$ 중 상이한 하나는 매번 0과는 상이한, 멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법.

청구항 5

청구항 1 내지 청구항 4 중 어느 한 항에 있어서, 상기 매트릭스(A)를 결정하는 단계는 상기 입자-광학 이미징을 수치적으로 시뮬레이션하는 단계를 포함하는, 멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법.

청구항 6

청구항 1 내지 청구항 5 중 어느 한 항에 있어서, 상기 적어도 두 개의 입자-광학 구성요소는 적어도 하나의 입자-광학 렌즈를 포함하며, 상기 입자-광학 렌즈의 설정 가능한 효과는 상기 입자-광학 렌즈의 집속 효과인, 멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법.

청구항 7

청구항 1 내지 청구항 6 중 어느 한 항에 있어서, 상기 적어도 두 개의 입자-광학 구성요소는 적어도 하나의 스티그메이터(stigmator)를 포함하며, 상기 설정 가능한 효과는 상기 스티그메이터의 비점수차 효과인, 멀티-빔 입자 광학 유닛을 동작하는 방법.

청구항 8

복수의 제1 입자 빔의 제1 필드를 생성하기 위해 구성되는 멀티-빔 소스;

상기 제1 입자 빔을 오브젝트 상에 보내기 위해 구성되는 제1 입자 광학 유닛; 및
제어기를 포함하며;

상기 제1 입자 광학 유닛은, 상기 제1 입자 광학 유닛의 빔 경로에 배치된 적어도 두 개의 입자-광학 렌즈를 포함하며;

상기 제어기는, 제1 평면이 상기 제1 입자 빔의 입자에 의해 제2 평면 상에 입자-광학적으로 이미징되며 상기 제2 평면이 오브젝트 평면과 일치하여, 상기 제1 입자 빔이 제2 필드를 형성하는 충돌 위치에서 상기 오브젝트 상에 충돌하도록, 상기 제1 입자 빔에 대한 상기 제1 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈 각각의 효과를 설정하기 위해 구성되는, 입자 빔 시스템.

청구항 9

청구항 8에 있어서, 상기 멀티-빔 소스는, 상기 제1 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈에 대해 고정되게 배치되며, 상기 제1 입자 빔은, 서로 간에 고정된 거리를 갖는 위치에서 상기 제1 필드 내에 위치하며,

상기 제어기는, 상기 제1 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써, 상기 제2 필드 내에서 상기 충돌 위치 사이의 거리를 변화시키기 위해 또한 구성되는, 입자 빔 시스템.

청구항 10

청구항 9에 있어서, 상기 제어기는, 상기 제1 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써, 상기 입자-광학 렌즈에 대한 상기 충돌 위치의 상기 제2 필드의 배향을 변화시키기 위해 또한 구성되는, 입자 빔 시스템.

청구항 11

청구항 10에 있어서, 상기 제어기는, 프로세스에서 상기 입자-광학 렌즈에 대한 충돌 위치의 상기 제2 필드의 배향을 변화시키지 않고도, 상기 제1 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써, 상기 제2 필드 내의 상기 충돌 위치 사이의 거리를 변화시키기 위해 또한 구성되는, 입자 빔 시스템.

청구항 12

청구항 10 또는 청구항 11에 있어서, 상기 제어기는, 프로세스에서 상기 제2 필드 내의 상기 충돌 위치 사이의 상기 거리를 변화시키지 않고도, 상기 제1 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써, 상기 입자-광학 렌즈에 대한 상기 충돌 위치의 상기 제2 필드의 배향을 변화시키기 위해 또한 구성되는, 입자 빔 시스템.

청구항 13

청구항 8 내지 청구항 12 중 어느 한 항에 있어서,

제3 필드에 배치된 복수의 검출 영역을 갖는 검출기;

상기 오브젝트에서의 충돌 위치의 상기 제2 필드에서의 상기 충돌 위치로부터 유래한 제2 입자 빔을 검출 영역의 상기 제3 필드 상에 보내기 위해 구성되는 제2 입자 광학 유닛을 더 포함하며;

상기 제2 입자 광학 유닛은, 상기 제2 입자 광학 유닛의 빔 경로에 배치된 적어도 두 개의 입자-광학 렌즈를 가지며;

상기 제어기는, 제3 평면이 상기 제2 입자 빔의 입자에 의해 입자-광학적으로 제4 평면 상에 이미징되도록, 상기 제2 입자 빔에 대한 상기 제2 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈 각각의 효과를 설정하기 위해 구성되며, 상기 제3 평면은 상기 오브젝트에 위치하며, 상기 제4 평면은 검출 영역의 상기 제3 필드에 위치하여, 상기 제2 입자 빔 각각은 상기 제3 필드에 배치된 상기 검출 영역 중 적어도 하나 상에 충돌하며, 상호 상이한 제2 입자 빔은 상호 상이한 검출 영역 상에 충돌하는, 입자 빔 시스템.

청구항 14

청구항 13에 있어서, 상기 검출 영역은, 상기 제2 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈에 대해 고정되게 배치되며, 상기 검출 영역은, 서로로부터 고정된 거리에서 상기 제3 필드 내에 배치되고,

상기 제어기는, 상기 제2 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써 상기 제2 필드 내의 상기 충돌 위치 사이의 거리에서의 변화를 보상하기 위해 또한 구성되어, 상기 제2 필드 내의 상기 충돌 위치 사이의 거리에 변화가 있는 경우에, 상기 제2 입자 빔 각각은, 상기 제3 필드에 배치된 상기 검출 영역 중 적어도 하나 상에 충돌하며, 상호 상이한 제2 입자 빔은 상호 상이한 검출 영역 상에 충돌하는, 입자 빔 시스템.

청구항 15

청구항 13 또는 청구항 14에 있어서, 상기 제어기는, 상기 제2 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써 상기 제2 입자 광학 유닛의 상기 입자-광학 렌즈에 대한 충돌 위치의 상기 제2 필드의 배향에서의 변화를 보상하기 위해 또한 구성되어, 충돌 위치의 상기 제2 필드의 배향에 변화가 있는 경우에, 상기 제2 입자 빔 각각은, 상기 제3 필드에 배치된 상기 검출 영역 중 적어도 하나 상에 충돌하며, 상호 상이한 제2 입자 빔은 상호 상이한 검출 영역 상에 충돌하는, 입자 빔 시스템.

청구항 16

청구항 13 내지 청구항 15 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 입자 광학 유닛의 상기 적어도 두 개의 입자-광학 렌즈 중 하나의 입자-광학 렌즈는 상기 제2 입자 광학 유닛의 상기 적어도 두 개의 입자-광학 렌즈 중 하나인, 입자 빔 시스템.

청구항 17

청구항 13 내지 청구항 16 중 어느 한 항에 있어서, 입자-광학 스위치가 상기 제1 입자 광학 유닛의 빔 경로와 상기 제2 입자 광학 유닛의 빔 경로에 배치되는, 입자 빔 시스템.

청구항 18

청구항 13 내지 청구항 17 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제2 입자 광학 유닛은 청구항 1 내지 청구항 7 중 어느 한 항에 기재된 방법에 의해 동작하는, 입자 빔 시스템.

청구항 19

청구항 8 내지 청구항 18 중 어느 한 항에 있어서, 상기 제1 입자 광학 유닛은 청구항 1 내지 청구항 7 중 어느 한 항에 기재된 방법에 의해 동작하는, 입자 빔 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 입자 빔 시스템 및 입자 광학 유닛을 동작하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 입자 빔 시스템은 입자 광학 유닛을 사용하여 원하는 방식으로 대전된 입자의 빔에 영향을 미쳐서, 예컨대 대전된 입자의 빔으로 광학 이미징을 얻게 할 수 있다. 대전된 입자는 예컨대 전자나 이온일 수 있으며, 입자 빔 시스템은 예컨대 현미경이나 리소그래피 장치로서 사용될 수 있다.

[0003] 입자 광학 유닛은 보통 복수의 입자-광학 구성요소를 가지며, 각 구성요소는 각각의 입자-광학 구성요소를 통과하는 입자 빔에 영향을 미친다. 예를 들어, 입자-광학 구성요소는, 입자 빔에 집속 효과를 갖는 입자-광학 렌즈일 수 있거나, 대전-광학 구성요소는, 입자 빔을 일정 각도만큼 편향시키는 빔 편향기일 수 있다. 이를 위해, 입자-광학 구성요소는, 입자 빔의 대전된 입자에 작용하는 전계 및/또는 자계를 제공하며, 이들 효과의 값이나 세기는 예컨대 전계를 제공하는 요소에 적용되는 전압을 변화시킴으로써 또는 자계를 생성하는 코일에 공급되는 전류를 변화시킴으로써 변화되는 전계 및/또는 자계의 세기에 의해 설정할 수 있다.

[0004] 입자 광학 유닛의 경우에, 각각의 입자-광학 구성요소의 효과는, 입자 광학 유닛이 전체로서 예컨대 한 평면의

다른 평면으로의 입자-광학 이미징과 같은 원하는 효과를 제공하도록 설정되어야 한다. 입자 광학 유닛의 입자-광학 구성요소의 효과를 정확히 설정하는 것은 종종 실제로는 어려우며, 이는 복수의 입자-광학 구성요소가 복잡하게 상호작용하기 때문이다.

[0005]

입자-광학 이미징을 제공하는 입자 광학 유닛의 경우에, 이미징의 이미징 스케일을 변화시키는 것이 바람직할 수 있다. 이러한 구성은 입자-광학 렌즈 중 하나의 집속 효과를 변화시킴으로써 달성할 수 있다. 그러나 이것은 이 경우에 보통은 서로에게로 이미징되는 두 개의 평면 사이의 거리가 변화하여 이미징 스케일에서의 변화 외에 디포커싱이 또한 발생한다는 효과를 또한 갖는다. 이를 피하기 위해, 다른 입자-광학 구성요소의 효과는 이 경우에 또한 변화되어야 한다. 서로에게 이미징되는 평면 사이의 거리와 이미징 스케일 외에, 상세하게는 광범위한 영역이 서로에게로 입자-광학적으로 이미징되는 입자 빔 시스템의 경우에, 빔 경로의 수렴 및 회전이 원하는 값으로 설정되어야 하는 파라미터이다. 광범위한 영역이 서로에게로 입자-광학적으로 이미징되는 입자 빔 시스템의 예는 다수의 평행 입자 빔으로 동작하는 리소그래피 장치 및 전자 현미경이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006]

본 발명의 목적은, 입자 광학 유닛 전체가 원하는 효과를 갖는 방식으로 입자-광학 구성요소의 효과를 설정하는 프로세스를 용이하게 하는 입자 광학 유닛 동작 방법을 제공하는 것이다. 더 나아가, 본 발명의 목적은, 이미징 스케일, 빔 경로의 수렴 및 회전이 이미징의 파라미터로서 설정 가능한, 이미징을 생성하기 위해 다수의 입자 빔을 사용하는 입자 빔 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007]

본 발명의 실시예는 적어도 두 개, 상세하게는 세 개 또는 네 개의 입자-광학 구성요소를 갖는 입자 광학 유닛을 동작하는 방법을 제공하며, 입자-광학 구성요소를 통해 적어도 하나의 입자 빔이 통과하며, 입자 빔에 대한 입자-광학 구성요소 각각의 효과는 설정 가능하다. 이 방법은, 입자 빔의 입자에 의해 제1 평면이 제2 평면에 입자-광학적으로 이미징되도록 입자-광학 구성요소의 효과의 제1 설정을 제공하는 단계를 포함하며, 입자-광학 이미징은, 적어도 두 개, 상세하게는 세 개 또는 네 개의 파라미터로 특징지을 수 있다. 파라미터는 예컨대 이미징 스케일, 회전, 빔 경로의 수렴 및 제1 평면과 제2 평면 사이의 빔 경로를 따른 거리를 포함할 수 있다. 이미징 스케일은 제1 평면에서 이미징될 오브젝트의 크기와 제2 평면에서의 이 오브젝트의 크기 사이의 비를 특징화한다. 회전은 입자 광학 유닛의 광학 축을 중심으로 한 제2 평면에 이미징되는 오브젝트의 이미지의 배향을 특징화하며, 이는 상세하게는 회전 대칭 자계에 의해 그 효과를 제공하는 입자-광학 구성요소가 그러한 배향으로 변화를 초래하기 때문이다. 빔 경로의 수렴은, 광학적 효과를 제공하는 입자 빔의 주광선이 제2 평면 상에 충돌하는 각도를 특징화한다. 종종, 입자 빔의 주광선이 제1 평면과 제2 평면을 평면에서의 측방향 위치와 독립적으로 통과하는 소위 텔레센트릭 이미징을 제공하는 것이 바람직하다. 제1 평면과 제2 평면 사이의 거리는, 예컨대 오브젝트의 표면이 제2 평면과 일치하여 제1 평면이 오브젝트의 표면 상에 선명하게 이미징되기 위해, 입자 광학 유닛에 대해 오브젝트가 배치되는 동작 거리를 특징화한다.

[0008]

입자-광학 구성요소의 효과의 제1 설정을 제공하는 프로세스 이후, 입자 광학 유닛은 그에 따라 이미징 입자 광학 유닛으로서 설정된다. 방법은 이 경우 더 나아가 예컨대 코일을 통한 진류나 진극에서의 전압의 변화 및 예컨대 이미징 스케일이나 수렴과 같은 입자-광학 이미징을 특징화하는 파라미터에서의 변화를 고려한, 입자-광학 구성요소의 효과의 변화 사이의 관계를 기재하는 선형 또는 비선형 수학적 매핑을 결정하는 단계를 포함한다. 실시예에 따라서, 그러한 관계는, 선형인 경우에, 다음의 수학적식이 유효하도록, 매트릭스(A)에 의해 기재할 수 있다.

[0009]

$$\overrightarrow{\Delta p} = A \cdot \overrightarrow{\Delta w}$$

[0010]

이때, $\overrightarrow{\Delta w} = \overrightarrow{w} - \overrightarrow{w_{\text{old}}}$ $\overrightarrow{\Delta p} = \overrightarrow{p} - \overrightarrow{p}$

[0011]

여기서, \overrightarrow{w} 는 구성요소(w_1, w_2, \dots, w_n)를 갖는 벡터이며, n은 입자-광학 구성요소의 개수이고,

구성요소(w_i^1) 각각은 제1 설정인 경우에서의 입자-광학 구성요소 중 하나의 효과의 값을 나타내며; w 는 구성요소(w_1, w_2, \dots, w_n)를 갖는 벡터이며, 이들 구성요소는 제1 설정과는 상이한 설정인 경우에서의 입자-광학 구성요소의 효과의 값을 나타내며; P 는 구성요소($P_1^1, P_2^1, \dots, P_m^1$)를 갖는 벡터이며, m 은 입자-광학 이미징을 특징화하는 파라미터의 개수이고, 구성요소(P_i^1) 각각은 제1 설정인 경우에 파라미터 중 하나의 값을 나타내고; P 은 구성요소(p_1, p_2, \dots, p_m)를 갖는 벡터이며, 이들 구성요소는 제1 설정과는 상이한 설정인 경우의 파라미터의 값을 나타낸다.

[0012] 실시예에 따르면, 매트릭스(A)는 실험으로 결정할 수 있다. 예를 들어, 입자-광학 구성요소의 효과의 제1 설정으로부터 진행하여, 개별 효과는 변경될 수 있으며, 입자-광학 이미징을 특징화하는 파라미터의 결과적인 변화는 예컨대 측정에 의해 결정할 수 있다.

[0013] 매트릭스(A)의 $m \times n$ 엔트리를 결정하기 위해 $m \times n$ 측정을 실행할 수 있다: m 개의 파라미터의 경우에, n 개의 입자-광학 구성요소가 변경되며, 관련 파라미터에 대한 구성요소의 각각의 변화의 영향은 각 경우에 결정한다. 이러한 구성은 파라미터 모두에 대해 실행된다. 각각의 파라미터에 대해, 이것은, 입자-광학 구성요소의 개수와 같은 수학식의 개수를 초래한다. 이 경우에, 입자-광학 구성요소의 변화는, 수학식의 선형적으로 독립적인 시스템이 발생하도록 실현되어야 한다. 모든 파라미터에 대한 수학식으로부터, 매트릭스(A)의 구성요소 모두는 이러한 식으로 발생한다. 수학적으로 표현하면, 매트릭스(A)의 m 개의 행 벡터($a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}(i=1, \dots, m)$) 각각에 대한 n 개의 측정 각각에서, 행 벡터($a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}(i=1, \dots, m)$)의 요소에 대해 풀 수 있는 다수의 n 개의 수학식이 발생한다. 즉, 매트릭스(A)의 매트릭스 요소 모두는 $m \times n$ 측정으로 결정할 수 있다. m 이 n 과 같지 않은 경우에, 수학식의 과도하게 또는 불충분하게 결정된 시스템이 발생한다. 그러나 이것은 그 다음 단계에서 이 방법의 임의의 제약을 초래하지는 않는다.

[0014] 예를 들어, 가장 간단한 경우에, 매트릭스(A)를 결정하는 단계는 벡터(Δw^1)의 구성요소($\Delta w_1, \Delta w_2, \dots, \Delta w_n$) 중 하나만이 0과는 상이하도록 제1 설정과 상이한 설정을 생성하는 단계를 포함할 수 있으며, 제1 설정과 상이한 입자-광학 구성요소의 설정인 경우에 발생하는 입자-광학 이미징은 분석되어 그러한 입자-광학 이미징을 특징화하는 파라미터가 결정된다. 대응하는 행 벡터에 대한 수학식의 시스템은 대각선 시스템으로 감소한다.

[0015] 본 명세서의 실시예에 따르면, 매트릭스(A)를 결정하는 단계는 더 나아가 제1 설정과는 상이한 설정을 생성하는 프로세스를 반복하는 것을 포함하며, 매번 벡터(Δw^1)의 구성요소($\Delta w_1, \Delta w_2, \dots, \Delta w_n$) 중 정확히 하나의 상이한 구성요소가 0과 상이하지만, 동시에 벡터(Δw^1)의 모든 다른 구성요소는 0이다. 그러나 벡터(Δw^1)의 둘 이상의 구성요소가 0과 상이할 수도 있다. 마지막 구성은 앞서 기재한 일반적인 경우에 대응한다.

[0016] 추가 실시예에 따르면, 매트릭스(A)를 결정하는 단계는 입자-광학 이미징을 수치적으로 시뮬레이션하는 단계를 포함하여, 입자-광학 구성요소의 효과에 변화가 있을 때에 야기되는 이미징을 특징화하는 파라미터의 변화가 수치적 시뮬레이션을 기초로 하여 결정된다.

[0017] 입자-광학 구성요소는 입자-광학 렌즈 - 그러한 렌즈의 설정 가능한 효과는 집속 효과임 -, 스티그메이터 (stigmatator) - 그러한 스티그메이터의 설정 가능한 효과는 비점수차 효과임 -, 다른 입자 광학 구성요소 및 이

들의 조합을 포함할 수 있다.

- [0018] 실시예에 따르면, 부분 빔 시스템은, 복수의 제1 입자 빔의 제1 필드를 생성하기 위해 구성된 멀티-빔 소스; 제1 입자 빔을 오브젝트 상에 보내기 위해 구성된 제1 입자 광학 유닛; 및 제어기를 포함하며; 제1 입자 광학 유닛은, 제1 입자 광학 유닛의 빔 경로에 배치된 적어도 두 개, 상세하게는 세 개 또는 네 개의 입자-광학 렌즈를 포함하며; 제어기는, 제1 입자 빔의 입자에 의해 제1 평면이 제2 평면 상에 입자-광학적으로 이미징되며 제2 평면이 오브젝트 평면과 일치하여, 제2 필드에 위치한 충돌 위치에서 제1 입자 빔이 오브젝트 상에 충돌하도록, 제1 입자 빔에 대한 제1 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈 각각의 효과를 설정하기 위해 구성된다.
- [0019] 입자 빔 시스템에 사용된 제1 입자 광학 유닛은 첫째, 제1 평면과 제2 평면 사이의 거리가 설정 가능하여, 예컨대 제1 평면이 제1 입자 광학 유닛에 대해 고정되어 위치하며 오브젝트가 제1 평면으로부터 주어진 거리에 배치된다면, 제2 평면이 오브젝트에 위치하며 예컨대 오브젝트의 표면과 일치하도록 설정되는 방식으로 설정을 허용한다. 제1 입자 광학 유닛은 둘째, 입자-광학 이미징을 특장화하며 원하는 값으로 설정되는 추가 파라미터를 허용한다. 그러한 파라미터는 상세하게는 이미징 스케일, 회전 및 빔 경로의 수렴을 포함하며, 이들 파라미터는 상세하게는 서로 독립적으로 설정 가능하다. 이것이 의미하는 점은, 예컨대, 이미징 스케일이 빔 경로의 수렴 및 회전이 변화하지 않고도 변화 가능하거나, 회전이 이미징 스케일과 빔 경로의 수렴이 변화하지 않고도 변화 가능하다는 점이다.
- [0020] 실시예에 따르면, 멀티-빔 소스는, 생성된 빔이 서로로부터 거리를 두고 배치되며 제1 평면에서의 제1 필드를 규정하는 위치에서 제1 평면을 통과하도록 구성된다. 이들 위치는 각 경우에 서로로부터 동일한 거리에서 필드에 위치할 수 있다. 더 나아가, 위치는 직사각형 격자나 육각형 격자를 형성할 수 있다. 상세하게는, 그러한 위치 사이의 거리가 고정될 수 있다, 즉 변화 불가능하다. 제1 평면에서의 이들 위치는 입자 빔에 의해, 입자 빔이 제2 평면을 통과하거나 오브젝트 상에 충돌하는 오브젝트에서나 제2 평면에서의 위치 상으로 이미징된다. 제2 평면에서나 오브젝트 상에서, 이들 위치는 제2 필드를 형성하며, 이러한 필드는 입자-광학적으로 제1 필드에 대응하며, 제2 필드에서의 위치 사이의 거리는 입자-광학 이미징의 이미징 스케일에 의존한다. 실시예에 따르면, 제어기는, 제1 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써 이미징 스케일을 변화시키며 그에 따라 제2 필드 내에서 충돌 위치 사이의 거리를 변화시키기 위해 구성된다.
- [0021] 제2 평면에서나 오브젝트 상의 제2 필드의 배향은 입자-광학 이미징의 회전에 의존한다. 실시예에 따르면, 제어기는 더 나아가, 제1 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써, 충돌 위치의 제2 필드의 입자-광학 렌즈에 대한 회전 및 그에 따른 배향을 변화시키기 위해 구성된다.
- [0022] 제어기는 더 나아가, 프로세스에서 입자-광학 렌즈에 대한 충돌 위치의 제2 필드의 배향을 변화시키지 않고 제1 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써 제2 필드 내의 충돌 위치 사이의 거리를 변화시키기 위해 구성될 수 있다.
- [0023] 제어기는 마찬가지로, 프로세스에서 제2 필드 내의 충돌 위치 사이의 거리를 변화시키지 않고도 제1 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써 입자-광학 렌즈에 대한 충돌 위치의 제2 필드의 배향을 변화시키기 위해 구성될 수 있다.
- [0024] 실시예에 따르면, 입자 빔 시스템은, 제3 필드에 배치된 복수의 검출 영역을 갖는 검출기; 오브젝트에서의 충돌 위치의 제2 필드에서의 충돌 위치로부터 유래한 제2 입자 빔을 검출 영역의 제3 필드 상에 보내기 위해 구성된 제2 입자 광학 유닛을 포함하며; 제2 입자 광학 유닛은, 제3 평면과 제4 평면 사이의 제2 입자 광학 유닛의 빔 경로에 배치된 적어도 두 개, 상세하게는 세 개 또는 네 개의 입자-광학 렌즈를 갖는다. 제어기는, 제3 평면이 제4 평면에 이미징되도록, 제2 입자 빔에 대한 제2 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈 각각의 효과를 설정하기 위해 구성된다. 이 경우에, 제3 평면은 오브젝트의 표면과 일치할 수 있으며, 검출 영역의 필드는 제4 평면에 배치될 수 있어, 제2 입자 빔 각각은 제3 필드에 배치된 검출 영역 중 적어도 하나 상에 충돌하며, 상호 상이한 제2 입자 빔이 상호 상이한 검출 영역 상에 충돌한다.
- [0025] 이 입자 빔 시스템은, 오브젝트에서의 복수의 위치에서 오브젝트의 속성의 측정을 동시에 실행하는 입자 빔 현미경으로서 동작할 수 있다.
- [0026] 제2 입자 광학 유닛은, 첫째, 제3 평면이 제1 입자 광학 유닛의 제2 평면과 일치하거나, 오브젝트 및 제3 평면의 표면이, 제3 평면으로부터 검출 영역의 제3 필드가 배치된 제4 평면으로 진행되는 제2 입자 빔에 의해 이미징되도록 구성된다. 둘째, 제2 입자 광학 유닛은, 예컨대 이미징 스케일, 회전 및 빔 경로의 수렴과 같은 이미징의 추가 파라미터를 설정하기 위해 구성될 수 있다. 이미징 스케일의 설정 가능성을 고려하여, 그에 따라 검

출 영역 사이의 주어진 거리와 제2 평면에서 제1 입자 빔의 충돌 위치 사이의 변화 가능한 거리에 의해, 제2 입자 빔에 의한 대응하는 검출 영역 상의 개별 충돌 위치를 이미징할 수 있다.

[0027] 파라미터 모두가 멀티-빔 입자 시스템의 특정 동작 모드에 관련되는 것은 아닐 수 있다. 예컨대, 제2 입자 광학 유닛에서의 빔 경로의 수렴은 회전이나 이미징 스케일보다 덜 관련될 수 있다. 원하는 나머지 파라미터를 설정하기 위해 더 소수의 입자-광학 구성요소로도 충분할 수 있다. 예컨대, 회절 평면의 위치가 실질적으로 일정하게 유지되고자 한다면, 고정된 여기를 미리 선택할 수 있어서, 그러한 회절 평면의 위치에 대한 매우 결정적인 영향을 갖는 특정 렌즈에 대해 결정할 수 있다.

[0028] 실시예에 따르면, 제어기는 더 나아가, 제2 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써 제2 필드 내에서 충돌 위치 사이의 거리의 변화를 보상하기 위해 더 구성되어, 제2 필드 내에서 충돌 위치 사이의 거리가 변화한 경우에, 제2 입자 빔의 각각이 제3 필드에 배치된 검출 영역 중 적어도 하나 상에 충돌하며 상호 상이한 제2 입자 빔이 상호 상이한 검출 영역 상에 충돌한다.

[0029] 본 명세서에서의 예시적인 실시예에 따르면, 제어기는, 제2 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈의 효과를 변화시킴으로써 제2 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈에 대한 충돌 위치의 제2 필드의 배향에서의 변화를 보상하기 위해 더 구성되어, 충돌 위치의 제2 필드의 배향이 변화할 경우에, 제2 입자 빔 각각이 제3 필드에 배치된 검출 영역 중 적어도 하나 상에 충돌하며, 상호 상이한 제2 입자 빔이 상호 상이한 검출 영역 상에 충돌한다.

[0030] 제1 및 제2 입자 광학 유닛은, 공통적인 입자-광학 렌즈를 갖지 않는 별도의 입자 광학 유닛으로서 구현될 수 있다. 그러나 제1 입자 광학 유닛의 적어도 두 개, 상세하게는 세 개 또는 네 개의 입자-광학 렌즈가 제2 입자 광학 유닛의 적어도 두 개, 상세하게는 세 개 또는 네 개의 입자-광학 렌즈 중 적어도 하나일 수 있어서, 제1 및 제2 입자 광학 유닛은 하나 또는 복수의 공통 렌즈를 갖는다. 적어도 하나의 공통 렌즈는 예컨대 입자-광학 현미경의 오브젝티브 렌즈일 수 있다. 본 명세서에서의 실시예에 따르면, 입자 빔 시스템은, 제1 및 제2 입자 광학 유닛의 빔 경로에 배치된 입자-광학 스위치를 포함한다.

발명의 효과

[0031] 본 발명의 실시예는 도면을 참조하여 더 상세하게 후술될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은, 종래의 입자 빔 시스템을 도시한다.

도 2a, 도 2b 및 도 2c는, 본 발명에 따른 입자 빔 시스템의 일 실시예에서의 이미징의 개략적인 예시를 도시한다.

도 3은, 입자 광학 유닛을 동작하기 위한 방법의 일 실시예를 설명하기 위한 흐름도를 도시한다.

도 4, 도 5 및 도 6은, 테스트 패턴의 일 실시예를 점점 확대하여 예시한 도면이다.

도 7 내지 도 13은 테스트 패턴의 변형을 도시한다.

도 14a, 도 14b 및 도 14c는, 조정 기술을 설명하기 위해 오브젝티브 렌즈, 측정 시스템 및 시준 오브젝트에 걸친 횡단면도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 도 1은, 복수의 입자 빔을 사용하는 멀티-빔 조사 시스템의 개략적인 예시이다. 조사 시스템은, 오브젝트로부터 진행하며 후속하여 검출되는 전자를 생성하기 위해 검사될 오브젝트 상에 충돌하는 복수의 입자 빔을 생성한다. 조사 시스템(1)은, 오브젝트(7)의 표면 상의 위치(5)에 충돌하며 거기에 복수의 전자 빔 스폿을 생성하는 복수의 1차 전자 빔(3)을 사용하는 주사 전자 현미경(SEM: Scanning Electron Microscope) 타입이다. 검사될 오브젝트(7)는 임의의 타입일 수 있으며, 예컨대 반도체 웨이퍼, 생물학적 샘플 및 소형화된 요소의 배치 등을 포함한다. 오브젝트(7)의 표면은, 오브젝티브 렌즈 시스템(100)의 오브젝티브 렌즈(102)의 오브젝트 평면(101)에 배치된다.

[0034] 도 1에서 확대한 발췌부(I1)는, 평면(101)에 형성한 충돌 위치(5)의 규칙적인 직사각형 필드(103)를 갖는 오브젝트 평면(101)의 평면도를 도시한다. 도 1에서, 5×5 필드(103)로서 배치되는 충돌 위치의 개수는 25이다. 충돌 위치의 개수, 25는 간략화된 예시를 이유로 선택한 작은 수이다. 실제로, 빔이나 충돌 위치의 개수는 예컨대

20×30, 100×100 등과 같이 상당히 더 크도록 선택할 수 있다.

- [0035] 예시한 실시예에서, 충돌 위치(5)의 필드(103)는, 인접한 충돌 위치 사이에 일정한 거리(p1)를 갖는 실질적으로 규칙적인 직사각형 필드이다. 거리(p1)의 예시적인 값은 1 μ m, 10 μ m 또는 40 μ m이다. 그러나 또한 필드(103)는 예컨대 육각형 대칭과 같은 다른 대칭을 가질 수 있다.
- [0036] 오브젝트 평면(101)에서 형성된 빔 스폿의 직경은 작을 수 있다. 이러한 직경의 예시적인 값은 1nm, 5nm, 100nm 및 200nm이다. 빔 스폿(5)을 성형하기 위한 입자 빔(3)의 집속은 오브젝티브 렌즈 시스템(100)에 의해 실행된다.
- [0037] 오브젝트 상에 충돌하는 입자는, 오브젝트(7)의 표면으로부터 유래하는 전자를 생성한다. 오브젝트(7)의 표면으로부터 유래하는 전자는 오브젝티브 렌즈(102)에 의해 성형되어 전자 빔(9)을 형성한다. 조사 시스템(1)은 다수의 전자 빔(9)을 검출 시스템(200)에 공급하기 위해 전자 빔 경로(11)를 제공한다. 검출 시스템(200)은, 전자 빔(9)을 전자 멀티-검출기(209) 상에 보내기 위해 투영 렌즈 시스템(205)을 갖는 전자 광학 유닛을 포함한다.
- [0038] 도 1에서의 발체부(I₂)는, 개별적인 검출 영역이 배치되며 전자 빔(9)이 위치(213)에서 충돌하는 평면(211)의 평면도를 도시한다. 충돌 위치(213)는, 충돌 위치 사이에 규칙적인 거리(p2)를 갖는 제2 필드(217)를 형성한다. 거리(p2)의 예시적인 값은 10 μ m, 100 μ m 및 200 μ m이다.
- [0039] 1차 전자 빔(3)이 빔 생성 디바이스(300)에서 생성되며, 이러한 디바이스는 적어도 하나의 전자 소스(301), 적어도 하나의 시준 렌즈(303), 멀티-애퍼처 배치(305) 및 필드 렌즈 시스템(307)을 포함한다. 전자 소스(301)는 발산하는 전자 빔(309)을 생성하며, 이러한 빔은, 멀티-애퍼처 배치(305)를 조명하는 빔(311)을 성형하기 위해 시준 렌즈(303)에 의해 시준된다.
- [0040] 도 1의 발체부(13)는 멀티-애퍼처 배치(305)의 평면도를 도시한다. 멀티-애퍼처 배치(305)는, 복수의 개구 또는 애퍼처(315)가 형성된 멀티-애퍼처 플레이트(313)를 포함한다. 개구(315)의 중점(317)은, 오브젝트 평면(101)의 빔 스폿(5)에 의해 형성된 필드(103)에 대응하는 필드(319)에 배치된다. 애퍼처(315)의 중점(317) 사이의 거리(p3)는, 5 μ m, 100 μ m 및 200 μ m의 예시적인 값을 가질 수 있다. 애퍼처(315)의 직경(D)은 애퍼처의 중점 사이의 거리(p3)보다 작다. 직경(D)의 예시적인 값은 0.2×p3, 0.4×p3 및 0.8×p3이다.
- [0041] 조명 빔(311)의 전자는 애퍼처(315)를 통과하여 전자 빔(3)을 형성한다. 플레이트(313) 상에 입사하는 조명 빔(311)의 전자는 플레이트에 의해 트랩되어 전자 빔(3)을 형성하는데 기여하지 않는다.
- [0042] 멀티-애퍼처 배치(305)는, 빔 초점(323)이 평면(325)에 형성되도록 전자 빔(3)을 집속한다. 초점(323)의 직경은 예컨대 10nm, 100nm 및 1 μ m이다.
- [0043] 제1 렌즈 시스템(307)과 오브젝티브 렌즈(102)는, 초점이 오브젝트 평면(101) 상에 형성되는 평면(325)을 이미징하기 위해 제1 이미징 입자 광학 유닛을 제공하여, 충돌 위치(5)나 빔 스폿의 필드(103)가 거기서 오브젝트(7)의 표면 상에 형성된다.
- [0044] 오브젝티브 렌즈(102)와 투영 렌즈 시스템(205)은 오브젝트 평면(101)을 검출 평면(211) 상에 이미징하기 위한 제2 이미징 입자 광학 유닛을 제공한다. 오브젝티브 렌즈(102)는 그에 따라, 제1 입자 광학 유닛의 부분이며 제2 입자 광학 유닛의 부분인 렌즈인 반면, 필드 렌즈 시스템(307)은 제1 입자 광학 유닛에만 속하며, 투영 렌즈 시스템(205)은 제2 입자 광학 유닛에만 속한다.
- [0045] 빔 스위치(400)가, 멀티-애퍼처 배치(305)와 오브젝티브 렌즈 시스템(100) 사이의 제1 입자 제어 유닛의 빔 경로에 제공된다. 빔 스위치(400)는 또한, 오브젝티브 렌즈 시스템(100)과 검출 시스템(200) 사이의 빔 경로에서 제2 입자 광학 유닛의 부분이다.
- [0046] 빔 스위치(400)는 비-회전 대칭 전자-광학 이미징 시스템을 구성한다. 1차 빔 경로(13)에서 이 입자 광학 유닛(400)의 이미징 성능에 있어서, 중요한 것은, 1차 빔 경로에서 입자가 정확한 입사각과 정확한 입사 위치에서 입자 광학 유닛을 통과한다는 점이다. 이점에서 정확함이 의미하는 점은, 입사각과 입사 위치의 편차가 수치 시뮬레이션에서 사용한 값으로부터 충분히 작은 범위로 벗어난다는 점이다. 그러나 빔 위치(400)는, 그 비-회전 대칭 구조로 인해, 그러한 입사 위치와 입사각을 결정하기 위한 직접적인 기준을 제공하지 않는다. 이들 소위 입사 조건을 결정하기 위한 직접적인 가능성은 예컨대 빔 스위치의 상류의 빔 경로에 애퍼처를 도입하는 것이며, 그러한 애퍼처는 빔 스위치의 섹터 필드에 대해 매우 정확히 조정할 수 있다. 애퍼처는 광범위한 이미징 필드로 인해 빔 스위치의 상류에 고정해서 설치되어 설치되기보다는 기계적 다이아프램 드라이브에 의해 연

장 가능하고 수축 가능해야 하므로, 애퍼처의 사용은 공간 이유로 인해 항상 가능하지는 않다. 이 경우에, 빔 생성 디바이스(300)와 빔 스위치(400) 사이에 조정 렌즈(403)를 삽입하는 것이 유리할 수 있다(도 1 참조). 그러한 조정 렌즈(403)는 적어도 코일과 선택적으로는 렌즈 요크로 구성되며, 이들 둘 모두는 빔 스위치(400)에 기계적으로 매우 정확히 매칭될 수 있다. 즉, 그러한 코일의 빔 스위치(400)에 대한 위치 공차는 매우 작을 수 있다. 빔 스위치(400)에 대한 조정 렌즈(403)의 정확한 기계적 위치는 예컨대 전자-광학 시뮬레이션에 의해 결정될 수 있다. 조정 렌즈의 그러한 코일은 입자-광학 시스템의 정상 동작 동안 스위칭 오프된다. 조정 동작에서, 빔 생성 디바이스(300)의 하류의 빔 경로는, 1차 빔선속(13)이 조정 렌즈(403)의 여기에서 변화가 있는 경우 및/또는 조정 렌즈(403)의 극성의 역전이 있는 경우에 드리프트하지 않도록 편향기(미도시)에 의해 설정될 수 있다. 이 경우에, 1차 빔선속이 조정 렌즈(403)의 중심 상에 충돌하며 조정 렌즈의 광학 축에 평행하게 진행함을 보장한다. 빔 스위치에 대한 조정 렌즈(403)의 매칭으로 인해, 그에 따라 빔 스위치에서 입사각과 입사 위치는 시뮬레이션으로부터 얻은 값의 공차 범위(에러 버짓(error budget)) 내에 충분히 정확히 있음을 보장한다.

[0047] 그러한 멀티-빔 조사 시스템 및 거기에 사용된 구성요소, 예컨대 입자 소스, 멀티-애퍼처 플레이트 및 렌즈와 같은 것에 관한 추가 정보는, 국제 특허출원 WO 2005/024881, WO 2007/028595, WO 2007/028596 및 WO 2007/060017과, 독일 특허출원(출원 번호 DE 10 2013 016 113.4 및 DE 10 2013 014 976.2)으로부터 얻을 수 있으며, 이들의 개시는, 그 전체 범위가 본 출원에서 참조로서 병합된다.

[0048] 제1 입자 광학 유닛은 제1 평면(325)의 제2 평면(101)으로의 입자-광학 이미징을 제공한다. 그러한 입자-광학 이미징을 특징화하는 하나의 파라미터는 빔 축을 따른 제1 평면(325)과 제2 평면(101) 사이의 거리이다. 이 거리는 예컨대 필드 렌즈 시스템(307)의 효과나 렌즈(102)의 효과가 변화됨으로써 변화할 수 있다. 입자-광학 이미징을 특징화하는 추가 파라미터는, 자계에 의해 생성되는 렌즈(307 및 102)의 효과에 의해 발생하는 회전이다. 자계는 회전을 유도하여, 개별 입자 빔은 직선으로 이동하기보다는 빔 경로를 따라 나선형 경로를 따라 이동한다.

[0049] 도 1은, 충돌 위치가 도 1에서 수평 및 수직 선을 따라 배치되도록, 충돌 위치의 필드(103)의 바람직한 배향을 예컨대 도시한다. 이러한 배향의 값은 도 1에서는 각도(R_0)로 표시한다. 제1 입자 광학 유닛에 의해 제공된 입자-광학 이미징의 회전으로 인해, 입자 빔의 필드는, 입자 빔이, 제1 입자 광학 유닛을 통과한 후, 배향(R_0)의 필드로서 평면(101) 상에 충돌하도록 배향을 가져야 한다. 생성된 입자 빔의 필드(319)의 필요한 배향은 도 1에서 각도(R_1)로 표시한다.

[0050] 제2 입자 광학 유닛은 또한, 평면(101과 211) 사이의 거리를 특징 파라미터로서 가질 수 있는 입자-광학 이미징을 제공한다. 더 나아가, 회전은 또한, 제2 입자 광학 유닛을 특징화하는 파라미터이다. 배향(R_0)의 평면(101)으로부터 진행되는 제2 입자 빔의 필드(103)는, 제2 입자 광학 유닛을 통과한 후, 도 1에서 각도(R_2)로 표시한 배향의 평면(211) 상에 충돌한다.

[0051] 도 1의 개략적인 예시에서, 개별 입자 빔(3 및 9)의 주광선은 각 경우에 직각으로 평면(325, 101 및 211)을 통과한다. 그러한 빔 경로가 텔레센트릭 빔 경로로서 표시되고 실제로 유리하며, 이는 예컨대 오브젝트(7)와 오브젝티브 렌즈(102) 사이의 거리의 변화가 실제 오브젝트 상의 빔 스폿의 확대를 초래하지만, 빔 스폿 사이의 거리(p_1)의 변화를 초래하지는 않기 때문이다. 그러나 제1 및/또는 제2 입자 광학 유닛의 입자-광학 렌즈의 효과의 설정을 변화시킨 경우에, 빔 경로의 수렴이 변화할 수 있다, 즉 예컨대 오브젝티브 렌즈(102)의 광학 축으로부터 거리를 두고 진행되는 입자 빔(3)의 주광선이 더 이상 직각으로 평면(101)에 충돌하지 않을 수 있다.

[0052] 도 2a는, 입자 광학 유닛(1)의 광학 축(7)을 따라 배치된 네 개의 입자-광학 렌즈(2, 3, 4 및 5)를 포함하는 입자 광학 유닛(1)의 개략적인 예시이다. 렌즈(2, 3, 4 및 5)는, 렌즈의 자계를 생성하는 코일에 제어기(9)에 의해 여기 전류가 공급되는 자기 렌즈로서 구현되며, 여기 전류는, 설정 가능한 여기를 나타내는 화살표(9)로 도 2a에서 개략적으로 표시한 바와 같이, 렌즈 각각에 대해 설정 가능하다. 광학 축(7)을 따른 렌즈(2, 3, 4 및 5) 사이의 거리는 보통 렌즈의 설계에 의해 고정되며, 즉, 동작 동안 변화할 수 없다. 그러나 입자 광학 유닛의 광학적 속성은, 개별 렌즈에 설정 가능한 여기 전류를 공급하는 그러한 제어기(9)에 의해 입자 빔에 대한 렌즈의 효과를 변화시킴으로써 제어기(9)에 의해 변화할 수 있다.

[0053] 입자 광학 유닛(1)은 제1 평면(13)을 입자-광학적으로 제2 평면(15)에 이미징하며, 이들 평면은 광학 축(7)을 따라 서로로부터 거리를 두고 배치된다. 도 2a의 개략적인 예시에서, 이러한 이미징은 제1 평면(13)에서 배치된 화살표(17)와, 제2 평면(15)에 배치된 화살표(21)에 화살표(17)를 이미징하는 입자 빔의 주광선의 두 개의 필드 광선(19)에 의해 표시한다.

[0054] 이러한 이미징은 네 개의 파라미터에 의해 특징화될 수 있다: 제1 파라미터는 광학 축(7)을 따른 제1 평면(13)과 제2 평면(15) 사이의 거리이다. 제2 파라미터는 이미징의 이미징 스케일이며, 이러한 스케일은 화살표(21 및 17)의 길이의 비로부터 얻는다. 제3 파라미터는, 광학 축(7)을 중심으로 한 화살표(17)의 주어진 배향에 대한 광학 축(7)을 중심으로 한 화살표(21)의 배향으로부터 유래된 회전이다. 도 2a에서, 화살표(17)의 배향은 각도(R)로 표시되며, 화살표(21)의 배향은 각도(R1)로 표시한다. 제4 파라미터는 빔 경로의 수렴이며, 그러한 수렴은, 필드 광선(19)이 광학 축(7)으로부터의 주어진 거리에서 평면(13 및 15)을 통과하는 각도로부터 얻는다. 도 2a에서, 평면(13)에서 직각(23)이며 평면(15)에서 직각(T1)이어서, 이미징은 텔레센트릭하게 된다.

[0055] 도 2a를 참조하여 입자 광학 유닛(1)에 의해 설명한 입자-광학 이미징은 상세하게는, 이미징 스케일이 증가하도록 변화하고자한다고 이제 가정한다. 이를 위해, 제어기는 도 2a에 따라 렌즈(2, 3, 4 및 5)의 효과의 설정을 변경해야 한다.

[0056] 도 2b는, 도 2a에 따른 설정과는 상이한 렌즈(2, 3, 4 및 5)의 효과의 설정을 도시하며, 렌즈(2, 4 및 5)의 효과의 설정은 도 2a에 따른 설정에서의 설정과 동일하며, 렌즈(3)의 설정만이 도 2a에 따른 설정과 상이하다. 이것은 먼저 이미징 스케일 값의 증가를 초래하며, 이점은 도 2a와 비교하면 화살표(21)의 더 큰 길이로부터 도

2b에서 자명하다. 그러나 이점은 또한, 제1 평면(13)이, 값(ΔF)만큼 도 2a에 따른 설정의 경우에서의 대응하는 거리보다 작은 제1 평면(13)으로부터의 거리에 있는 제2 평면(15')에 이미징된다. 더 나아가, 화살표(21)는, 도 2a의 배향(R1)과는 상이한 배향(R3)으로 평면(15')에 배치된다. 이미징의 회전은 그에 따라 $\Delta R = R3 - R1$ 만큼 변화하였다.

[0057] 더 나아가, 도 2b의 필드 광선(19)은 각도(T3)로 평면(15') 상에 충돌하여, 빔 경로의 텔레센트릭시티 또는 수렴은 또한 도 2a에 따른 설정과 비교하여 변화하였으며, 빔 경로의 수렴의 변화 값은 $\Delta T = T3 - T1$ 으로 기재할 수 있다.

[0058] 이점은, 입자 광학 유닛의 단 하나의 입자-광학 구성요소의 효과의 변화가 입자 광학 유닛이 제공하는 입자-광학 이미징을 특징화하는 네 개의 파라미터의 변화를 초래함을 보여준다.

[0059] 실제로, 그러나, 설정 변화의 결과로, 입자-광학 이미징을 특징화하는 단 하나의 파라미터가 변화하며, 다른 파라미터는 변화하지 않고 남아 있도록, 입자 광학 유닛의 설정을 변화시키는 것이 바람직하다. 이를 위해, 복수의 입자-광학 구성요소의 효과의 설정을 함께 변화시켜야 한다. 그러나 이러한 목적을 달성하기 위해 개별 입자-광학 구성요소의 효과의 값의 필수적인 변화를 결정하는 것은 어렵다. 실제로, 이것은 종래에는 종종 반복하여 실행된다.

[0060] 이미징을 특징화하는 파라미터가 원하는 값을 갖도록 입자 광학 유닛의 입자-광학 구성요소의 효과를 설정하는 방법의 일예를 도 3을 참조하여 후술할 것이다. 이 경우에, 이 방법의 시작점은, 단계(51)에서, 입자-광학 구성요소의 효과의 제1 설정이 제1 평면에 제2 평면에 이미징되도록 제공된다는 것이다. 제1 설정에서 개별 입자-광학

구성요소의 효과의 값은 벡터(\vec{w}_1)로 표시한다. 이미징을 특징화하는 파라미터의 값은 벡터(\vec{p}_1)로 나타낼 수 있다.

[0061] 이제, 제2 설정에서, 이미징을 특징화하는 파라미터가 대응하는 벡터(\vec{p}_2)로 나타난 원하는 값을 갖도록, 입자-광학 구성요소의 효과의 제1 설정을 변경하는 것이 바람직할 것이다. 이 작업은 이 경우에 이 제2 설정에 필요한 효과의 값(\vec{w}_2)의 그러한 수치들을 찾는 것이다.

[0062] 이를 위해, 단계(53)에서, 매트릭스(A)는 다음의 수학식이 유효하도록 결정된다:

$$\vec{\Delta p}_1 = A \cdot \vec{\Delta w}_1$$

[0063]

[0064]

$$\text{이때, } \overrightarrow{\Delta w} = \overrightarrow{w} - \overrightarrow{w}^{\text{init}}, \overrightarrow{\Delta p} = \overrightarrow{p} - \overrightarrow{p}^{\text{init}}$$

[0065]

여기서 $\overrightarrow{\Delta w}$ 는, 단계(51)에서의 설정($\overrightarrow{w}^{\text{init}}$)과 비교하여 광학 구성요소의 효과의 값의 변화를 나타내는 벡터이며, $\overrightarrow{\Delta p}$ 는, 효과의 값이 $\overrightarrow{\Delta w}$ 만큼 변화할 때 발생하는 파라미터 값의 변화를 나타내는 벡터이다.

[0066]

매트릭스(A)는, 개별 입자-광학 구성요소의 효과의 값을 변경함으로써 변화된 설정이 야기되는 절차에 의해 입자 광학 유닛 자체에서 예컨대 수치 시뮬레이션에 의해 또는 실험에 의해 결정할 수 있으며, 발생하는 입자-광학 이미징을 특징화하는 파라미터에서의 결과적인 변화는 예컨대 측정에 의해 결정된다.

[0067]

매트릭스(A)의 $m \times n$ 엔트리를 결정하기 위해 $m \times n$ 측정을 실행할 수 있으며, m 개의 파라미터 각각에 대해 n 개의 입자-광학 구성요소는 변경되며, 관련 파라미터에 관한 구성요소의 각각의 변화의 영향은 각 경우에 결정한다. 이것은 파라미터 모두에 대해 실행된다. 각 파라미터에서, 이것은, 입자-광학 구성요소의 개수와 동일한 수학적 수를 초래한다.

[0068]

이미징을 특징화하는 파라미터가 수렴, 회전 및 이미징 스케일이어서, 개수(m)가 3인 예를 후술할 것이다. $\Delta tele, \Delta rot, \Delta mag$ 는 후속하여 이들 파라미터의 변화를 나타낸다. 이 예에서, 이미징은 네 개의 렌즈에 의해 제공되어, 입자-광학 구성요소의 개수(n)는 4이다. 렌즈의 효과는 전류(I)에 의해 생성된다.

[0069]

수학적식($\overrightarrow{\Delta p} = A \cdot \overrightarrow{\Delta w}$)은 다음과 같이 전류의 변경(ΔI_i)에 대해 기록할 수 있다:

[0070]

$$\begin{pmatrix} \Delta tele \\ \Delta rot \\ \Delta mag \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta I_1 \\ \Delta I_2 \\ \Delta I_3 \\ \Delta I_4 \end{pmatrix}$$

[0071]

여기서 파라미터($\Delta tele, \Delta rot, \Delta mag$)의 결과적인 변화는 세 개의 측정에서 측정한다. 매트릭스의 요소(a_{ij})는 초기에는 알려져 있지 않다. 총 $n=4$ 개의 전류의 상이한 변경(ΔI_i)이 설정되며, 파라미터($\Delta tele, \Delta rot, \Delta mag$)의 세 개의 변화는 네 개의 설정 각각에서 측정하여, 총 12개의 측정이 실행된다.

[0072]

값(a_{11}, \dots, a_{14})은 이 경우 제1 파라미터의 변화($\Delta tele$)에 대한 설정에 의해 결정할 수 있다:

[0073]

$$\begin{pmatrix} \Delta tele^I \\ \Delta tele^{II} \\ \Delta tele^{III} \\ \Delta tele^{IV} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta I_1^I & \Delta I_2^I & \Delta I_3^I & \Delta I_4^I \\ \Delta I_1^{II} & \Delta I_2^{II} & \Delta I_3^{II} & \Delta I_4^{II} \\ \Delta I_1^{III} & \Delta I_2^{III} & \Delta I_3^{III} & \Delta I_4^{III} \\ \Delta I_1^{IV} & \Delta I_2^{IV} & \Delta I_3^{IV} & \Delta I_4^{IV} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{14} \end{pmatrix}$$

[0074]

로마자 윗첨자는 전류의 변경의 개수를 나타낸다. 이 수학적식은 a_{11}, \dots, a_{14} 에 대해 풀 수 있다. 매트릭스(A)의 제1 행의 요소를 결국 얻는다. 대응하는 절차를 그 후 Δrot 과 Δmag 에 대해 채택하여, 매트릭스(A)의 제2 및 제3 행에 대한 요소를 계산하여, 매트릭스(A)의 모든 요소를 계산한다. 이를 위해, 상기 수학적식에

서 요소(ΔI_i^j)를 갖는 행 벡터가 선형적으로 독립적이도록 전류의 변경을 선택한다면 도움이 될 수 있다. 이 방법은 예컨대 스티그메이터와 같은 다른 입자-광학 구성요소에 유사하게 적용될 수 있다. 이 경우에, 파라미터(\vec{P}), 매트릭스(A) 및 효과(\vec{w})를 나타내기 위해 복소수가 유리하게도 사용된다.

[0075] 매트릭스(A)가 단계(53)에서 결정된 이후, 단계(55)에서, 매트릭스(S)는, 다음의 수학적식이 유효하도록 결정된다:

[0076]
$$S \cdot A = D_A$$

[0077] D_A 는 대각 매트릭스이거나 거의 대각인 매트릭스이다. 비-대각 요소가 대각 요소보다 상당히 작다면 매트릭스는 거의 대각이다. 상세하게는 매트릭스(S)가 수치적으로 계산되고 매트릭스(A)가 불량 조건이라면, 그러한 매트릭스가 발생할 수 있다. 이 경우에, 상세하게는:

[0078] $S = A^{-1}$ 가 유효하도록, 즉 매트릭스(S)가 매트릭스(A)의 반전에 의해 계산되도록 매트릭스(S)를 결정할 수 있다. 매트릭스(D_A)는 이때 단위 매트릭스 또는 거의 단위 매트릭스이며, 즉 매트릭스(D_A)의 대각 요소는 1과 약간만 상이하며, 비-대각 요소는 0과 약간만 상이하다.

[0079] 그 후, 원하는 이미징을 특징화하는 파라미터의 값은 단계(57)에서 규정된다. 이들 값은 벡터(\vec{P})로서 나타낼 수 있다. 그 후, 단계(59)에서, 단계(51)로부터의 설정에 대해 원하는 값(\vec{P})을 얻는데 필요한 효과에서의 변화($\Delta \vec{w}$)를 다음에 따라 결정한다:

[0080]
$$\Delta \vec{w} = S \cdot \Delta \vec{p}$$

[0081] 이때,
$$\Delta \vec{w} = \vec{w} - \vec{w}_1 \quad \Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_1$$

[0082] 제2 설정에 필요한 효과(\vec{w})는 그에 따라 수학적식($\vec{w} = \vec{w}_1 + \Delta \vec{w}$)의 결과로서 발생한다. 효과의 이들 값은 단계(61)에서 설정되며, 그에 따라 입자 광학 유닛이 원하는 이미징으로 동작할 수 있다.

[0083] 더 나아가, 후속하여 입자-광학 구성요소의 효과의 추가, 상이한 설정을 실행할 수 있다. 이를 위해, 방법은 단계(57)로 건너뛸 수 있으며, 이 단계에서, 파라미터의 새 원하는 값이 결정되며, 새로운 효과의 설정이 단계(59)에서 실행될 수 있으며, 단계(55)에서 이전에 결정된 대각 매트릭스(D_A)는 계산에 사용된다. 이것은 상세하

게는 벡터($\Delta \vec{w}$)의 크기가 작고, 입자-광학 구성요소의 효과의 작은 변화가 그에 따라 단계(51)에서 제공된 설정과 비교하여 필요한 경우에 쉽게 가능하다. 효과의 필요 변화가 더 큰 경우에, 단계(61)에서 실현된 설정에 대해 새로운 매트릭스(A)를 계산하기 위해, 단계(61) 이후 단계(53)의 처리로 건너뛰는 것을 권할만할 수 있으며, 그러한 새로운 매트릭스는 후속하여 반전되며 단계(59 및 61)에서의 효과의 새로운 설정을 계산하는데 사용된다.

[0084] 앞서 설명한 방법으로 인해, 이미징의 이미징 스케일만이 증가하며, 제1 평면과 제2 평면 사이의 거리가 동일하게 남아 있고($\Delta F = 0$), 회전이 동일하게 남아 있으며($\Delta R = R_2 - R_1 = 0$), 빔 경로의 수렴이 동

일하게 남아 있도록 ($\Delta T = T_2 - T_1 = 0$) 도 2a에 따른 렌즈(2, 3, 4 및 5)의 효과의 설정을 변경할 수 있다. 입자 광학 구성요소, 즉 렌즈(2, 3, 4 및 5)의 효과의 그러한 설정을 도 2c에 예시한다.

[0085] 입자 광학 유닛을 설정하는 방법을 도 2a, 도 2b 및 도 2c를 참조하여 그리고 네 개의 렌즈로 제1 평면을 제2 평면에 이미징하는 입자 광학 유닛을 기초로 하여 앞서 설명하였으며, 여기서 네 개의 렌즈는 이들 두 개의 평면 사이에 배치된다. 그러나 방법은 그것에 제한되지 않는다. 더 많거나 적은 렌즈가 이미징을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 이미징을 제공하는 렌즈 모두가 두 개의 평면 사이에 배치될 필요는 없으며 하나 또는 복수의 렌즈가 제1 평면의 상류나 제2 평면의 하류에 있는 빔 경로에 배치될 수 있도록, 가상의 이미징을 실현할 수 있다. 더 나아가, 이미징은 제1 평면을 하나 또는 복수의 중간 이미지 평면에 이미징할 수 있으며, 그러한 중간 평면은 그 후 후속하여 제2 평면에 이미징된다. 더 나아가, 제1 평면과 제2 평면 사이에 정확히 하나의 크로스 오버를 형성할 필요는 없다. 오히려, 또한 복수의 크로스오버를 형성할 수 있거나 크로스오버를 전혀 형성할 수 없다.

[0086] 도 1을 참조하여 설명한 전자 현미경 시스템은, 오브젝트 상의 입자 빔(3)의 상호 인접한 층돌 위치 사이의 거리(p_1)를 설정 가능하며 층돌 위치의 필드의 배향(RO)을 또한 설정 가능하도록 동작할 수 있는 것이 바람직하다. 이를 위해, 제1 및 제2 입자 광학 유닛이 각 경우에 이미징 스케일 및 회전을 서로 독립적으로, 상세하게는 바람직하게도 빔 경로의 수렴이 변화하지 않도록 설정하기 위해 구성된다. 이것은, 도 2a 및 도 3을 참조하여 앞서 설명한 바와 같은 방식으로 구현되는 제1 및 제2 입자 광학 유닛에 의해 달성할 수 있다. 이것의 의미하는 점은, 네 개 이상의 렌즈가 도 1에 개략적으로 도시한 두 개의 입자 광학 유닛 각각에 배치된다는 것이며, 그러한 렌즈는 도 3을 참조하여 설명한 방법에 따라 제어기에 의해 제어할 수 있다.

[0087] 테스트 패턴이 아래에 설명되는데, 이는 도 1을 참조로 설명된 것처럼 멀티-빔 입자 광학 유닛의 이미징 파라미터를 결정하는데 이용될 수 있다. 그러한 테스트 패턴은 예를 들면 리소그래피 방법을 이용하여 실리콘 웨이퍼 상에 기록되도록 함에 의해 고정밀도로 생성될 수 있다.

[0088] 멀티-빔 입자 시스템을 위한 테스트 패턴에 관한 배경 정보가 WO 2013/032949 A1으로부터 취함될 수 있는데, 그 전체 범위가 본 특허 출원에서 참조로서 병합된다.

[0089] 이러한 테스트 패턴은 바람직하게는 오브젝트(7)를 또한 이송하는 이동 테이블 상에 장착될 수 있어, 멀티-빔 입자 시스템의 동작 동안, 테스트 패턴은 멀티-빔 입자 시스템의 측정, 시준 및 조정을 이행하기 위하여 필요한 경우 빔 경로 내로 이동될 수 있다. 측정, 시준 및 조정의 결론 이후에, 오브젝트(7)는 다시 도입될 수 있으며, 오브젝트의 시험이 계속될 수 있다.

[0090] 도 4는 테스트 패턴(31)의 예를 도시한다. 테스트 패턴(31)은 예를 들어 4개의 정사각형(Q1, Q2, Q3 및 Q4) 및 예를 들면 4개의 조정 마킹(33)을 포함한다. 정사각형(Q1 및 Q2) 각각은 예를 들면 $10 \times 10 = 100$ 소형 필드를 포함하는 반면, 정사각형(Q3 및 Q4) 각각은 예를 들면 $7 \times 7 = 49$ 대형 필드를 포함한다. 정사각형 모두에서의 필드는 그들의 구조적 측면에서는 동일한 테스트 패턴을 가지나, 이는 아래에 더욱 상세히 설명되지만, 그들 크기에 대해서는 상이하다. 정사각형(Q1 및 Q2)의 소형 필드는 예를 들면 12 마이크로미터의 거리를 갖는 입자 빔의 필드로 측정되기 위하여 제공되며, 정사각형(Q3 및 Q4)의 대형 필드는 예를 들면 18 마이크로미터의 거리를 갖는 입자 빔의 필드로 측정되기 위하여 제공된다. 도면에서 흑백으로 도시된 테스트 패턴은 테스트 웨이퍼 상의 패턴에 대응하는데, 이는 그 토포그래피로 인하여, 즉 그 표면의 배향으로 인하여 또는/및 그 구조로 인하여, 즉 예를 들면 그들의 화학적 조성으로 인하여, 기록된 2차 전자 이미지 내의 세기 콘트라스트로 이어진다.

[0091] 도 5는 하나의 그러한 필드(37)를 상세히 도시한다. 이것은 대략 6각형의 윤곽을 가지며, 행으로 배치된 127개의 부분 필드(39)로 구성되며, 도 5의 최상단 행은 7개의 부분 필드(39)를 포함한다. 상부로부터 하부로 진행할 때, 부분 필드(39)의 개수는 각 경우에 중간 행이 13개의 부분 필드를 포함할 때까지 행에서 행으로 하나씩 증가한다. 그 후, 행 당 부분 필드(39)의 개수는 도 5에서의 최하부 행이 다시 7개의 부분 필드를 포함할 때까지 행에서 행으로 하나씩 감소한다. 부분 필드 각각이 입자 빔들의 필드의 하나의 입자 빔에 의해 주사되도록 제공된다. 그러므로 필드(37) 내의 부분 필드(39)의 배치는 입자 빔의 필드 내의 입자 빔의 배치에 대응한다. 즉, 입자 빔의 필드는 도 1에 도시된 것처럼 직사각형 패턴으로 배치되는 것이 아니고, 육각형 패턴으로 배치된다.

[0092] 도 6은 도 5로부터의 7개의 부분 필드(39)로부터 발췌된 확대도를 도시한다. 각각의 부분 필드(39)는 참조 마킹(41, 42, 43 및 44), 수평 코딩 영역(45), 수직 코딩 영역(46) 및 테스트 패턴(47)을 포함한다. 도 6에 도

시된 예에서, 테스트 패턴(47)은 각 경우에 4개 그룹의 네스트된(nested) 정사각형이다. 코딩 영역(45)은 예를 들면 12 위치로 분할되며, 각각은 예를 들면 정사각형과 같은 코딩 요소를 포함하거나 포함하지 않을 수 있어서, 각각의 코딩 영역은 수를 코딩할 수 있다. 이 경우, 수직 영역(46)은 필드(37) 내의 특정 부분 필드(39)에 의해 유지되는 수를 코딩하고, 수평 영역(45)은 정사각형(Q1, Q2, Q3 및 Q4) 중 하나에서의 특정 필드(37)에 의해 유지되는 수를 코딩한다.

- [0093] 도 7은 테스트 패턴(47)을 확대하여 도시한다. 개별 라인들은 예를 들면 60 나노미터의 선폭을 가질 수 있다.
- [0094] 도 8 내지 도 12는 도 7로부터의 테스트 패턴의 변형을 도시한다. 도 8에서의 테스트 패턴은 수평 라인으로 구성되고, 도 9에서의 테스트 패턴은 수직 라인으로 구성되며, 도 10에서의 테스트 패턴은 교차선으로 구성되며, 도 11에서의 테스트 패턴은 직사각형의 그리드 배치로 구성되며, 도 12의 테스트 패턴은 중심 테스트 패턴(우측 부분 도시)으로부터 이격된 모든 테스트 패턴에서의 십자자로 구성된다. 중앙 테스트 패턴은 정사각형(좌측에 부분 도시)으로 둘러싸인 십자자로 구성될 수 있다. 도 13에서의 테스트 패턴은 그 폭이 좌측에서 우측으로 및 아래에서 위로 비선형적으로 가변하는 요소의 비주기적 패턴이다. 이 테스트 패턴은 특히 이미지 처리의 단계로서 푸리에 변환을 사용하는 테스트에 대해 특히 적합하다.
- [0095] 상술한 테스트 패턴은 입자 광학 유닛에 의해 제공되는 이미징에 의해 얻어지는 이미지 스케일 및 회전을 결정하는데 적합하다. 예를 들면, 절두된 피라미드로서 디자인되는 패턴은 빔 경로의 수렴을 결정하는데 적합하여, 그러한 절두된 피라미드는 동일 크기의 4개의 경사진 측면(flanck)을 갖는다. 그러한 테스트 구조에 수직으로 충돌하는 입자 빔으로, 경사진 측면은 동일한 크기인 것으로 보이고, 이들은 경사진 충돌 입자 빔의 경우에는 상이한 크기를 갖는 것으로 보인다. 경사진 측면의 폭의 측정으로부터, 입자 빔의 충돌각 및 이에 따른 수렴을 추측하는 것이 가능하다.
- [0096] 테스트 웨이퍼의 구조는 멀티-빔 장치를 조정하기 위하여 다양한 방식으로 이용될 수 있다. 이들은 특히: 부분 빔의 위치를 결정, 부분 빔과 오브젝트 스테이지에 대한 멀티-빔의 상대적 배향 사이의 거리의 설정, 모든 오브젝트 지점이 축방향으로 수평인 빔으로 조명될 것을 보정하기 위한 텔레센트리시티, 왜곡을 방지하기 위한 주사의 시준 및 주사 필드의 비선형성이다.
- [0097] 일반적으로, 테스트 웨이퍼는 오브젝트 스테이지에 포함되어, 테스트 웨이퍼 구조의 배향은 스테이지의 움직임의 축에 대응한다.
- [0098] 빔 위치 측정:
- [0099] 예를 들면 확대 및 회전이 차례로 결정되는 샘플 평면에서의 빔의 충돌 장소의 위치를 결정하기 위하여, 아래의 방법이 이용될 수 있다:
- [0100] a) 시준된 테스트 샘플에 대한 측정 방법
- [0101] 시준된 구조를 갖는 테스트 샘플이 이용, 즉 구조의 위치가 테스트 샘플 좌표 시스템에 대해 공지된다. 테스트 샘플은 전체(또는 전체로부터 선택된) 빔으로 주사된다. 주사(구체적으로는 테스트 샘플 좌표 시스템에 대한 이미지 좌표 시스템의 픽셀 크기 및 배향)는 사전에 시준되거나 또는 동시에 시준될 수 있다. 개별 빔의 위치는 생성된 이미지로부터(또는 상기 이미지 내의 구조의 위치로부터) 계산될 수 있다. 이는 예를 들면 이미지 내의 구조를 명확하게 식별하고 이미지 내의 위치를 결정함에 의해 수행될 수 있다. 테스트 샘플 상의 구조의 공지된 위치 및 테스트 샘플 좌표 시스템과 이미지 좌표 시스템 사이의 공지된 변환 M을 고려하면, 테스트 웨이퍼 상의 빔의 위치는 주사 이미지에서의 구조의 위치로부터 계산될 수 있다. 개별 이미지 내의 구조를 명확하게 식별하는 대신에, 주기적으로 구조화되는 샘플을 이용하는 것이 가능하다. 다음으로, 각 경우에 두 입자 빔 사이에 이미지 변위를 결정하는 것이 가능하다: 주기 구조의 일 요소가 예를 들면 제1 입자 빔의 이미지에서 중앙에 놓이나, 제2 입자 빔의 이미지 내에서, 주기 구조의 하나의 (상이한) 요소가 이미지 중심으로부터 (dx, dy) 픽셀만큼 변위되는 방식으로 놓이는 경우, 변위 벡터 (dx, dy)는 테스트 샘플 좌표 시스템에서 변환 매트릭스(M)를 이용하여 표시될 수 있다. 서로에 대한 주기적 구조의 요소의 공지된 위치를 고려하면, 제1 입자 빔 위치에 대한 제2 입자 빔의 위치를 계산하는 것이 가능하다. 이는 다른 입자 빔에 대해 정확하게 동일한 방식으로 발생할 수 있으며, 여기서 각 경우에 에러를 추가하지 않기 위하여 동일 입자 빔(예를 들면, 제1 입자 빔)에 대한 변위를 결정하는 것이 유리하다.
- [0102] b) 중첩 측정 방법
- [0103] 시준된 구조를 갖는 테스트 샘플 대신에, 임의 구조의 샘플이 이용될 수 있다. 이러한 목적을 위하여, 이미지

는 기록되고, 그 이미지 크기는 샘플 상의 입자 빔의 충돌 장소들 사이의 예상 거리보다 더 크다, 즉 인접 빔의 이미지는 중첩한다. 두 개의 인접 입자 빔이 비교되고, 서로에 대한 이미지의 변위가 동일 중첩 영역을 기초로 결정되는 경우, 시준된 주사(픽셀 크기)의 경우에, 이미지 좌표 시스템 내에서 서로에 대한 2개의 입자 빔의 위치를 결정하는 것이 가능하다. 따라서 상대적 위치 벡터가 각각의 인접하는 입자 빔 쌍에 대해 얻어진다. 서로에 대한 입자 빔 전체의 상대적 위치는 이들 위치 벡터를 기초로 계산될 수 있다. 두 입자 빔 사이의 상대 위치는 직접 또는 다른 빔을 이용하는 간접 경로(각 위치 벡터의 합)를 이용하여 결정될 수 있다.

[0104] 텔레센트리서티 측정:

[0105] 상승된 구조를 갖는 테스트 샘플을 이용함에 의한 상술한 측정의 대안으로서, 임의의 평평한 구조의, z-방향으로의(즉, 광학 축에 수평인 높이에서) 기계설비를 갖춘 샘플 스테이지를 이용함에 의해 이동될 수 있는, 테스트 샘플을 이용하는 것도 가능하다. 주사 이미지(전체 빔의 또는 빔들로부터의 선택의)는 다음으로 각각의 경우에 적어도 두 개의 상이한 z-위치에 기록된다. 다음으로, 어떻게 제1 높이(z1)에서의 임의의 입자 빔의 이미지 내의 샘플 구조가 제1 높이(z1)에 대해 변화한 제2 높이(z2)에서의 동일 입자 빔의 이미지 내의 샘플 구조에 대해 변위 되는지를 결정(수동 또는 자동으로) 한다. 시준된 주사의 경우, 변위는 픽셀로부터 예를 들면 나노미터로 변환될 수 있다. 다음으로, (시준된) 샘플 스테이지의 두 높이 사이의 차이 또는 거리(z1 - z2)와 함께, 관련 입자 빔의 충돌 각이 결정된 변위로부터 계산될 수 있다: $t = \text{atan}(\text{변위}/(z1-z2))$. 두 개의 z-위치 이상이 아마도 존재하는 경우, 텔레센트리서티가 복수 회 계산되고 평균화된다. 이 경우, 두 개의 높이(z1 및 z2)가 이미지가 이미징의 초점의 깊이 내에 놓이도록 선택되어야 하는데, 이는 전자-광학 요소의 재조정(초점) 없이 충분한 콘트라스트 또는 샘플 상세를 보인다는 것이며, 다시 말하면, 두 개의 높이(z1, z2)가 초점 평면에 인접해야 한다는 것이다. 높이의 차이(z1-z2)는 전체 높이 위치에서의 임의의 입자 빔의 이미지가 샘플 구조의 공통 영역을 보이도록 선택되어야 하는데, 이는 변위가 너무 커서는 안 된다는 것이다. 다르게는, 다른 곳에서 설명된 입자 빔 위치 측정 또한 각 높이 위치에서 수행될 수 있으며, 서로에 대한 입자 빔의 상대 충돌각은 입자 빔 위치들 사이의 차이 및 (시준된) 샘플 스테이지의 높이 위치들 사이의 차이(z1-z2)로부터 계산될 수 있다. 이 방법을 위하여, 특정 입자 빔의 이미지가 전체 높이 위치에서 샘플 구조의 공통 영역을 보이도록 하는 것이 필요하지는 않다.

[0106] 주사 시준:

[0107] 주사 발생기는 주사 필드의 정확한 설정을 위하여 시준되어야 한다. 이는 상대적으로 큰 주파 필드의 경우의 텔레센트리서티를 취득하기 위하여 주사 방향에 대한 편향 진폭, 주사의 선형성, 두 편향 방향의 직교성 및 틸팅 포인트의 설정을 포함한다. 이는 아래와 같이 이행될 수 있다: 주사 시준 알고리즘은 테스트 웨이퍼 상의 반복 구조의 실제 공지 위치와 주사 이미지 내의 측정된 위치를 비교한다. 주사 이미지에서의 확대, 회전 및 왜곡이 차이를 기초로 결정 및 수정될 수 있다.

[0108] 상대적 해상도 측정:

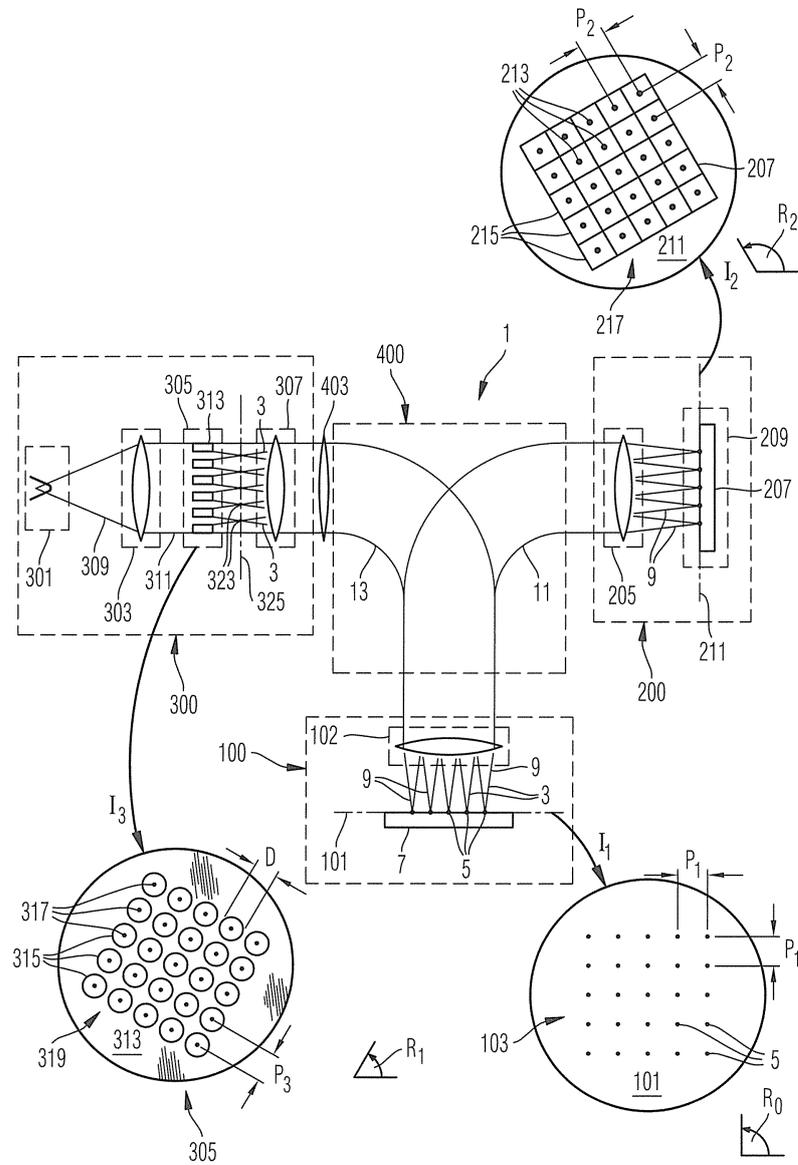
[0109] 멀티-빔 장치의 일상적 동작을 위하여, 각 빔에서의 해상도가 특정 공차 범위 내에서만(즉, ±5%, ±10% 또는 ±20%) 가변하는 것이 필요하다. 더욱이, 전체 빔에 대한 절대 해상도 값을 인지하는 것이 중요하다. 통계적으로 분포된 구조 및 거리를 갖는 (무정형) 샘플로 수행될 수 있다. 이 샘플은 유리하게는 매우 평평한 캐리어를 가지며, 이의 편평도는 멀티-빔 입자 장치의 초점의 깊이보다 더 작다. 이 경우, 캐리어는 상대적으로 낮은 2차 전자 수율(예를 들면, 실리콘, 탄소)을 가지며, 인가된 중금속 아일랜드(예를 들면, 금, 백금)는 높은 2차 전자 수율을 갖는다.

[0110] 예를 들면 이미지 정보의 에지 침도를 이용하는 방법에 의한 절대 해상도 결정은 상대적으로 계산적으로 복잡하다. 높은 정확도에도 불구하고, 이러한 측정은 다수의 빔의 경우에는 실용적이지 않다. 예를 들면 2D 푸리에 변환을 기초로 하는 다른 해상도 방법은 덜 계산적으로 복잡하다. 그러나 예를 들면 푸리에 변환법의 경우에서의 절대 해상도 값은 해상도에 대한 대책을 제공하는 역 공간(reciprocal space)에서의 차단 주파수를 유도하는 차단 임계값의 선택에 크게 의존한다. 멀티-빔 입자 장치에 대한 해상도 결정의 하나의 유리한 이행은 개별 입자 빔(기준 빔)의 이미지만을 기초로 하는 절대 해상도 측정을 이행하고 절대적 관점에서 특징화되는 기준 빔에 대한 상대적 해상도 기준을 이용하여 나머지 입자 빔의 이미지를 결정하는 것으로 구성된다. 이는 유리하게는 푸리에 변환법을 이용하여 수행될 수 있으며, 여기서 상수 차단 주파수는 이미지 전체에 대해 규정될 수 있다. 그러므로 차단 임계값의 절대 선택은 상대 해상도와 관련이 없다. 따라서 대응하는 공간 주파수의 편차는 빔들 사이의 해상도의 등방성을 위한 교정값을 형성한다. 각 개별 빔에 대한 절대 해상도는 절대적 관점에서 측정된 기준 빔의 해상도 및 교정값으로부터 나온다.

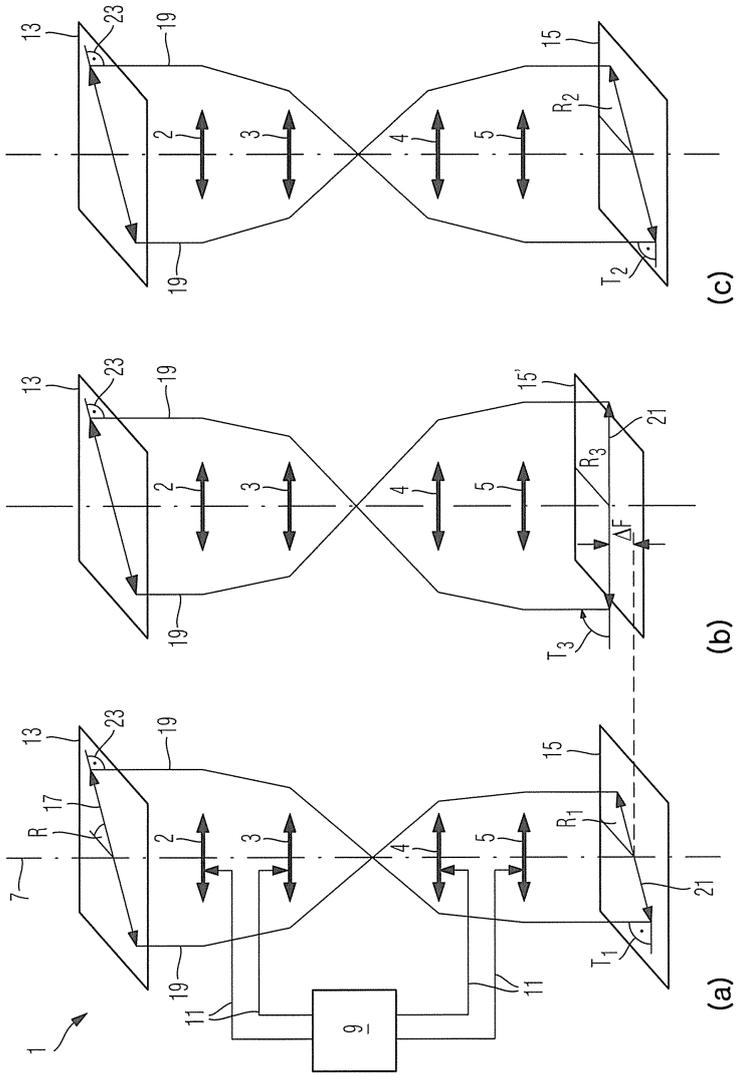
- [0111] 도 14a, 14b 및 14c는 입자 빔 시스템의 오브젝티브 렌즈(102)에 대한 샘플 스테이지(63)의 위치 및 틸팅을 시준하기 위한 기술을 설명한다. 이러한 목적을 위하여, 예를 들면 3개의 측정 프로브(53)는 오브젝티브 렌즈(102)의 기준 표면(55)에 대해, 오브젝티브 렌즈(102)의 주축 둘레에서 원주 방향으로 분포되는 방식으로 배치된 3개의 위치에서 샘플 스테이지(63)의 또는 기준 스테이지(51)의 거리를 측정하기 위하여 샘플 스테이지(63)에 또는 기준 스테이지(51)에 맞춰진다. 이러한 방식으로, 샘플 스테이지(63)는 오브젝티브 렌즈(102)에 대해 정확하게 정렬될 수 있다. 측정 프로브는 다음으로 샘플이 그 위에 배치된 샘플 스테이지가 오브젝티브 렌즈에 대해 이동될 수 있도록 제거될 수 있다.
- [0112] 도 14c는 입자 빔 시스템의 오브젝티브 렌즈(102)에 대한 샘플(65)이 그 위에 놓인 샘플 스테이지(63)의 배치를 도시한다. 오브젝티브 렌즈(102)의 하부 극편(pole shoe)만이 도시된다. 샘플 표면에 평행하고 수직인 샘플을 이동시킬 수 있는 이동 테이블(57)이 적어도 3개의 액츄에이터(59)를 이용하여 샘플 챔버(61)에 고정된다. 이러한 액츄에이터는 챔버에 대한 따라서 추가 기계적 구성 요소(도시 없음)에 의해 챔버(61)에 고정된 오브젝티브 렌즈(102)에 대해 샘플 스테이지의 정렬을 변화시킬 수 있다. 액츄에이터(59)는 예를 들면 수동으로 조절 가능한 설정 스크류 또는 피에조 액츄에이터일 수 있다.
- [0113] 도 14a는 이러한 점에 있어서의 오브젝티브 렌즈(102)에 대한 샘플 스테이지(63)의 위치 및 틸팅을 시준하기 위하여 이동 테이블(57)에 고정된 측정 시스템을 도시한다. 측정 시스템은 기준 플레이트(51)로 구성되며, 여기에는 오브젝티브 렌즈(102)의 기준 표면(55)에 대해 오브젝티브 렌즈(102)의 주축 둘레에서 원주 방향으로 분포되는 방식으로 배치되는 3개의 위치에서 기준 스테이지(51)의 거리를 측정하기 위하여 예를 들면 3개의 측정 프로브(53)가 맞춰진다. 상기 기준 표면(55)은 오브젝티브 렌즈(102)의 축에 매우 정확하게 직교하여 생성될 수 있다. 기준 플레이트(51) 상에 탑재되는 대신에, 측정 프로브는 샘플 스테이지(63) 상에 탑재될 수도 있다.
- [0114] 측정 프로브의 기준 위치를 정확하게 결정하기 위하여, 도 14b는 기준 플레이트(51) 상에 고정될 수 있는 시준 오브젝트(104)를 도시한다. 측정 프로브를 위한 기준 표면(55')은 시준 오브젝트가 기준 플레이트(51) 상에 놓이는 기준 표면(55'')에 평행하게 매우 정확하게 생성될 수 있다. 제1 단계에서, 시준 오브젝트(104)가 탑재되고, 기준 표면(55')에 대한 측정 프로브(53)의 위치가 결정된다. 제2 단계에서, 시준 오브젝트(104)가 제거되고, 측정 프로브(53)가 오브젝티브 렌즈(102)에 대해 이동된다. 설정 스크류를 조정함에 의해, 제1 단계에서의 측정과 제2 단계에서의 측정 사이의 각 측정 프로브의 위치 차이를 전체 측정 프로브의 경우에서 동일 값으로 설정함에 의해 오브젝티브 렌즈(102)에 대해 기준 플레이트(51)를 정확하게 정렬하는 것이 가능하다. 그 후, 측정 프로브(53) 및 기준 플레이트(51)는 제거될 수 있으며, 샘플 스테이지(63)가 탑재될 수 있다. 이동 테이블(57)의 축은 샘플 스테이지(63)에 대해 평행하게 및 직교로 매우 정확하게 생성될 수 있다. 상술한 방법에서 설정 스크류(59)의 조정 이후에, 샘플(65)이 그 위에 배치된 샘플 스테이지(63)가 오브젝티브 렌즈(102)에 대해 및 오브젝티브 렌즈(102)의 축에 대해 직교로 이동될 수 있어서, 샘플(65)에 대해 오브젝티브 렌즈(102)의 축의 방향으로의 거리가 약간만 변한다.

도면

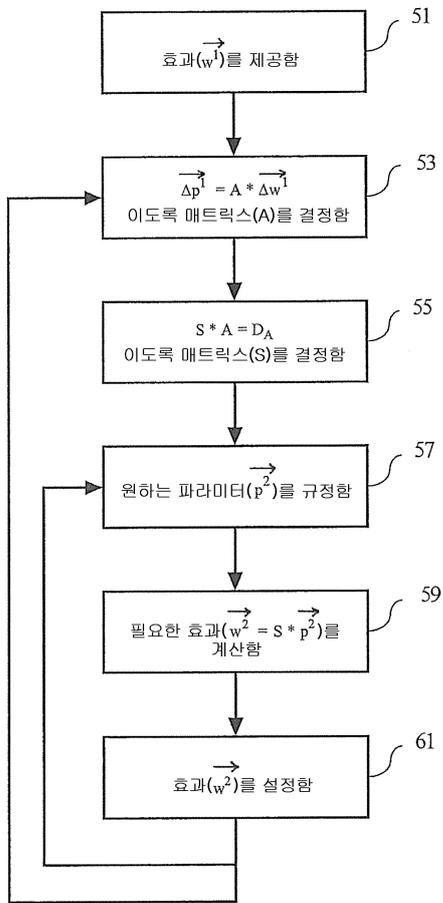
도면1



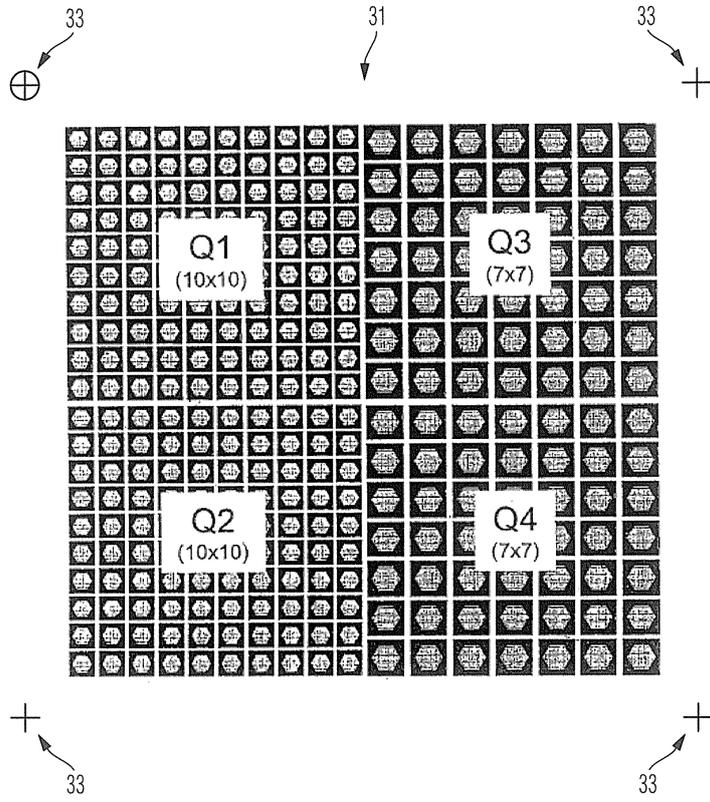
도면2



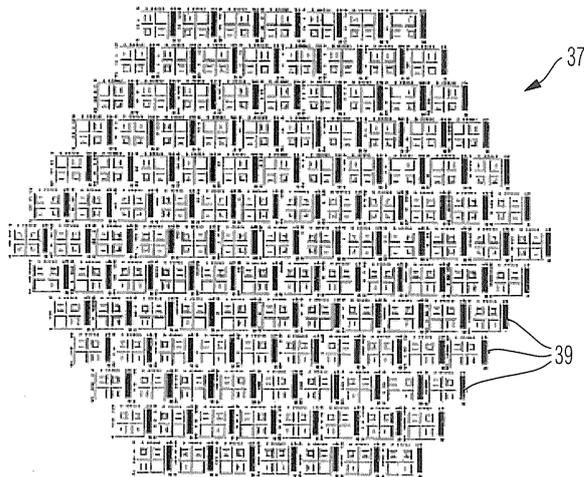
도면3



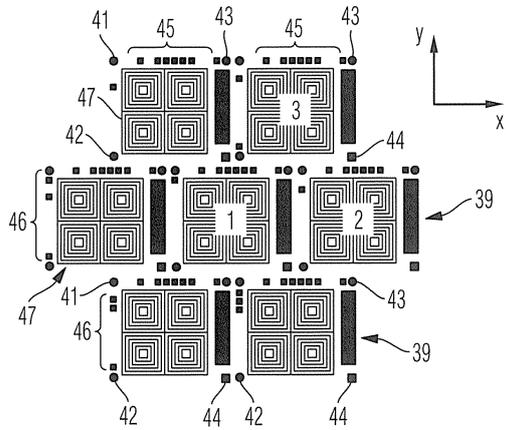
도면4



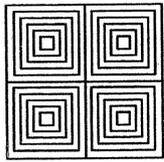
도면5



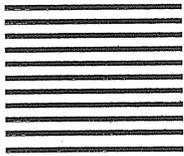
도면6



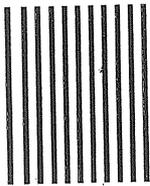
도면7



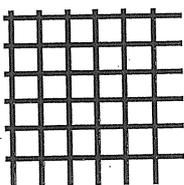
도면8



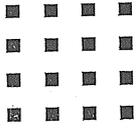
도면9



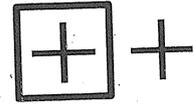
도면10



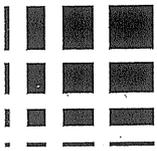
도면11



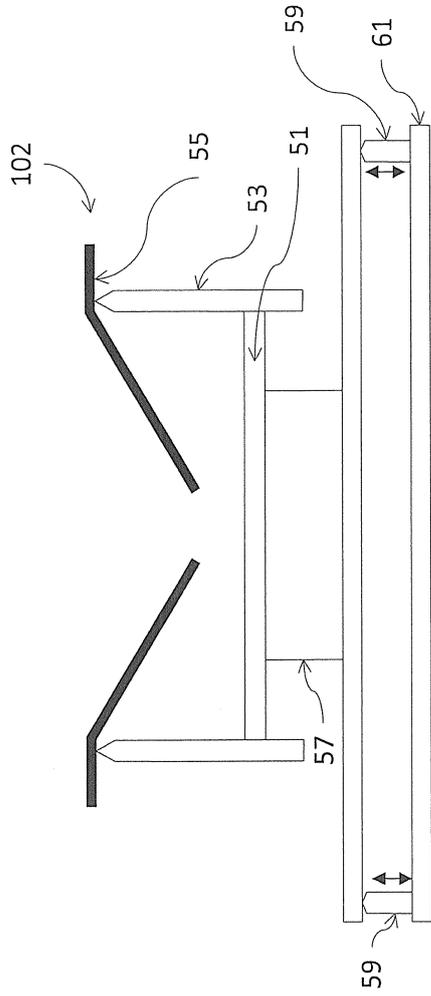
도면12



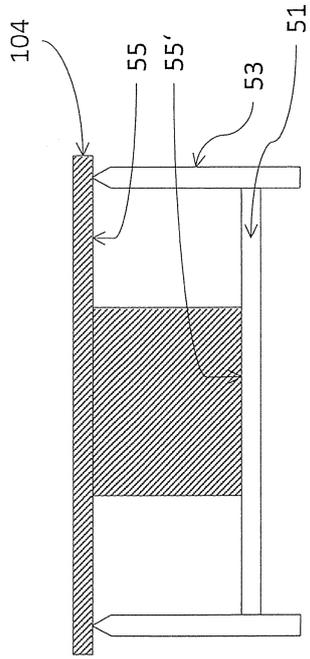
도면13



도면14a



도면14b



도면14c

