



- 1 -

(52) CPC특허분류

H01J 2237/24514 (2013.01)

H01J 2237/24528 (2013.01)

H01J 2237/30472 (2013.01)

H01J 2237/31703 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

빔기준궤도 상에 초점을 가지는 빔평행화기로서, 상기 빔기준궤도를 포함하는 평면에 있어서 상기 초점으로부터 상기 빔평행화기로 각각 상이한 입사각도로 방향지어진 복수의 빔궤도가 목표빔에너지하에서 상기 빔기준궤도와 평행이 되도록, 상기 복수의 빔궤도를 각각 입사각도에 따라 상이한 편향각도로 편향하는 빔평행화기와,

상기 평면 내의 상기 빔기준궤도에 수직인 방향에 관한 빔각도의 오차를 나타내는 빔평행도를, 상기 빔평행화기를 통과하는 이온빔에 대하여 상기 빔평행화기의 하류에서 측정하는 평행도 측정부와,

상기 목표빔에너지에 대한 상기 이온빔의 에너지 어긋남량을 상기 빔평행도에 근거하여 연산하는 에너지 연산부를 구비하고,

상기 평행도 측정부는, 상기 이온빔의 복수의 빔부분에 대하여, 상기 평면 내의 상기 빔기준궤도에 수직인 상기 방향에 관한 빔각도를 측정하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 빔평행도는, 상기 복수의 빔부분 중 제1 빔부분의 빔각도와 제2 빔부분의 빔각도와 차를 이용하여 정의되는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 빔부분은, 제1 빔부분, 제2 빔부분, 및 제3 빔부분을 포함하는 적어도 3개의 빔부분이며,

상기 평행도 측정부는, 상기 방향에 있어서의 위치에 대한 빔각도의 오차 분포를, 측정된 적어도 3개의 빔각도에 근거하여 생성하고,

상기 빔평행도는, 상기 오차 분포에 있어서의 상기 위치의 차와 대응하는 상기 빔각도의 변화량과의 비를 이용하여 정의되는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 4

청구항 2 또는 3에 있어서,

상기 제1 빔부분은, 상기 방향에 있어서 상기 이온빔의 외측 가장자리부에 위치하고, 상기 제2 빔부분은, 상기 방향에 있어서 상기 제1 빔부분과 반대측의 상기 이온빔의 외측 가장자리부에 위치하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 5

빔기준궤도 상에 초점을 가지는 빔평행화기로서, 상기 빔기준궤도를 포함하는 평면에 있어서 상기 초점으로부터 상기 빔평행화기로 각각 상이한 입사각도로 방향지어진 복수의 빔궤도가 목표빔에너지하에서 상기 빔기준궤도와 평행이 되도록, 상기 복수의 빔궤도를 각각 입사각도에 따라 상이한 편향각도로 편향하는 빔평행화기와,

상기 평면 내의 상기 빔기준궤도에 수직인 방향에 관한 빔각도의 오차를 나타내는 빔평행도를, 상기 빔평행화기를 통과하는 이온빔에 대하여 상기 빔평행화기의 하류에서 측정하는 평행도 측정부와,

상기 목표빔에너지에 대한 상기 이온빔의 에너지 어긋남량을 상기 빔평행도에 근거하여 연산하는 에너지 연산부를 구비하고,

상기 에너지 연산부는, 상기 목표빔에너지를 이용하여 정의되는 이미 알려진 관계에 따라 상기 빔평행도로부터 상기 에너지 어긋남량을 연산하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 6

빔기준궤도 상에 초점을 가지는 빔평행화기로서, 상기 빔기준궤도를 포함하는 평면에 있어서 상기 초점으로부터 상기 빔평행화기로 각각 상이한 입사각도로 방향지어진 복수의 빔궤도가 목표빔에너지하에서 상기 빔기준궤도와 평행이 되도록, 상기 복수의 빔궤도를 각각 입사각도에 따라 상이한 편향각도로 편향하는 빔평행화기와,

상기 평면 내의 상기 빔기준궤도에 수직인 방향에 관한 빔각도의 오차를 나타내는 빔평행도를, 상기 빔평행화기를 통과하는 이온빔에 대하여 상기 빔평행화기의 하류에서 측정하는 평행도 측정부와,

상기 목표빔에너지에 대한 상기 이온빔의 에너지 어긋남량을 상기 빔평행도에 근거하여 연산하는 에너지 연산부를 구비하고,

상기 빔평행화기의 상류에 배치되어, 복수단의 고주파 공진기를 구비하는 고에너지 다단직선가속유닛과,

연산된 상기 이온빔의 에너지 어긋남량에 근거하여, 상기 이온빔이 상기 목표빔에너지를 가지도록 상기 고에너지 다단직선가속유닛을 제어하는 제어부를 더욱 구비하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 제어부는, 적어도 1개의 고주파 공진기에 있어서의 전압진폭을 제어하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 적어도 1개의 고주파 공진기는, 최종단의 고주파 공진기를 포함하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 9

청구항 6 내지 8 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제어부는, 적어도 1개의 고주파 공진기에 있어서의 고주파의 위상을 제어하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 10

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 평면 내의 상기 빔기준궤도에 수직인 상기 방향을 x방향으로 하고, 상기 빔기준궤도 및 x방향에 수직인 방향을 y방향으로 할 때,

상기 빔평행화기는, x방향을 따라 넓어지는 빔 통과영역을 상기 빔평행화기의 하류에 있어서 형성하고,

상기 평행도 측정부는, 상기 이온빔을, y방향으로 긴 y빔부분을 가지는 측정용 빔으로 정형하기 위한 마스크를 구비하며,

상기 평행도 측정부는, 상기 y빔부분의 x방향 위치를 검출하고, 검출된 x방향 위치로부터 상기 빔평행도를 측정하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 11

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 빔평행화기의 상류에 배치되어 있는 빔주사기를 더욱 구비하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 12

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,

상기 평행도 측정부는, 피처리물에 이온주입처리를 행하기 위한 처리실에 설치되어 있는 것을 특징으로 하는 이

온주입장치.

청구항 13

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,
상기 빔평행화기는, 정전형의 빔평행화기인 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 14

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,
상기 빔평행화기는, 자장형의 빔평행화기인 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 15

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,
상기 에너지 어긋남량이 미리 정해진 임계값을 넘는 경우에 이온주입처리를 중단하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 16

청구항 1 내지 3 중 어느 한 항에 있어서,
상기 에너지 어긋남량이 미리 정해진 임계값을 넘는 경우에 상기 이온빔의 에너지를 상기 목표빔에너지에 가까워지게 보정하도록 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 이온주입장치.

청구항 17

이온주입장치에 있어서의 빔에너지 측정장치로서,
상기 이온주입장치의 빔평행화기의 하류에서 빔평행도를 측정하는 평행도 측정부와,
목표빔에너지에 대한 이온빔의 에너지 어긋남량을, 상기 목표빔 에너지를 이용하여 정의되는 이미 알려진 관계에 따라 상기 빔평행도로부터 연산하는 에너지 연산부를 구비하고,
상기 평행도 측정부는, 상기 이온빔의 복수의 빔부분에 대하여, 빔기준궤도를 포함하는 평면 내의 상기 빔기준궤도에 수직인 방향에 관한 빔각도를 측정하는 것을 특징으로 하는 빔에너지 측정장치.

청구항 18

이온주입장치에 있어서 빔평행화기의 하류에서 빔평행도를 측정하는 단계와,
목표빔에너지에 대한 이온빔의 에너지 어긋남량을, 상기 목표빔 에너지를 이용하여 정의되는 이미 알려진 관계에 따라 상기 빔평행도로부터 연산하는 단계를 구비하고,
상기 빔평행도를 측정하는 단계는, 상기 이온빔의 복수의 빔부분에 대하여, 빔기준궤도를 포함하는 평면 내의 상기 빔기준궤도에 수직인 방향에 관한 빔각도를 측정하는 것을 특징으로 하는 빔에너지 측정방법.

청구항 19

이온주입장치에 있어서 빔평행화기의 하류에서 빔평행도를 측정하는 단계와,
목표빔에너지에 대한 이온빔의 에너지 어긋남량을, 상기 목표빔 에너지를 이용하여 정의되는 이미 알려진 관계에 따라 상기 빔평행도로부터 연산하는 단계를 구비하고,
상기 에너지 어긋남량이 미리 정해진 임계값을 넘는 경우에 이온주입처리를 중단하는 단계를 더욱 구비하는 것을 특징으로 하는 빔에너지 측정방법.

청구항 20

이온주입장치에 있어서 빔평행화기의 하류에서 빔평행도를 측정하는 단계와,
목표빔에너지에 대한 이온빔의 에너지 어긋남량을, 상기 목표빔 에너지를 이용하여 정의되는 이미 알려진 관계에

따라 상기 빔평행도로부터 연산하는 단계를 구비하고,

상기 에너지 어긋남량이 미리 정해진 임계값을 넘는 경우에 상기 이온빔의 에너지를 상기 목표빔에너지에 가까워지도록 보정하는 것을 특징으로 하는 빔에너지 측정방법.

청구항 21

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은, 2014년 3월 14일에 출원된 일본 특허출원 제2014-052176호에 근거하여 우선권을 주장한다. 그 출원의 전체 내용은 이 명세서 중에 참고로 인용되어 있다.

[0002] 본 발명은, 이온주입장치, 빔에너지 측정장치, 및 빔에너지 측정방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 이온빔의 에너지를 측정하는 장치가 이온주입장치에 설치되어 있는 경우가 있다. 예를 들면, 어느 에너지 측정장치는, 규정 거리에 있어서의 이온의 비행시간을 측정하여, 그 거리와 측정 비행시간으로부터 이온의 속도를 구하고, 그 속도를 이용하여 이온의 에너지를 연산한다. 또, 다른 측정장치는, 이온빔을 타겟에 맞혔을 때에 발생하는 특성 X선으로부터 이온빔의 에너지를 측정한다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 일본 특허공개공보 2000-100372호

(특허문헌 0002) 일본 특허공개공보 평8-148112호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 상기 서술한 측정장치는, 에너지 측정을 위한 전용의 구성을 추가적으로 필요로 한다. 예를 들면, 이온의 비행시간을 측정하는 경우에는, 규정 거리 이격되어 배치된 2개의 센서가 사용된다. 각 센서로 이온의 통과를 검출하고, 그 시간차가 이온의 비행시간으로 간주된다. 또, 특성 X선을 검출하는 경우에는, 특성 X선을 발생시키는 전용의 타겟과 X선 검출기가 필요하다. 일반적으로, 새로운 구성을 이온주입장치에 부가하면, 이온주입장치의 제조 코스트의 상승을 초래할 수 있다.

[0006] 본 발명의 일 양태의 예시적인 목적의 하나는, 이온주입장치에 있어서 코스트의 현저한 상승을 수반하지 않고 이온빔의 에너지 측정을 가능하게 하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 양태에 의하면, 빔기준궤도 상에 초점을 가지는 빔평행화기로서, 상기 빔기준궤도를 포함하는 평면에 있어서 상기 초점으로부터 상기 빔평행화기로 각각 상이한 입사각도로 방향지어진 복수의 빔궤도가 목표빔 에너지하에서 상기 빔기준궤도와 평행이 되도록, 상기 복수의 빔궤도를 각각 입사각도에 따라 상이한 편향각도로 편향하는 빔평행화기와, 상기 평면 내의 상기 빔기준궤도에 수직인 방향에 관한 빔각도의 오차를 나타내는 빔평행도를, 상기 빔평행화기를 통과하는 이온빔에 대하여 상기 빔평행화기의 하류에서 측정하는 평행도 측정부와, 상기 목표빔에너지에 대한 상기 이온빔의 에너지 어긋남량을 상기 빔평행도에 근거하여 연산하는 에너지 연산부를 구비하는 것을 특징으로 하는 이온주입장치가 제공된다.

[0008] 본 발명의 일 양태에 의하면, 이온주입장치에 있어서의 빔에너지 측정장치로서, 상기 이온주입장치의 빔평행화기의 하류에서 빔평행도를 측정하는 평행도 측정부와, 목표빔에너지에 대한 이온빔의 에너지 어긋남량을, 상기

목표빔에너지를 이용하여 정의되는 이미 알려진 관계에 따라 상기 빔평행도로부터 연산하는 에너지 연산부를 구비하는 것을 특징으로 하는 빔에너지 측정장치가 제공된다.

[0009] 본 발명의 일 양태에 의하면, 이온주입장치에 있어서 빔평행화기의 하류에서 빔평행도를 측정하는 단계와, 목표 빔에너지에 대한 이온빔의 에너지 어긋남량을, 상기 목표빔에너지를 이용하여 정의되는 이미 알려진 관계에 따라 상기 빔평행도로부터 연산하는 단계를 구비하는 것을 특징으로 하는 빔에너지 측정방법이 제공된다.

[0010] 다만, 이상의 구성요소의 임의의 조합이나 본 발명의 구성요소나 표현을, 방법, 장치, 시스템 등의 사이에서 서로 치환한 것도 또한, 본 발명의 양태로서 유효하다.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 의하면, 이온주입장치에 있어서 코스트의 현저한 상승을 수반하지 않고 이온빔의 에너지를 측정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0012] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 관한 이온주입장치를 개략적으로 나타내는 상면도이다.
- 도 2는 도 1에 나타내는 고에너지 다단직선가속유닛의 개략 구성을 포함하는 전체 레이아웃을 나타내는 평면도이다.
- 도 3은 도 1에 나타내는 고에너지 다단직선가속유닛의 제어부의 기능 및 구성을 설명하기 위한 블록도이다.
- 도 4는 도 1에 나타내는 빔수송라인유닛의 일부의 개략 구성을 나타내는 평면도이다.
- 도 5에 있어서, 도 5(a), 도 5(b), 및 도 5(c)는, 본 발명의 일 실시형태에 관한 빔평행도의 측정을 설명하기 위한 도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시형태에 관한 빔평행도의 측정을 설명하기 위한 도이다.
- 도 7에 있어서, 도 7(a) 및 도 7(b)는, 본 발명의 일 실시형태에 관한 빔평행도의 측정을 설명하기 위한 도이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시형태에 관한 빔측정방법을 예시하는 플로차트이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시형태에 관한 빔에너지 측정장치의 일례를 개략적으로 나타낸다.
- 도 10은 도 9에 나타내는 평행도 측정부를 개략적으로 나타내는 도이다.
- 도 11은 도 10에 나타내는 평행도 측정부를 마스크의 y방향 중앙에서 절단하여 y방향으로부터 본 도이다.
- 도 12는 도 10에 나타내는 평행도 측정부를 마스크의 y슬릿의 x방향 위치에서 절단하여 x방향으로부터 본 도이다.
- 도 13은 도 10에 나타내는 평행도 측정부를 마스크의 x슬릿의 x방향 위치에서 절단하여 x방향으로부터 본 도이다.
- 도 14는 도 9에 나타내는 평행도 측정부를 이용하는 평행도 측정처리의 일례를 설명하기 위한 플로차트이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하, 도면을 참조하면서, 본 발명을 실시하기 위한 형태에 대하여 상세하게 설명한다. 다만, 도면의 설명에 있어서 동일한 요소에는 동일한 부호를 붙이고, 중복되는 설명을 적절히 생략한다. 또, 이하에 서술하는 구성은 예시이며, 본 발명의 범위를 전혀 한정하는 것은 아니다.

[0014] 도 1은, 본 발명의 일 실시형태에 관한 이온주입장치(100)를 개략적으로 나타내는 상면도이다. 이온주입장치(100)는, 이른바 고에너지 이온주입장치에 적합하다. 고에너지 이온주입장치는, 고주파 선형가속방식의 이온가속기와 고에너지 이온수송용 빔라인을 가지는 이온주입장치이며, 이온소스(10)에서 발생한 이온을 가속하고, 그렇게 하여 얻어진 이온빔(B)을 빔라인을 따라 피처리물(예를 들면 기판 또는 웨이퍼(40))까지 수송하여, 피처리물에 이온을 주입한다.

[0015] 도 1에는, 이온주입장치(100)의 빔라인부의 구성요소의 레이아웃이 나타나 있다. 이온주입장치(100)의 빔라인부

는, 이온소스(10)와, 피처리물에 이온주입처리를 행하기 위한 처리실(21)을 구비하고 있으며, 이온소스(10)로부터 피처리물을 향하여 이온빔(B)을 수송하도록 구성되어 있다.

[0016] 도 1에 나타내는 바와 같이, 고에너지 이온주입장치(100)는, 이온을 생성하여 질량분석하는 이온빔생성유닛(12)과, 이온빔을 가속하여 고에너지 이온빔으로 하는 고에너지 다단직선가속유닛(14)과, 고에너지 이온빔의 에너지분석, 기준궤도 보정, 에너지 분산의 제어를 행하는 빔편향유닛(16)과, 분석된 고에너지 이온빔을 웨이퍼(40)까지 수송하는 빔수송라인유닛(18)과, 수송된 고에너지 이온빔을 균일하게 반도체 웨이퍼에 주입하는 기관처리공급유닛(20)을 구비한다.

[0017] 이온빔생성유닛(12)은, 이온소스(10)와, 인출전극(11)과, 질량분석장치(22)를 가진다. 이온빔생성유닛(12)에서는, 이온소스(10)로부터 인출전극(11)을 통하여 빔이 인출됨과 동시에 가속되고, 인출가속된 빔은 질량분석장치(22)에 의하여 질량분석된다. 질량분석장치(22)는, 질량분석자석(22a), 질량분석슬릿(22b)을 가지고 있다. 질량분석슬릿(22b)은, 질량분석자석(22a)의 바로 뒤에 배치하는 경우도 있지만, 실시예에서는, 그 다음의 구성인 고에너지 다단직선가속유닛(14)의 입구부 내에 배치하고 있다. 질량분석장치(22)에 의한 질량분석의 결과, 주입에 필요한 이온종만이 선별되고, 선별된 이온종의 이온빔은, 다음의 고에너지 다단직선가속유닛(14)으로 유도된다.

[0018] 도 2는, 고에너지 다단직선가속유닛(14)의 개략 구성을 포함하는 전체 레이아웃을 나타내는 평면도이다. 고에너지 다단직선가속유닛(14)은, 이온빔의 가속을 행하는 복수의 선형가속장치, 즉, 1개 이상의 고주파 공진기(14a)를 사이에 두는 가속궤를 구비하고 있다. 고에너지 다단직선가속유닛(14)은, 고주파(RF) 전장(電場)의 작용에 의하여, 이온을 가속할 수 있다.

[0019] 고에너지 다단직선가속유닛(14)은, 고에너지 이온주입용의 기본적인 복수단의 고주파 공진기(14a)를 구비한 제1 선형가속기(15a)를 구비한다. 고에너지 다단직선가속유닛(14)은, 초고에너지 이온주입용의 추가 복수단의 고주파 공진기(14a)를 구비한 제2 선형가속기(15b)를 구비해도 된다. 고에너지 다단직선가속유닛(14)에 의하여, 더욱 가속된 이온빔은, 빔편향유닛(16)에 의하여 방향이 변화된다.

[0020] 고주파(RF) 가속을 이용한 이온주입장치에 있어서는, 고주파의 파라미터로서 전압의 진폭(V)[kV], 주파수(f)[Hz]를 고려해야 한다. 또한, 복수단의 고주파 가속을 행하는 경우에는, 서로의 고주파의 위상(Φ)[deg]이 파라미터로서 가해진다. 이에 더해, 가속의 도중이나 가속 후에 이온빔의 상하좌우로의 확산을 수렴·발산 효과에 의하여 제어하기 위한 자장 렌즈(예를 들면, 4극 전자석)나 전장 렌즈(예를 들면, 전장 4극 전극)가 필요하고, 이들의 운전 파라미터는, 그곳을 통과하는 시점에서의 이온의 에너지에 의하여 최적치가 바뀌는 것에 더해, 가속 전계의 강도가 수렴·발산에 영향을 미치기 때문에, 고주파의 파라미터를 결정한 후에 이들의 값을 결정하게 된다.

[0021] 도 3은, 복수의 고주파 공진기 선단의 가속전장(궤)을 직선형상으로 나열한 고에너지 다단직선가속유닛 및 수렴발산렌즈의 제어부(120)의 구성을 나타내는 블록도이다.

[0022] 고에너지 다단직선가속유닛(14)에는 1개 이상의 고주파 공진기(14a)가 포함되어 있다. 고에너지 다단직선가속유닛(14)의 제어에 필요한 구성요소로서는, 오퍼레이터가 필요한 조건을 입력하기 위한 입력장치(52), 입력된 조건으로부터 각종 파라미터를 수치 계산하고, 또한 각 구성요소를 제어하기 위한 제어연산장치(54), 고주파의 전압진폭을 조정하기 위한 진폭제어장치(56), 고주파의 위상을 조정하기 위한 위상제어장치(58), 고주파의 주파수를 제어하기 위한 주파수제어장치(60), 고주파전원(62), 수렴발산렌즈(64)를 위한 수렴발산렌즈전원(66), 운전 파라미터를 표시하기 위한 표시장치(68), 결정된 파라미터를 기억해 두기 위한 기억장치(70)가 필요하다. 또, 제어연산장치(54)에는, 미리 각종 파라미터를 수치 계산하기 위한 수치계산코드(프로그램)가 내장되어 있다.

[0023] 고주파 선형가속기의 제어연산장치(54)에서는, 내장되어 있는 수치계산코드에 의하여, 입력된 조건을 근거로 이온빔의 가속 및 수렴·발산을 시뮬레이션하여, 최적의 수송 효율이 얻어지도록 고주파 파라미터(전압진폭, 주파수, 위상)를 산출한다. 또 동시에, 효율적으로 이온빔을 수송하기 위한 수렴발산렌즈(64)의 파라미터(Q코일전류, 또는 Q전극전압)도 산출한다. 계산된 각종 파라미터는, 표시장치(68)에 표시된다. 고에너지 다단직선가속유닛(14)의 능력을 넘은 가속 조건에 대해서는, 답이 없는 것을 의미하는 표시가 표시장치(68)에 표시된다.

[0024] 전압진폭 파라미터는, 제어연산장치(54)로부터 진폭제어장치(56)로 보내지고, 진폭제어장치(56)가, 고주파전원(62)의 진폭을 조정한다. 위상 파라미터는, 위상제어장치(58)에 보내지고, 위상제어장치(58)가, 고주파전원(62)의 위상을 조정한다. 주파수 파라미터는, 주파수제어장치(60)에 보내진다. 주파수제어장치(60)는, 고주파전원(62)의 출력 주파수를 제어함과 함께, 고에너지 다단직선가속유닛(14)의 고주파 공진기(14a)의 공진 주파수를

제어한다. 제어연산장치(54)는 또, 산출된 수렴발산렌즈 파라미터에 의하여, 수렴발산렌즈전원(66)을 제어한다.

- [0025] 이온빔을 효율적으로 수송하기 위한 수렴발산렌즈(64)는, 고주파 선형가속기의 내부 혹은 그 전후에, 필요한 수가 배치된다. 즉, 복수단의 고주파 공진기(14a)의 선단의 가속궤의 전후에는 교대로 발산렌즈 또는 수렴렌즈가 구비되어 있다. 또, 제2 선형가속기(15b)의 종단의 가로수렴렌즈(64a)의 후방에는 추가 세로수렴렌즈(64b)가 배치되고, 고에너지 다단직선가속유닛(14)을 통과하는 고에너지 가속이온빔의 수렴과 발산을 조정하여, 후단의 빔편향유닛(16)에 최적인 이차원 빔프로파일의 이온빔을 입사시키도록 하고 있다.
- [0026] 도 1 및 도 2에 나타나는 바와 같이, 빔편향유닛(16)은, 에너지분석 전자석(24)과, 에너지 분산을 억제하는 가로수렴 4중극 렌즈(26)와, 에너지분석슬릿(28)과, 스티어링(궤도 보정)을 제공하는 편향전자석(30)을 가진다. 다만, 에너지분석 전자석(24)은, 에너지 필터 전자석(EFM)으로 불리는 경우도 있다. 고에너지 이온빔은, 빔편향유닛(16)에 의하여 방향 전환되어, 웨이퍼(40)의 방향을 향한다.
- [0027] 빔수송라인유닛(18)은, 빔편향유닛(16)으로부터 나온 이온빔(B)을 수송하는 것이며, 수렴/발산렌즈군으로 구성되는 빔정형기(32)와, 빔주사기(34)와, 빔평행화기(36)와, 최종 에너지 필터(38)(최종 에너지분석슬릿을 포함)를 가진다. 빔수송라인유닛(18)의 길이는, 이온빔생성유닛(12)과 고에너지 다단직선가속유닛(14)과의 길이에 맞추어 설계되어 있으며, 빔편향유닛(16)으로 연결되어, 전체적으로 U자 형상의 레이아웃을 형성한다.
- [0028] 빔수송라인유닛(18)의 하류측의 종단에는, 기관처리공급유닛(20)이 설치되어 있으며, 처리실(21) 내에, 이온빔(B)의 빔전류, 위치, 주입각도, 수렴 발산각, 상하좌우 방향의 이온분포 등을 측정하는 빔모니터, 이온빔(B)에 의한 웨이퍼(40)의 대전을 방지하는 대전방지장치, 웨이퍼(40)를 반입 반출하여 적정한 위치·각도로 설치하는 웨이퍼 반송 기구, 이온주입 중 웨이퍼(40)를 유지하는 ESC(Electro Static Chuck), 주입 중 빔전류의 변동에 따른 속도로 웨이퍼(40)를 빔스캔 방향과 직각 방향으로 작동시키는 웨이퍼 스캔 기구가 수납되어 있다.
- [0029] 이와 같이 하여, 이온주입장치(100)의 빔라인부는, 대향하는 2개의 긴 직선부를 가지는 수평의 U자 형상의 굴곡형 빔라인으로 구성되어 있다. 상류의 긴 직선부는, 이온소스(10)로 생성한 이온빔(B)을 가속하는 복수의 유닛으로 이루어진다. 하류의 긴 직선부는, 상류의 긴 직선부에 대하여 방향 전환된 이온빔(B)을 조정하여 웨이퍼(40)에 주입하는 복수의 유닛으로 이루어진다. 2개의 긴 직선부는 대략 동일한 길이로 구성되어 있다. 2개의 긴 직선부의 사이에, 메인터넌스 작업을 위하여 충분한 넓이의 작업 스페이스(R1)가 형성되어 있다.
- [0030] 이와 같이 각 유닛을 U자 형상으로 배치한 고에너지 이온주입장치(100)는, 설치 면적을 억제하면서 양호한 작업성이 확보되어 있다. 또, 고에너지 이온주입장치(100)에 있어서는, 각 유닛이나 각 장치를 모듈 구성으로 함으로써, 빔라인 기준위치에 맞추어 착탈, 장착이 가능하게 되어 있다.
- [0031] 또, 고에너지 다단직선가속유닛(14)과, 빔수송라인유닛(18)이 굴곡되어 배치되기 때문에, 고에너지 이온주입장치(100)의 전체 길이를 억제할 수 있다. 종래 장치에서는 이들이 대략 직선형상으로 배치되어 있다. 또, 빔편향유닛(16)을 구성하는 복수의 편향전자석의 곡률 반경은, 장치폭을 최소로 하도록 최적화되어 있다. 이로써, 장치의 설치 면적을 최소화함과 함께, 고에너지 다단직선가속유닛(14)과 빔수송라인유닛(18)과의 사이에 끼워진 작업 스페이스(R1)에 있어서, 고에너지 다단직선가속유닛(14)이나 빔수송라인유닛(18)의 각 장치에 대한 작업이 가능해진다. 또, 메인터넌스 간격이 비교적 짧은 이온소스(10)와, 기관의 공급/취출이 필요한 기관처리공급유닛(20)이 인접하여 배치되기 때문에, 작업자의 이동이 적어진다.
- [0032] 도 4는, 빔수송라인유닛(18)의 일부의 개략 구성을 나타내는 평면도이다. 빔편향유닛(16)(도 1 참조)에 의하여 필요한 이온중만이 분리되고, 필요한 에너지값의 이온만이 된 빔은, 빔정형기(32)에 의하여 원하는 단면 형상으로 정형된다. 도시하는 바와 같이, 빔정형기(32)는, Q(4중극)렌즈 등(전장식 혹은 자장식)의 수렴/발산렌즈군에 의하여 구성된다. 정형된 단면 형상을 가지는 빔은, 빔주사기(34)에 의하여 도 4의 지면(紙面)에 평행한 방향으로 스캔된다. 예를 들면, 가로수렴(세로발산)렌즈(QF)/가로발산(세로수렴)렌즈(QD)/가로수렴(세로발산)렌즈(QF)로 이루어지는 트리플렛 Q렌즈군으로서 구성된다. 빔정형기(32)는, 필요에 따라서, 가로수렴렌즈(QF), 가로발산렌즈(QD)를 각각 단독으로, 혹은 복수 조합하여 구성할 수 있다.
- [0033] 빔주사기(34)는, 주기 변동하는 전장에 의하여, 이온빔의 진행방향과 직교하는 수평 방향으로 이온빔을 주기적으로 왕복 주사시키는 편향 주사장치(빔스캐너라고도 함)이다.
- [0034] 빔주사기(34)는, 빔진행방향에 관하여, 이온빔의 통과 영역을 사이에 두도록 하여 대향 배치된 한 쌍(2매)의 대향전극(34a, 34b)(이극식 편향 주사 전극)을 구비하고, 0.5Hz~4000Hz 범위의 일정한 주파수에서 정부로 변동하는 삼각파에 근사하는 주사 전압이, 2매의 대향전극(34a, 34b)에 각각 역부호로 인가된다. 이 주사 전압은, 2개의 대향전극(34a, 34b)의 갭 내에 있어서, 그곳을 통과하는 빔을 편향시키는 변동하는 전장을 생성한다.

그리고, 주사 전압의 주기적인 변동에 의하여, 갭을 통과하는 빔이 수평 방향으로 스캔된다.

- [0035] 빔주사기(34)의 하류측에는, 이온빔의 통과 영역에 개구를 가지는 서프레션 전극(74)이 2개의 그라운드 전극(78a, 78b)의 사이에 배치되어 있다. 상류측에는, 주사 전극의 전방에 그라운드 전극(76a)을 배치하고 있지만, 필요에 따라서 하류측과 동일한 구성의 서프레션 전극을 배치할 수 있다. 서프레션 전극은, 정전극으로의 전자의 침입을 억제한다.
- [0036] 스캔 하우징 내에 있어서, 빔주사기(34)의 하류측에는, 빔주사 공간부(34c)가 긴 구간에서 형성되어, 빔주사 각도가 좁은 경우에도 충분한 스캔폭을 얻을 수 있도록 구성되어 있다. 빔주사 공간부(34c)의 하류에 있는 스캔 하우징의 후방에는, 편향된 이온빔을, 빔주사 편향 전의 이온빔의 방향이 되도록 조정하는, 즉, 빔라인(L1)에 평행이 되도록 다시 퍼는 빔평행화기(36)가 설치되어 있다.
- [0037] 빔평행화기(36)에서 발생하는 수차(빔평행화기의 중심부와 좌우 단부의 초점거리의 차)는, 빔주사기(34)의 편향각의 2승에 비례하므로, 빔주사 공간부(34c)를 길게 하여 편향각을 작게 하는 것은, 빔평행화기(36)의 수차를 억제하는 것에 크게 기여한다. 수차가 크면, 반도체 웨이퍼에 이온빔을 주입할 때에, 웨이퍼의 중심부와 좌우 단부에서 빔사이즈와 빔발산각이 상이하기 때문에, 제품의 품질에 편차가 발생하는 경우가 있다.
- [0038] 또, 이 빔주사 공간부(34c)의 길이를 조정함으로써, 빔수송라인유닛의 길이를, 고에너지 다단직선가속유닛(14)의 길이에 맞출 수 있다.
- [0039] 빔평행화기(36)에는, 전장 평행화 렌즈(84)가 배치되어 있다. 도 4에 나타내는 바와 같이, 전장 평행화 렌즈(84)는, 대략 쌍곡선 형상의 복수의 가속 전극쌍과 감속 전극쌍으로 구성되어 있다. 각 전극쌍은, 방전이 일어나지 않을 정도의 넓이의 가속·감속갭을 통하여 마주보고 있으며, 가속 감속갭에는, 이온빔의 가속을 일으키는 축방향의 성분과, 기준축으로부터의 거리에 비례하여 강해지고, 이온빔에 가로방향의 수렴 작용을 미치는 가로성분을 겸비하는 전계가 형성된다.
- [0040] 가속갭을 사이에 두는 전극쌍 중 하류측의 전극과, 감속갭의 상류측의 전극, 및, 감속갭의 하류측의 전극과 다음의 가속갭의 상류측의 전극은, 동일 전위가 되도록, 각각 일체의 구조체를 형성하고 있다.
- [0041] 전장 평행화 렌즈(84)의 상류측으로부터 최초 전극(입사 전극)과 최후 전극(출사 전극)은, 접지 전위로 유지되어 있다. 이로써, 평행화 렌즈(84) 통과 전후로, 빔의 에너지는 변화하지 않는다.
- [0042] 중간 전극 구조체에 있어서, 가속갭의 출구측 전극과 감속갭의 입구측 전극에는, 가변식 정전압의 부전원(90)이, 감속갭의 출구측 전극과 가속갭의 입구측 전극에는, 가변식 정전압의 정전원이 접속되어 있다(n단일 때는 부정부정부령...). 이로써, 이온빔은 가속·감속을 반복하면서, 빔라인의 기준궤도와 평행한 방향으로 단계적으로 향하여 간다. 그리고, 최종적으로 편향 주사 전의 이온빔 진행방향(빔라인 궤도방향)에 평행한 궤도에 실린다.
- [0043] 도 4에 나타내는 바와 같이, 빔평행화기(36)는, 설계상의 빔기준궤도(예를 들면, 도 4에 나타내는 빔라인(L1))상에 초점(F)을 가진다. 빔평행화기(36)에 입사하는 복수의 빔궤도(37a, 37b, 37c)는 각각 빔기준궤도에 대하여 상이한 각도를 가진다. 빔평행화기(36)는, 복수의 빔궤도(37a, 37b, 37c)의 각각을 입사각도에 따라 상이한 편향각도로 편향하고, 이로써 복수의 빔궤도(37a, 37b, 37c)가 빔기준궤도와 평행이 되도록, 설계되어 있다. 빔평행화기(36)는, 소정의 이온주입 조건(예를 들면 목표빔에너지를 포함)에 따라 미리 정해진 전기적 입력(예를 들면 전압)을 받아 작동한다.
- [0044] 복수의 빔궤도(37a, 37b, 37c)는, 빔기준궤도를 포함하는 일 평면 상에 있으며, 이 평면에 있어서 초점(F)으로부터 빔평행화기(36)로 각각 상이한 입사각도로 방향지어진다. 본 실시형태에 있어서는 복수의 빔궤도(37a, 37b, 37c)는 빔주사기(34)에 의한 스캔의 결과이기 때문에, 이 평면은, 빔주사기(34)의 스캔 평면(xz면)에 상당한다. 이들 빔궤도 중 어느 것(도 4에 있어서는 빔궤도(37b))이 빔기준궤도에 일치하고 있어도 된다. 본 실시형태에 있어서는 빔기준궤도는 빔평행화기(36)에 있어서 편향되지 않고 빔평행화기(36)를 직진한다.
- [0045] 본 실시형태에 관한 이온주입장치(100)는, 빔평행화기(36)의 초점(F)이 빔주사기(34)의 주사 원점에 일치하도록 구성되어 있다. 따라서, 주사 원점에 있어서 빔주사기(34)에 의하여 스캔된 빔은, 전장 평행화 렌즈 등을 포함하는 빔평행화기(36)에 의하여 수렴되어, 스캔 전의 이온빔 진행방향(빔라인 궤도방향)으로 평행한 편향각 0도의 축(기준축)에 대하여 평행이 된다. 이 때, 스캔 영역은, 기준축에 관하여 좌우 대칭이 된다.
- [0046] 빔평행화기(36)는 상기 서술한 바와 같이, 빔주사기(34)로부터 입사하는 이온빔을 평행화하도록 구성되어 있으며, 빔수송 방향에 수직인 평면에 있어서 빔수송 방향에 수직인 x방향(수평 방향)을 따라 넓어지는 빔 통과영역

을 빔평행화기(36)의 하류에 형성한다. 빔평행화기(36)는, 예를 들면, 정전식의 빔평행화기이다.

- [0047] 도 1에 나타나는 바와 같이, 이온주입장치(100)에는, 빔에너지 측정장치(200)가 설치되어 있다. 빔에너지 측정장치(200)는, 평행도 측정부(202)와, 에너지 연산부(204)를 구비한다. 평행도 측정부(202)는, 빔평행화기(36)를 통과하는 이온빔에 대하여 빔평행화기(36)의 하류에서 이온빔의 평행도(이하, "빔평행도" 또는 "평행도"라고도 함)를 측정하도록 구성되어 있다. 평행도 측정부(202)는, 예를 들면, 피처리물에 이온주입처리를 행하기 위한 처리실(21)에 설치되어 있다.
- [0048] 자세한 사항은 후술하지만, 빔평행도는, 이온빔에 있어서의 빔각도 오차를 나타내는 지표이다. 예를 들면, 빔평행도로서, 빔평행화기(36)를 통과하는 복수의 빔궤도(37a, 37b, 37c)에 의하여 정해지는 상기의 평면에 있어서 빔라인(L1)에 수직인 방향(x방향)에 관한 빔각도의 오차를 나타내는 지표를 이용해도 된다. 본 실시형태에 관한 빔평행도는, 설계상의 빔기준궤도에 대한 이온빔의 전체적인 각도 오차를 나타낸다고보다, 이온빔의 국소 부분 간의 상대적인 각도 오차를 나타낸다.
- [0049] 평행도 측정부(202)는, 예를 들면, 복수의 슬릿을 가지는 다이버전스마스크와, 빔전류를 측정하는 프로파일러칩을 구비한다. 다이버전스마스크는, 빔평행화기(36)에 의하여 평행화된 스캔빔을 슬릿을 통하여 제한한다. 프로파일러칩은, 다이버전스마스크로부터 소정 거리(L)만큼 떨어져 배치된다. 기존의 이온주입장치(100)의 처리실(21)에는 대부분, 프로파일러칩과 같은 빔전류 검출기가 설치되어 있다. 이러한 기존의 검출기를 유용함으로써, 빔에너지 측정장치(200)를 저코스트로 구성할 수 있다.
- [0050] 평행도 측정부(202)는, 스캔 방향(x방향)을 따라 위치의 함수로서 빔전류를 측정한다. 빔주사기(34) 및 빔평행화기(36)를 통과하는 이온빔의 중심이 빔라인(L1)에 일치하는 이상적인 경우에는, 평행도 측정부(202)는 예를 들면, 빔전류가 최대가 된 위치와 설계상 전류가 최대가 된다고 예상되는 위치의 차(δx) 및 소정 거리(L)로부터 평행도를 산출해도 된다. 이러한 평행도를 측정하기 위한 구성에 대한 자세한 사항은 후술한다.
- [0051] 에너지 연산부(204)는, 측정된 평행도로부터 이온빔의 에너지를 연산하도록 구성되어 있다. 에너지 연산부(204)는, 목표빔에너지에 대한 이온빔의 에너지 어긋남량을 빔평행도에 근거하여 연산한다. 에너지 연산부(204)는, 상기 서술한 제어부(120)의 일부여도 되고, 이와는 별개로 설치되어 있어도 된다. 혹은, 에너지 연산부(204)는, 이온주입장치(100)를 제어하도록 구성되어 있는 제어장치의 일부여도 되고, 이와는 별개로 설치되어 있어도 된다.
- [0052] 그런데, 빔평행화기(36)는 이온빔의 편향 또는 수렴에 의하여 이온빔을 평행화하기 때문에, 이러한 평행화를 위하여 필요한 편향력 또는 수렴력은 이온빔이 가지는 에너지에 의존한다. 즉, 에너지가 클수록 필요한 편향력 또는 수렴력도 커진다. 빔평행화기(36)의 편향력 또는 수렴력은, 빔평행화기(36)로의 전기적 입력(예를 들면, 전장 평행화 렌즈(84)의 경우, 전압)에 따라 변화한다.
- [0053] 따라서, 이온주입장치(100)에 있어서는, 이온빔의 목표빔에너지와 그 이온빔의 평행화에 필요한 빔평행화기(36)로의 전기적 입력을 관계짓는 빔평행화기(36)의 설정이 미리 정해져 있다. 소정의 이온주입 조건(목표빔에너지를 포함)하에서, 이 설정에 따라 정해지는 전기적 입력이 빔평행화기(36)에 부여되어, 빔평행화기(36)는 동작한다. 따라서, 빔평행화기(36)에 입사하는 이온빔의 에너지가 목표빔에너지에 일치하면, 도 5(a)에 나타나는 바와 같이, 빔평행화기(36)는 그 이온빔을 완전하게 평행화할 수 있다. 빔평행화기(36)의 초점거리를 도 5(a)에 있어서는 F0이라고 표기한다.
- [0054] 그러나, 만약 이온빔의 에너지가 목표빔에너지와 상이했다고 하면, 그 목표빔에너지에 따른 설정하에서는 빔평행화기(36)에 의하여 이온빔을 완전하게 평행화할 수 없다.
- [0055] 예를 들면, 이온빔의 에너지가 목표빔에너지보다 작은 경우에는, 빔평행화기(36)에 의하여 이온빔이 과잉으로 수렴 또는 편향되어, 빔평행도가 완전 평행으로부터 어긋나 버린다. 이것은, 도 5(b)에 나타나는 바와 같이, 빔평행화기(36)의 초점(F)을 빔평행화기(36)에 접근시켜 초점거리를 작게 하는 것과 동가이다($F1 < F0$). 또, 이온빔의 에너지가 목표빔에너지보다 큰 경우에는 빔평행화기(36)에 의한 이온빔의 수렴 또는 편향이 부족하여(빔이 발산하여), 빔평행도는 완전 평행으로부터 어긋나 버린다. 이것은, 도 5(c)에 나타나는 바와 같이, 빔평행화기(36)의 초점(F)을 빔평행화기(36)로부터 멀리하여 초점거리를 크게 하는 것과 동가이다($F2 > F0$).
- [0056] 이 에너지 어긋남과 평행도 어긋남의 관계는, 평행화 렌즈(84) 주변의 전장 계산 및 이온빔의 궤도 계산에 의하여 구할 수 있다. 에너지가 α 배가 되었을 때, 초점거리는 β 배가 되는 것으로 한다. 어느 α 의 값에 대하여, 빔주사기(34)의 스캔 범위 내의 몇 개의 스캔 각도 각각에 대응하는 평행화 렌즈(84)로부터의 출사각을 계산할 수 있다. 이들 스캔 각도(즉 평행화 렌즈(84)로의 입사각)와 평행화 렌즈(84)로부터의 출사각으로부터, 당해 에

너지비(α)에 대응하는 초점거리비(β)가 구해진다. 다수의 에너지비(α)의 값 각각에 대하여 대응하는 초점거리비(β)를 구함으로써, 에너지비(α)와 초점거리비(β)의 관계가 얻어진다. 본 발명자의 해석에 의하면, 에너지비(α)와 초점거리비(β)는 직선 관계를 가지고 있으며, 즉, $\alpha = A \cdot \beta + B$ 로 나타난다(A, B는 상수). 다만, 이 관계는 스캔 각도에 의존하지 않는다. 초점거리비(β)는 평행도의 어긋남에 상당하기 때문에, 평행도를 측정함으로써 에너지비(α)를 계산할 수 있다.

[0057] 예를 들면, 목표빔에너지(E_0)의 이온빔을 평행화 렌즈(84)에 통과시킬 때의 편향각도(즉 입사각과 출사각과의 차)를 Φ 로 할 때, 실제로 편향된 각도가 $\Phi + \delta\Phi$ 였던 것으로 한다. 이상적인 경우로서 이온빔의 중심이 빔라인(L1)에 일치하고 있다고 하면, 빔평행도로서 각도 어긋남($\delta\Phi$)을 이용할 수 있다. 각도 어긋남($\delta\Phi$)은 에너지 어긋남(δE)과 비례한다. 즉, $\delta E = E_0 \times (\delta\Phi / \Phi)$ 이다. 에너지 연산부(204)는, 이러한 이미 알려진 관계에 따라, 측정된 빔평행도(즉 각도 어긋남($\delta\Phi$))를 에너지 어긋남량(δE)으로 환산한다.

[0058] 평행화 렌즈(84)는, 목표에너지(E_0)의 이온빔을 평행화하기 위한 편향각도(Φ)를 실현하도록, 미리 정밀하게 설계되어 있다. 또, 평행도는 주입처리에 있어서 주요한 파라미터의 하나이며, 이로 인하여 평행도 측정부(202)는 평행도(즉 $\delta\Phi$)를 정확하게 측정할 수 있도록 구성되어 있다. 목표에너지(E_0)는, 행해지는 주입처리의 사양으로서 결정된다. 따라서, 빔에너지 측정장치(200)는, 에너지의 어긋남량(δE)을, 즉 이온빔의 에너지($E_0 + \delta E$)를, 정밀도 좋게 구할 수 있다.

[0059] 빔평행도의 측정에 관하여, 도 5(b) 및 도 5(c)를 참조하여 구체예를 설명한다. 평행도 측정부(202)는, 이온빔의 복수의 빔부분에 대하여, 빔기준궤도에 수직인 방향(x방향)에 관한 빔각도를 측정한다. 빔평행도($\delta\Phi$)는, 복수의 빔부분 중 제1 빔부분(206)의 빔각도($\delta\Phi_1$)와 제2 빔부분(208)의 빔각도($\delta\Phi_2$)의 차를 이용하여 정의된다. 예를 들면, $\delta\Phi = (\delta\Phi_1 - \delta\Phi_2) / 2$ 로 정의한다.

[0060] 제1 빔부분(206)은, x방향에 있어서 이온빔의 외측 가장자리부에 위치하고, 제2 빔부분(208)은, x방향에 있어서 제1 빔부분(206)과 반대측의 이온빔의 외측 가장자리부에 위치한다. 제2 빔부분(208)은 빔라인(L1)에 관하여 제1 빔부분(206)과 대칭이다. 측정점의 간격은 x방향에 있어서 가능한 한 큰 것이 바람직하다. 왜냐하면, 이온빔이 빔평행화기(36)에 있어서 수렴 또는 발산하는 경우, 측정점끼리가 떨어져 있는 편이 각도차가 커진다. 따라서, 측정의 감도가 향상된다.

[0061] 도 5(b) 및 도 5(c)에는 이온빔의 중심이 빔라인(L1)에 일치하지만 이온빔의 에너지가 목표빔에너지와 상이한 경우를 도시하고 있다. 도 5(b)에 예시되는 바와 같이, $\delta\Phi_1 = -\delta\Phi_2 = \zeta$ 일 때, $\delta\Phi = (\zeta - (-\zeta)) / 2 = \zeta$ 이다. 또, 도 5(c)에 예시되는 바와 같이, $\delta\Phi_2 = -\delta\Phi_1 = \zeta$ 일 때, $\delta\Phi = (-\zeta - \zeta) / 2 = -\zeta$ 이다. 이렇게 하여 얻어진 빔평행도($\delta\Phi$)를 에너지 어긋남(δE)으로 환산하고, 이를 이용하여 이온빔의 에너지를 구할 수 있다.

[0062] 이에 대하여, 도 6에는, 이온빔의 에너지가 목표빔에너지에 일치하지만 이온빔의 중심이 빔라인(L1)으로부터 어긋나 있는 경우를 도시하고 있다. 도 6에 예시되는 바와 같이, $\delta\Phi_1 = \delta\Phi_2 = \zeta$ 일 때, $\delta\Phi = (\zeta - \zeta) / 2 = 0$ 이다. 빔평행도($\delta\Phi$)가 제로이므로, 에너지 어긋남(δE)도 제로이다. 즉, 제1 빔부분(206) 및 제2 빔부분(208)에 에너지 어긋남은 없으며, 이온빔의 에너지는 목표빔에너지에 일치한다.

[0063] 빔평행도($\delta\Phi$)가 제로이므로, 제1 빔부분(206)과 제2 빔부분(208)은 빔평행화기(36)에 의하여 평행화되어 있다. 그러나, 도 6으로부터 알 수 있는 바와 같이, 빔평행화기(36)의 상류에서 이온빔은 빔라인(L1)으로부터 어긋나 있으므로, 빔평행화기(36)의 하류에 있어서도 제1 빔부분(206)과 제2 빔부분(208)은 각각 설계상의 빔궤도로부터 어긋나 있다(기울어져 있다).

[0064] 빔평행도로서, 어느 1개의 측정점에 있어서의 빔각도에 의하여 정의되는 양을 이용하는 것도 가능하다. 그러나, 그 경우, 도 6에 나타나는 바와 같이 이온빔이 빔라인(L1)으로부터 어긋나 있었다고 하면, 이러한 궤도 어긋남에 기인하는 오차가 측정 빔각도에 포함되게 된다. 그 결과, 부정확한 빔평행도가 취득된다. 그러면, 이것으로부터 얻어지는 에너지 어긋남도 부정확해진다.

[0065] 이에 대하여, 도 5(b) 및 도 5(c)에 예시하는 바와 같이, 2개의 측정점에 있어서의 빔각도차에 의하여 정의되는 양을 빔평행도로서 이용하면, 상기 서술한 궤도 어긋남에 의한 오차를 배제할 수 있다. 궤도 어긋남에 의한 오차는 이온빔의 국소 부분 간에 공통된다. 바꾸어 말하면, 빔평행화기(36)의 상류에 있어서의 궤도 어긋남에 의하여, 빔평행화기(36)의 하류에서는 어느 빔부분에도 동일한 각도 어긋남이 발생한다. 이로 인하여, 측정 빔각도의 차를 취함으로써, 일방의 측정 빔각도에 포함되는 오차와 타방의 측정 빔각도에 포함되는 오차를 알 수 있다. 이렇게 하여, 빔부분 간의 상대적인 각도 어긋남을 정확하게 알 수 있다.

[0066] 빔각도의 측정점은 3개 이상이어도 된다. 평행도 측정부(202)는, 제1 빔부분(206), 제2 빔부분(208), 및 제3 빔

부분(210)을 측정해도 된다. 도 7(a)에 예시하는 바와 같이, 제1 빔부분(206) 및 제2 빔부분(208)은 상기 서술한 바와 같이 x방향에 있어서 서로 반대측에 있으며, 제3 빔부분(210)은 이온빔의 중심 근방에 있어도 된다. 평행도 측정부(202)에 의한 제1 빔부분(206), 제2 빔부분(208), 및 제3 빔부분(210)의 x방향 측정위치를 각각, X1, X2, X3으로 한다.

[0067] 평행도 측정부(202)는, 측정된 3개의 빔각도($\delta \Phi 1$, $\delta \Phi 2$, $\delta \Phi 3$)에 근거하여, x방향 위치에 대한 x방향 빔각도의 오차 분포를 생성한다. 오차 분포는, 공지의 임의의 방법(예를 들면 최소 2승법)에 의하여 구해진다. 오차 분포를 도 7(b)에 예시한다. 빔평행도는, 이 오차 분포에 있어서의 x방향 위치의 변화량(δx)과 이에 대응하는 x방향 빔각도의 변화량($\delta \Phi$)의 비를 이용하여 정의할 수 있다. 예를 들면, 빔평행도는, $\text{비}(\delta \Phi / \delta x)$ 로 정의해도 된다. 즉, 빔평행도는, x방향의 단위길이당 각도차이며, 이것은 오차 분포의 기울기이다.

[0068] 이온빔에 궤도 어긋남이 있으면, 그 어긋남량에 따라, 측정된 3개의 빔각도($\delta \Phi 1$, $\delta \Phi 2$, $\delta \Phi 3$)가 동일하게 증가 또는 감소한다. 이것은, 도 7(b)에 나타내는 오차 분포의 평행이동에 상당한다. 즉 오차 분포의 기울기는 불변이다. 따라서, $\text{비}(\delta \Phi / \delta x)$ 를 이용하여 빔평행도를 정의함으로써, 빔평행도로부터 궤도 어긋남에 의한 오차를 배제할 수 있다.

[0069] 다만, 이러한 오차 분포가, 빔각도의 측정점이 2개인 경우에 생성되어도 된다. 이 경우, 2개의 빔부분의 x방향 측정위치와 대응하는 x방향 빔각도 측정치로부터, $\text{비}(\delta \Phi / \delta x)$ 가 연산되어도 된다.

[0070] 도 1을 참조하여 설명한 바와 같이, 이온주입장치(100)는, 고에너지 다단직선가속유닛(14), 에너지분석 전자석(24), 및 에너지분석슬릿(28)을 구비한다. 고에너지 다단직선가속유닛(14)에 의한 가속은 원리적으로, 이온빔에 에너지 분포를 부여한다. 이온주입장치(100)는, 고에너지 다단직선가속유닛(14)이 적절한 파라미터로 동작하는 경우에, 에너지 분포의 중심이 슬릿의 중심에 일치하도록 설계되어 있다. 슬릿 통과 후의 빔에너지는 목표빔에너지가 된다.

[0071] 그러나, 적절한 파라미터와 약간 상이한 파라미터로 고에너지 다단직선가속유닛(14)이 동작하는 경우에는, 그 파라미터의 차이에 의하여 이온빔의 에너지가 약간 증감한다. 그러면, 에너지분석 전자석(24)에 의한 이온빔의 편향각도가 바뀌어, 이온빔의 에너지 분포의 중심이 에너지분석슬릿(28)의 중심으로부터 어긋난다. 빔중심이 슬릿 중심으로부터 어긋나게 되면, 이에 따라 슬릿 통과 후의 빔에너지는 목표빔에너지로부터 어긋나게 된다.

[0072] 따라서, 측정된 이온빔의 에너지는, 고에너지 다단직선가속유닛(14)을 제어하기 위하여 사용되어도 된다. 예를 들면, 제어부(120)는, 연산된 이온빔의 에너지에 근거하여, 이온빔이 목표에너지를 가지도록 고에너지 다단직선가속유닛(14)을 제어해도 된다.

[0073] 이 경우, 제어부(120)는, 적어도 1개의 고주파 공진기(14a)에 있어서의 전압진폭(V)[kV]을 제어해도 된다. 전압을 제어하는 것은 이온빔의 에너지를 직접 조작하는 것에 상당한다. 바람직하게는, 적어도 1개의 고주파 공진기(14a)는, 최종단의 고주파 공진기를 포함한다. 이렇게 하여 최종단의 고주파 공진기에 있어서 전압을 제어함으로써, 이온빔의 에너지를 용이하게 조정할 수 있다.

[0074] 혹은, 제어부(120)는, 적어도 1개의 고주파 공진기(14a)에 있어서의 고주파의 위상(Φ)[deg]을 제어해도 된다. 위상을 조정함으로써, 빔이 가속될 때 받는 에너지의 비율을 변화시킬 수 있다.

[0075] 이와 같이 하면, 빔에너지를 정밀도 좋게 조정할 수 있다. 따라서, 예를 들면, 기관(W)으로의 주입 깊이를 정밀하게 제어할 수 있다.

[0076] 제어부(120)는, 측정된 에너지 어긋남량이 미리 정해진 제1 임계값을 넘는지 여부를 판정해도 된다. 제어부(120)는, 에너지 어긋남량이 제1 임계값을 넘는 경우에, 이온빔의 에너지를 목표빔에너지에 가까워지게 보정하도록 고에너지 다단직선가속유닛(14)을 제어해도 된다. 제어부(120)는, 에너지 어긋남량이 제1 임계값을 넘지 않는 경우에는, 이온빔의 에너지가 허용 범위에 있다고 판정해도 된다.

[0077] 또, 제어부(120)는, 측정된 에너지 어긋남량이 미리 정해진 제2 임계값을 넘는지 여부를 판정해도 된다. 제어부(120)는, 에너지 어긋남량이 제2 임계값을 넘는 경우에, 이온주입처리를 중단해도 된다. 제2 임계값은 제1 임계값보다 커도 된다. 제2 임계값은 제1 임계값과 동일해도 된다. 제어부(120)는, 측정된 에너지 어긋남량이 미리 정해진 임계값을 넘는 경우에, 이온주입처리의 중단 또는 에너지 어긋남의 보정을 선택해도 된다.

[0078] 다만, 제어부(120)는, 에너지 어긋남량과 임계값을 비교하는 대신에, 에너지 어긋남량으로부터 구해지는 이온빔의 에너지가 미리 정해진 허용 범위에 있는지 여부를 판정해도 된다. 또, 제어부(120) 대신에, 이온주입장치

(100)에 관련되는 그 외의 제어장치가 이러한 판정을 실행해도 된다.

- [0079] 도 8은, 본 발명의 일 실시형태에 관한 빔측정방법을 예시하는 플로차트이다. 이 빔측정방법은, 에너지 측정 스텝(S10)과, 제어 스텝(S20)을 구비한다. 이 방법은, 예를 들면, 이온주입처리의 준비 공정에 있어서, 소정의 빈도로 반복 실행된다.
- [0080] 에너지 측정 스텝(S10)에 있어서는, 먼저, 빔에너지 측정장치(200)의 평행도 측정부(202)를 사용하여, 이온주입장치(100)의 빔평행화기(36)의 하류에서 이온빔의 평행도가 측정된다(S11). 다음으로, 빔에너지 측정장치(200)의 에너지 연산부(204)를 사용하여, 측정된 평행도로부터 이온빔의 에너지가 연산된다(S12).
- [0081] 빔에너지 측정장치(200) 또는 제어부(120)는, 연산된 이온빔의 에너지가 적정인지 여부를 판정한다(S15). 예를 들면, 연산된 에너지가 목표에너지에 일치할 때, 또는 연산된 에너지가 목표에너지 근방의 허용 범위에 있을 때에는, 이온빔의 에너지는 적정하다고 판정된다. 연산된 에너지가 적정한 경우에는(S15의 Y), 에너지의 조정은 불필요하여, 본 방법은 종료된다. 연산된 에너지가 적정하지 않은 경우에는(S15의 N), 제어 스텝(S20)이 실행된다.
- [0082] 제어 스텝(S20)에 있어서는, 연산된 이온빔의 에너지에 근거하여, 이온빔이 목표에너지를 가지도록 이온주입장치(100)의 고에너지 다단직선가속유닛(14)이 제어된다. 고에너지 다단직선가속유닛(14)은, 제어부(120)에 의하여 제어된다.
- [0083] 먼저, 연산된 이온빔의 에너지에 근거하여, 보정 전압이 산출된다(S21). 보정 전압은, 이온빔에 목표에너지를 부여하기 위한 최종단의 고주파 공진기에 있어서의 RF가속 전압의 보정량이다. 다음으로, 제어부(120)는, 최종단의 고주파 공진기의 전압 여력을 확인한다(S22). 즉, 최종단의 고주파 공진기가 보정 전압을 추가적으로 발생시킬 수 있는지 여부가 판정된다. 전압 여력이 보정 전압을 상회하는 경우에는(S22의 Y), 보정 전압을 발생시키도록 최종단의 고주파 공진기가 설정된다(S23). 이렇게 하여 이온빔의 에너지가 적정하게 조정되어, 본 방법은 종료된다. 다만, 보정 전압을 발생시키도록 최종단의 고주파 공진기가 설정된 후에, 에너지 측정 스텝(S10)이 실행되어, 연산된 이온빔의 에너지가 적정한지 여부가 다시 판정되어도 된다(S15).
- [0084] 한편, 최종단의 고주파 공진기에 전압 여력이 보정 전압보다 부족한 경우에는(S22의 N), 이온빔에 목표에너지를 부여하기 위한 대체 처리가 행해진다(S24). 예를 들면, 적어도 1개의 고주파 공진기(14a)에 있어서 위상 조정이 행해진다. 혹은, 최종단의 고주파 공진기 이외의 고주파 공진기에 있어서 RF가속 전압이 조정되어도 된다. 다만, 이러한 대체 처리와, 보정 전압의 일부를 최종단의 고주파 공진기에 설정하는 것을 조합함으로써, 이온빔에 목표에너지가 부여되어도 된다. 이렇게 하여 본 방법은 종료된다. 이러한 조정 후에, 에너지 측정 스텝(S10)이 실행되어, 연산된 이온빔의 에너지가 적정한지 여부가 다시 판정되어도 된다(S15).
- [0085] 도 9에는, 본 발명의 일 실시형태에 관한 빔에너지 측정장치(200)의 일례를 개략적으로 나타낸다. 상기 서술한 바와 같이, 이온주입장치(100)는, 피처리물(W)의 표면에 이온주입처리를 행하도록 구성되어 있다. 피처리물(W)은, 예를 들면 기관이며, 예를 들면 반도체 웨이퍼이다. 따라서 본 명세서에서는 설명의 편의를 위하여 피처리물(W)을 기관(W)이라고 부르는 경우가 있지만, 이것은 주입처리의 대상을 특정의 물체에 한정하는 것을 의도하고 있지 않다.
- [0086] 이온주입장치(100)는, 빔스캔 및 메카니컬스캔 중 적어도 일방에 의하여 기관(W)의 전체에 걸쳐 이온빔(B)을 조사하도록 구성되어 있다. 본 명세서에서는 설명의 편의상, 설계상의 이온빔(B)의 진행방향을 z방향으로 하고, z방향에 수직인 면을 xy면이라고 정의한다. 후술하는 바와 같이 이온빔(B)을 피처리물(W)에 대하여 주사하는 경우에는 주사 방향을 x방향으로 하고, z방향 및 x방향에 수직인 방향을 y방향으로 한다. 따라서, 빔스캔은 x방향으로 행해지고, 메카니컬스캔은 y방향으로 행해진다.
- [0087] 처리실(21)은, 1개 또는 복수 개의 기관(W)을 유지하며, 이온빔(B)에 대한 예를 들면 y방향의 상대 이동(이른바 메카니컬스캔)을 필요에 따라서 기관(W)에 제공하도록 구성되어 있는 물체 유지부(도시하지 않음)를 구비한다. 도 9에 있어서 화살표(D)에 의하여 메카니컬스캔을 예시한다. 또, 처리실(21)은, 빔스토퍼(92)를 구비한다. 이온빔(B) 상에 기관(W)이 존재하지 않는 경우에는, 이온빔(B)은 빔스토퍼(92)에 입사한다.
- [0088] 처리실(21)에는 빔에너지 측정장치(200)가 설치되어 있다. 빔에너지 측정장치(200)는 상기 서술한 바와 같이, 평행도 측정부(202)와 에너지 연산부(204)를 구비한다. 평행도 측정부(202)는, 원래의 이온빔(B)을 측정용 이온빔(Bm)으로 정형하기 위한 마스크(102)와, 측정용 이온빔(Bm)을 검출하도록 구성되어 있는 검출부(104)를 구비한다.

- [0089] 도 9에 예시하는 바와 같이, 기관(W)에 이온빔(B)이 조사될 때, 마스크(102) 및 검출부(104)는 이온빔(B)으로부터 어긋난 대피 위치에 있다. 이 때 마스크(102) 및 검출부(104)에 이온빔(B)은 조사되지 않는다. 측정 시에는, 마스크(102) 및 검출부(104)는, 도시하지 않은 이동기구에 의하여, 이온빔(B)을 횡단하는 측정위치(도 10 참조)로 이동된다. 이 때 마스크(102)는, 이온빔(B)의 경로 상에 있어서 최종 에너지 필터(38)(도 1 참조)와 검출부(104)와의 사이에 있으며, 검출부(104)는, 이온주입처리에 있어서 기관(W)의 표면이 놓여지는 z방향 위치에 있다.
- [0090] 또, 평행도 측정부(202)는, 이온빔측정처리를 실행하기 위한 측정제어부(106)를 구비한다. 측정제어부(106)는, 이온주입장치(100)를 제어하도록 구성되어 있는 제어장치의 일부여도 되고, 이와는 별개로 설치되어 있어도 된다. 에너지 연산부(204)는 측정제어부(106)의 일부여도 되고, 이와는 별개로 설치되어 있어도 된다. 측정제어부(106)는, 상기 서술과 같은 마스크(102) 및 검출부(104)의 대피 위치와 측정위치와의 사이의 이동을 담당하도록 구성되어 있어도 된다. 일 실시형태에 있어서는, 이온주입장치(100)는, 평행도 측정부(202)에 의한 측정 결과에 근거하여 이온주입처리를 제어하도록 구성되어 있어도 된다.
- [0091] 측정제어부(106)는, 검출 결과를 나타내는 검출부(104)의 출력에 근거하여, 설계상의 진행방향인 z방향에 대하여 실제의 이온빔(B)의 진행방향이 이루는 각도를 연산하도록 구성되어 있는 빔각도연산부(108)를 구비한다. 빔각도연산부(108)는, 측정용 이온빔(B_m)의 y슬릿(110y)을 통과한 빔부분의 x방향 위치를 이용하여 x방향 빔각도를 연산하고, 측정용 이온빔(B_m)의 x슬릿(110x)을 통과한 빔부분의 y방향 위치를 이용하여 y방향 빔각도를 연산하도록 구성되어 있다.
- [0092] 도 10은, 도 9에 나타내는 평행도 측정부(202)를 개략적으로 나타내는 도이다. 도 11은, 도 10에 나타내는 평행도 측정부(202)를 마스크(102)의 y방향 중앙에서 절단하여 y방향으로부터 본 도이다. 도 12는, 도 10에 나타내는 평행도 측정부(202)를 마스크(102)의 y슬릿(110y)의 x방향 위치에서 절단하여 x방향으로부터 본 도이다. 도 13은, 도 10에 나타내는 평행도 측정부(202)를 마스크(102)의 x슬릿(110x)의 x방향 위치에서 절단하여 x방향으로부터 본 도이다.
- [0093] 마스크(102)는, 상류로부터 공급되는 이온빔(B)을 부분적으로 투과시키고 측정용 이온빔(B_m)을 생성하도록 구성되어 있다. 측정용 이온빔(B_m)은, y빔부분(112y) 및 x빔부분(112x)을 구비한다(도 11 내지 도 13 참조). y빔부분(112y)은, xy면에 있어서 y방향으로 좁고 긴 단면을 가진다. x빔부분(112x)은, xy면에 있어서 x방향으로 좁고 긴 단면을 가진다.
- [0094] 마스크(102)는, 이온빔(B)을 통과시키는 복수의 슬릿 또는 개구를 가지는 판형상의 부재를 구비한다. 마스크(102) 상의 복수의 슬릿은, y방향으로 좁고 긴 y슬릿(110y)과, x방향으로 좁고 긴 x슬릿(110x)을 포함한다. 본 명세서에서는, y슬릿(110y)이 형성되어 있는 마스크(102)의 부분을 "제1 마스크부분"이라고 칭하고, x슬릿(110x)이 형성되어 있는 마스크(102)의 부분을 "제2 마스크부분"이라고 칭하는 경우가 있다.
- [0095] 도 10에 나타나는 마스크(102)는, 원래의 이온빔(B)이 입사하는 마스크(102) 상의 피조사 영역에, 3개의 제1 마스크부분 및 2개의 제2 마스크부분을 구비한다. 이들 제1 마스크부분 및 제2 마스크부분은, x방향으로 서로 엇갈리게 배치되어 있다. 각 제1 마스크부분은 1개의 y슬릿(110y)을 구비하고, 각 제2 마스크부분은 1개의 x슬릿(110x)을 구비한다.
- [0096] 따라서, 마스크(102)는, 3개의 y슬릿(110y)과 2개의 x슬릿(110x)을 가지고, y슬릿(110y)과 x슬릿(110x)이 x방향으로 서로 엇갈리게 나열되어 있다. 중앙의 y슬릿(110y)은, 이온빔(B)이 입사하는 마스크(102) 상의 피조사 영역에 있어서 x방향 중앙에 배치되어 있다. 나머지 2개의 y슬릿(110y)은 각각, 마스크(102) 상의 피조사 영역에 있어서 x방향 단부에 배치되어 있다. 한편, 2개의 x슬릿(110x)은, y방향에 관하여 동일한 위치에 있으며, 마스크(102) 상의 피조사 영역에 있어서 y방향 중앙에 배치되어 있다.
- [0097] y슬릿(110y)은, y빔부분(112y)에 대응하는 형상을 가지는 관통구멍이다. 따라서 y슬릿(110y)은, 어느 좁은 슬릿폭을 x방향으로 가지고, 그보다 긴 슬릿길이를 y방향으로 가진다. 한편, x슬릿(110x)은, x빔부분(112x)에 대응하는 형상을 가지는 관통구멍이다. 따라서 x슬릿(110x)은, 어느 좁은 슬릿폭을 y방향으로 가지고, 그보다 긴 슬릿길이를 x방향으로 가진다.
- [0098] y슬릿(110y) 및 x슬릿(110x)의 슬릿길이는 슬릿폭보다 현저하게 길며, 슬릿길이는 슬릿폭의 예를 들면 적어도 10배이다. 측정의 정밀도를 중시하는 경우에는 슬릿폭을 좁게 하는 것이 바람직하고, 측정 시간을 단축하는 것을 중시하는 경우에는 슬릿폭을 넓게 하는 것이 바람직하다. y슬릿(110y)의 슬릿길이는 이온빔(B)의 y방향의 폭에 따라 정해진다.

- [0099] 또, 마스크(102)는, 측정용 이온빔(Bm)이 검출부(104)에 입사할 때 인접하는 2개의 빔부분이 서로 분리되어 있도록, 인접하는 2개의 슬릿의 간격이 정해져 있다. 도 11에 나타나는 바와 같이, 인접하는 y빔부분(112y)과 x빔부분(112x)이 검출부(104)의 z방향 위치에 있어서 서로 중첩되지 않도록, 인접하는 y슬릿(110y)과 x슬릿(110x)과의 x방향의 간격이 정해져 있다. 이와 같이 하면, 마스크(102)로부터 검출부(104)에 각 빔부분이 도달하기까지 각 빔부분의 발산에 의하여, 인접하는 빔부분이 서로 혼합되는 것을 피할 수 있다.
- [0100] 이온빔(B)이 제1 마스크부분에 조사되어 y슬릿(110y)을 통과함으로써, y빔부분(112y)이 생성된다. 이온빔(B)이 제2 마스크부분에 조사되어 x슬릿(110x)을 통과함으로써, x빔부분(112x)이 생성된다. 마스크(102) 상의 y슬릿(110y) 및 x슬릿(110x)의 배치에 대응하여, 3개의 y빔부분(112y)과 2개의 x빔부분(112x)이 x방향으로 서로 엇갈리게 배열된 측정용 이온빔(Bm)이 생성된다.
- [0101] 검출부(104)에 의하여 검출하는 동안, 마스크(102)는 정지되어 있다. 따라서, y빔부분(112y) 및 x빔부분(112x)은, 원래의 이온빔(B)으로부터 잘려 나간 특성의 일부에 상당한다. 이로 인하여, y빔부분(112y) 및 x빔부분(112x)은, xy면에 있어서의 이온빔(B)의 특성의 위치에서의 빔각도를 유지한다.
- [0102] 검출부(104)는, y빔부분(112y)의 x방향 위치를 검출하고, x빔부분(112x)의 y방향 위치를 검출하도록 구성되어 있다. 검출부(104)는, 측정용 이온빔(Bm)을 횡단하도록 x방향으로 이동 가능한 이동 검출기를 구비한다. 검출부(104)의 x방향으로의 이동을 도 10에 있어서 화살표 E에 의하여 예시한다. 검출기의 x방향 이동에 의하여, y빔부분(112y)의 x방향 위치가 검출된다. 또, 검출부(104)는, y방향으로 배열된 복수의 검출요소(114)를 구비한다. 검출부(104)에 있어서의 x빔부분(112x)의 도달 위치로부터, x빔부분(112x)의 y방향 위치가 검출된다.
- [0103] 이와 같이 하여, 검출부(104)는, 이동 검출기가 측정용 이온빔(Bm)을 1회 횡단하는 동안에 y빔부분(112y)의 x방향 위치 및 x빔부분(112x)의 y방향 위치를 검출할 수 있다.
- [0104] 검출부(104) 또는 각 검출요소(114)는, 예를 들면, 입사하는 이온의 양에 따라 전류를 생성하는 소자를 구비하고 있거나, 혹은 이온빔을 검출 가능한 임의의 구성이어도 된다. 검출부(104) 또는 각 검출요소(114)는, 예를 들면 패러데이컵이어도 된다. 또, 도시되는 검출부(104)는 5개의 검출요소(114)가 대표적으로 예시되어 있지만, 검출부(104)는 전형적으로는, 그보다 다수(예를 들면 적어도 10개)의 검출요소(114)의 배열을 구비해도 된다.
- [0105] 도 11에 나타나는 바와 같이, 검출부(104)가 측정용 이온빔(Bm)을 검출하기 위하여 x방향으로 이동할 때, 예를 들면 x방향 위치(xa)에 있어서, 검출부(104)는, 마스크(102) 상의 x방향 단부의 y슬릿(110y)으로부터의 y빔부분(112y)을 받는다. 또, 검출부(104)는, 예를 들면 x방향 위치(xb)에 있어서, 일방의 x슬릿(110x)으로부터의 x빔부분(112x)을 받는다. 또한, 검출부(104)는, 예를 들면 x방향 위치(xc)에 있어서, x방향 중앙의 y슬릿(110y)으로부터의 y빔부분(112y)을 받는다. 마찬가지로 하여, 검출부(104)는, 예를 들면 x방향 위치(xd)에 있어서 타방의 x슬릿(110x)으로부터의 x빔부분(112x)을 받고, 예를 들면 x방향 위치(xe)에 있어서 x방향 단부의 y슬릿(110y)으로부터의 y빔부분(112y)을 받는다.
- [0106] 검출부(104)는, x방향 이동의 결과 얻어진 x방향 위치와 빔전류와의 관계를 빔각도연산부(108)에 출력한다. 빔각도연산부(108)는, x방향 위치와 빔전류와의 관계로부터, y빔부분(112y)의 x방향 위치를 특정한다. 빔각도연산부(108)는, 예를 들면, y빔부분(112y)에 대응하는 빔전류 피크의 x방향 위치를, 그 y빔부분(112y)의 x방향 위치로 결정한다.
- [0107] 도 12에 나타나는 바와 같이, y빔부분(112y)은, y방향으로 나열되는 몇 개의 검출요소(114)에 걸쳐 입사한다. 따라서, 본 실시형태에 있어서는, 개개의 검출요소(114)로부터 출력되는 빔전류가 합쳐지고, 그 합계의 빔전류가 y빔부분(112y)의 x방향 위치를 특정하기 위하여 사용된다.
- [0108] 알려져 있는 바와 같이, z방향에 있어서의 제1 위치와 제2 위치와의 사이에서의 x방향의 빔변위량과, 제1 위치와 제2 위치와의 z방향 거리와의 비로부터, x방향 빔각도(θ_x)를 연산할 수 있다. 검출 중에 마스크(102)는 규정 장소에 지지되기 때문에, 마스크(102) 상의 각 슬릿의 z방향 위치, 및 당해 z방향 위치에 있어서의 각 슬릿의 xy면 내 위치는 이미 알려져 있다. 또, 검출부(104)의 z방향 위치도 이미 알려져 있다. 따라서, 이들 이미 알려진 위치 관계와, 검출된 y빔부분(112y)의 x방향 위치를 이용하여, x방향 빔각도(θ_x)를 연산할 수 있다.
- [0109] 여기에서, 빔평행도는 예를 들면, 2개의 측정점간의 각도차($\delta \theta = \theta_{x1} - \theta_{x2}$)로 정의해도 된다. 측정점의 간격은 스캔 평면 내에서 가능한 한 떨어져 있는 것이 바람직하다. 빔이 수렴해도 혹은 발산해도 된 경우, 계측 위치가 가능한 한 떨어져 있는 것이 각도차가 커지므로 감도가 높아지기 때문이다.
- [0110] y빔부분(112y)의 x방향의 폭은, 도 11에 나타나는 바와 같이, y슬릿(110y)의 x방향의 폭에 대응하여 좁게 되어

있다. 따라서, y빔부분(112y)에 대응하는 빔전류 피크의 x방향 위치의 특징이 용이하다. 또, y빔부분(112y)은, 도 12에 나타나는 바와 같이, y슬릿(110y)에 대하여 y방향으로 폭이 넓다. 이로 인하여, 종전과 같이 원형의 소형 구멍을 가지는 마스크를 사용하는 경우에 비하여, 검출부(104)가 받는 빔전류를 크게 취할 수 있다.

[0111] 마찬가지로, z방향에 있어서의 제1 위치와 제2 위치와의 사이에서의 y방향의 빔변위량과, 제1 위치와 제2 위치와의 z방향 거리와의 비로부터, y방향 빔각도(θ_y)를 연산할 수 있다. 도 13에 나타나는 바와 같이, x빔부분(112x)의 y방향의 폭은 x슬릿(110x)의 y방향의 폭에 대하여 좁게 되어 있다. x빔부분(112x)은 검출부(104)의 어느 특정의 검출요소(114)에 도달하고, 그 검출요소(114)의 y방향 위치를 x빔부분(112x)의 y방향 위치로 간주할 수 있다. 이렇게 하여 검출된 x빔부분(112x)의 y방향 위치와, 마스크(102)와 검출부(104)와의 이미 알려진 위치 관계를 이용하여, y방향 빔각도(θ_y)를 연산할 수 있다. 도 11에 나타나는 바와 같이, x빔부분(112x)은 x슬릿(110x)에 대응하여 x방향으로 폭이 넓으므로, 검출부(104)가 받는 빔전류를 크게 취할 수 있다.

[0112] 이와 같이, 단일 마스크(102)에 x방향 슬릿 및 y방향 슬릿을 형성함으로써, 1개의 마스크(102)에서 x방향 빔각도(θ_x) 및 y방향 빔각도(θ_y)를 동시에 측정할 수 있다.

[0113] 복수의 y슬릿(110y)을 각각 x방향으로 상이한 위치에 형성함으로써, 이온빔(B)의 x방향 빔각도(θ_x)의 x방향 분포를 구할 수 있다. 예를 들면, 중앙의 y빔부분(112y)으로부터 얻어지는 x방향 빔각도(θ_x)를, 이온빔(B)의 x방향 빔각도의 대표치로서 이용할 수 있다. 또, x방향 빔각도(θ_x)의 균일성을 나타내는 지표로서 예를 들면, 이 대표치와, 단부의 y빔부분(112y)으로부터 얻어지는 x방향 빔각도(θ_x)와의 차를 이용할 수도 있다.

[0114] 또, 복수의 x슬릿(110x)을 각각 x방향으로 상이한 위치에 형성함으로써, 이온빔(B)의 y방향 빔각도(θ_y)의 x방향 분포를 구할 수 있다.

[0115] 상기 서술한 실시형태에 있어서는, 검출부(104)는 일정 속도로 x방향으로 이동하고 있다. 여기에는 검출부(104)의 동작이 단순해진다는 이점이 있다. 그러나, 일 실시형태에 있어서는, 검출부(104)가 받는 빔전류량을 크게 하기 위하여, 검출부(104)는, 이동 검출기가 측정용 이온빔(B_m)을 1회 횡단하는 동안에 그 이동 속도를 조정하도록 구성되어 있어도 된다. 예를 들면, 이동 검출기는, x빔부분(110x)을 받기 위하여 감속 또는 정지해도 된다. 구체적으로는 예를 들면, 이동 검출기는, x빔부분(110x)을 받기 직전에 감속하여, 그 x빔부분(110x)을 통과할 때까지 감속을 계속해도 된다. 혹은, 이동검출기는, x빔부분(110x)을 받는 위치에서 소정 시간 정지해도 된다.

[0116] 도 14는, 도 9에 나타내는 평행도 측정부(202)를 이용하는 평행도 측정처리의 일례를 설명하기 위한 플로차트이다. 먼저, 이온빔이 통과하는 위치에 마스크가 세팅된다(S31). 이 조작은 기계적으로 행해진다. 마스크에는 상기 서술한 바와 같이 y슬릿 및 x슬릿이 형성되어 있다. 이후, 본 방법의 종료까지 마스크는 그 위치에 유지되고, 측정 중에 마스크는 정지되어 있다.

[0117] 다음으로 이온빔의 조사가 개시된다(S32). 이온빔이 마스크의 슬릿을 통과함으로써, 측정용 이온빔이 준비된다. 측정용 이온빔은 상기 서술한 바와 같이, 이온빔 진행방향에 수직인 y방향으로 긴 y빔부분과, 상기 진행방향 및 y방향에 수직인 x방향으로 긴 x빔부분을 구비한다.

[0118] 이어서, 빔각도가 측정된다(S33). 마스크를 통과한 이온빔의 도달 위치가, 검출부를 사용하여 측정된다. y빔부분의 x방향 위치가 검출되고, x빔부분의 y방향 위치가 검출된다. 이 때, 필요에 따라서 검출부가 측정용 이온빔에 대하여 이동된다. 검출된 x방향 위치를 이용하여 x방향 빔각도(즉 평행도)가 연산되고, 검출된 y방향 위치를 이용하여 y방향 빔각도가 연산된다. 그 후 이온빔의 조사는 종료되고(S34), 마지막으로 마스크의 세팅이 해제된다(S35). 마스크는 대피 위치로 되돌려진다. 이렇게 하여, 본 방법은 종료된다.

[0119] 이상, 본 발명을 실시형태에 의거하여 설명했다. 본 발명은 상기 실시형태에 한정되지 않고, 다양한 설계 변경이 가능하며, 다양한 변형예가 가능한 것, 또 그러한 변형예도 본 발명의 범위에 있는 것은, 당업자에게 이해되는 바이다.

[0120] 상기 서술한 실시형태에 있어서는, 이온주입장치(100)는, 정전형의 빔평행화기(36)를 구비하지만, 본 발명은 이에 한정되지 않는다. 일 실시형태에 있어서는, 이온주입장치(100)는, 자장형의 빔평행화기를 구비해도 된다. 이 경우, 상기 설명에 있어서의 전압을 자장으로 치환함으로써, 마찬가지로 에너지를 측정하는 것이 가능하다.

[0121] 또, 일 실시형태에 있어서는, 측정된 이온빔의 에너지는, 고에너지 다단직선가속유닛(14) 이외의 이온주입장치(100)의 구성요소를 제어하기 위하여 사용되어도 된다.

[0122] 일 실시형태에 있어서는, 이온주입장치(100)는, 리본빔으로 불리는 경우도 있는 z방향에 수직인 일 방향으로 긴

단면을 가지는 이온빔을 처리실(21)에 부여하도록 구성되어 있어도 된다. 이 경우, 이온빔은 예를 들면, y방향의 폭보다 긴 x방향의 폭을 가진다. 따라서, 빔에너지 측정장치는, 빔평행화기의 하류에서 리본빔의 평행도를 측정하는 평행도 측정부와, 측정된 평행도로부터 이온빔의 에너지를 연산하는 에너지 연산부를 구비해도 된다.

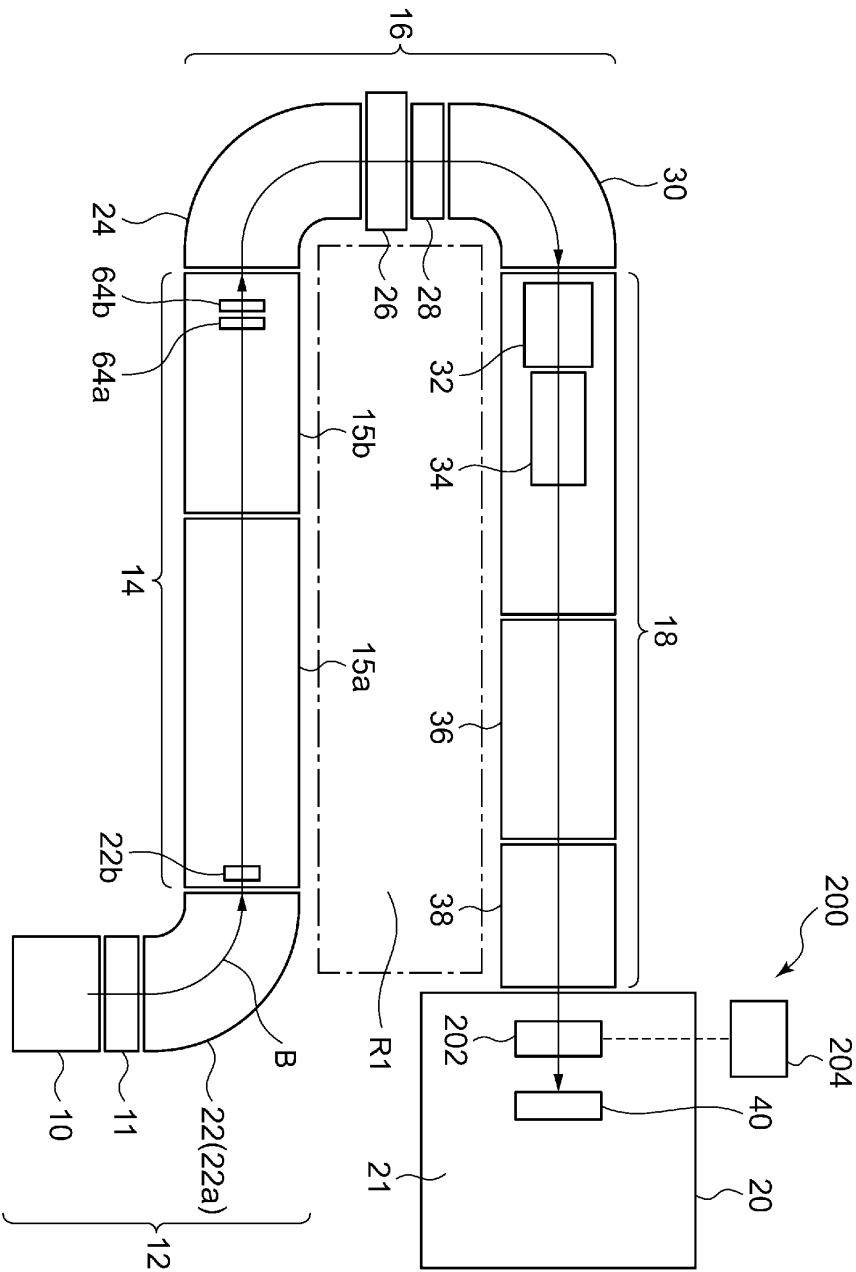
부호의 설명

[0123]

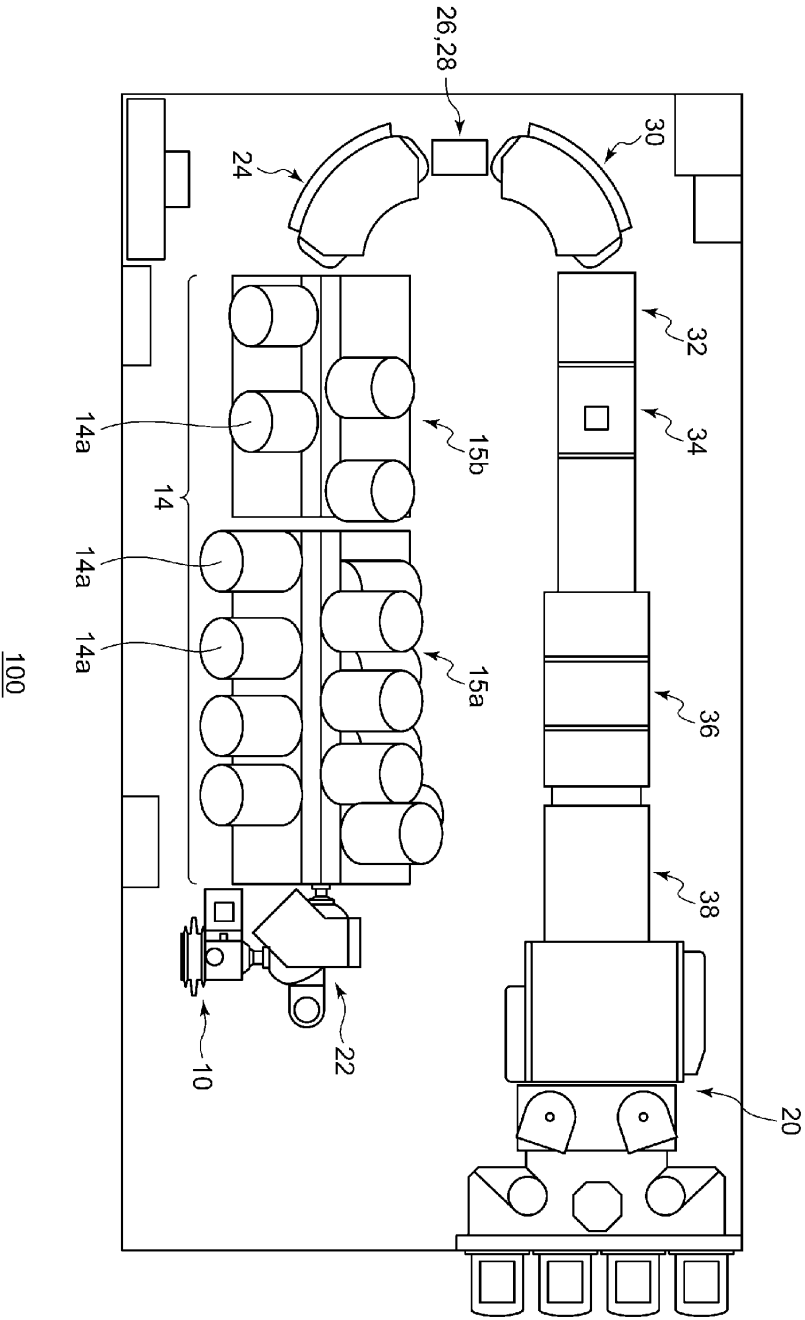
- 14 고에너지 다단직선가속유닛
- 14a 고주파 공진기
- 34 빔주사기
- 36 빔평행화기
- 84 전장 평행화 렌즈
- 100 이온주입장치
- 120 제어부
- 200 빔에너지 측정장치
- 202 평행도 측정부
- 204 에너지 연산부
- 206 제1 빔부분
- 208 제2 빔부분
- 210 제3 빔부분

도면

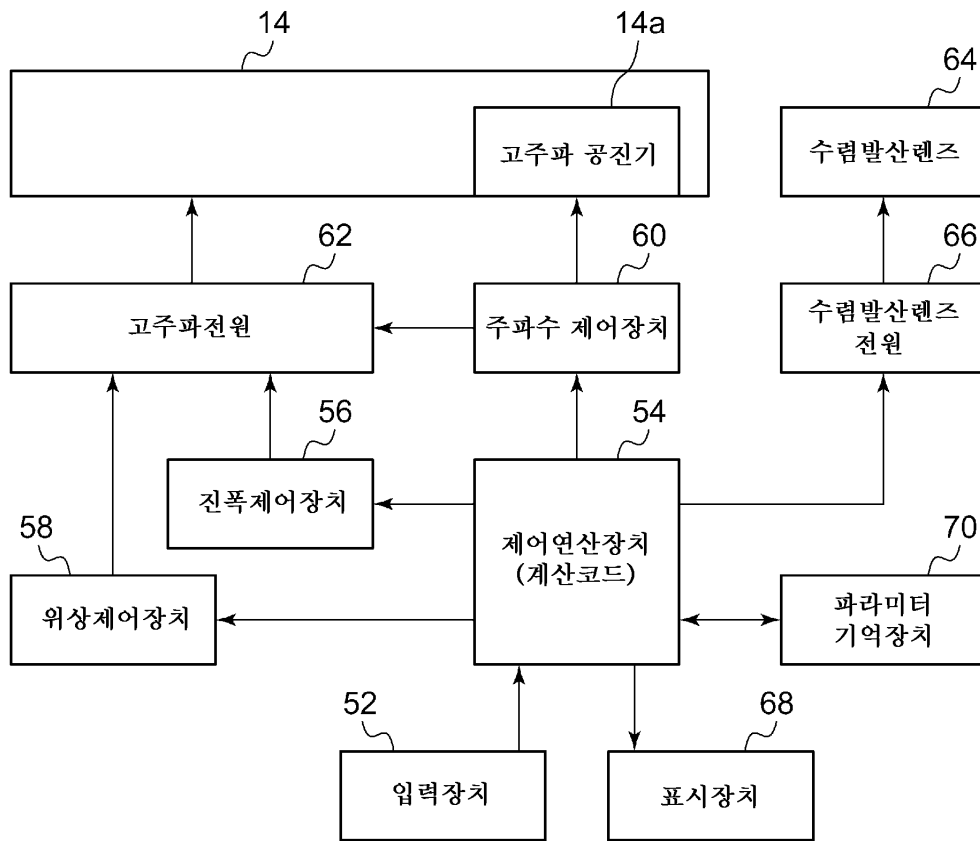
도면1



도면2

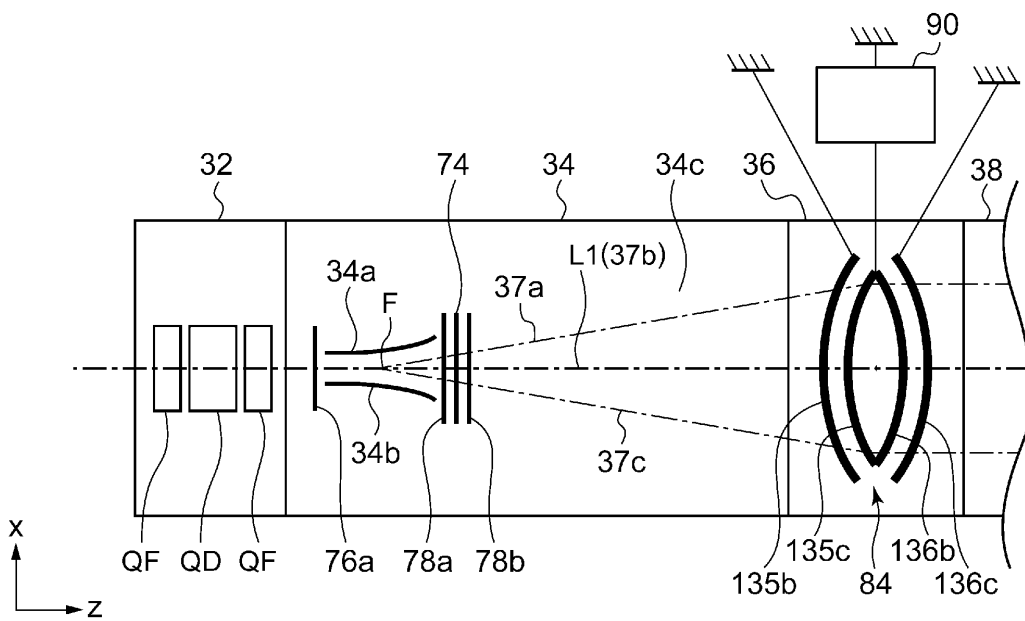


도면3



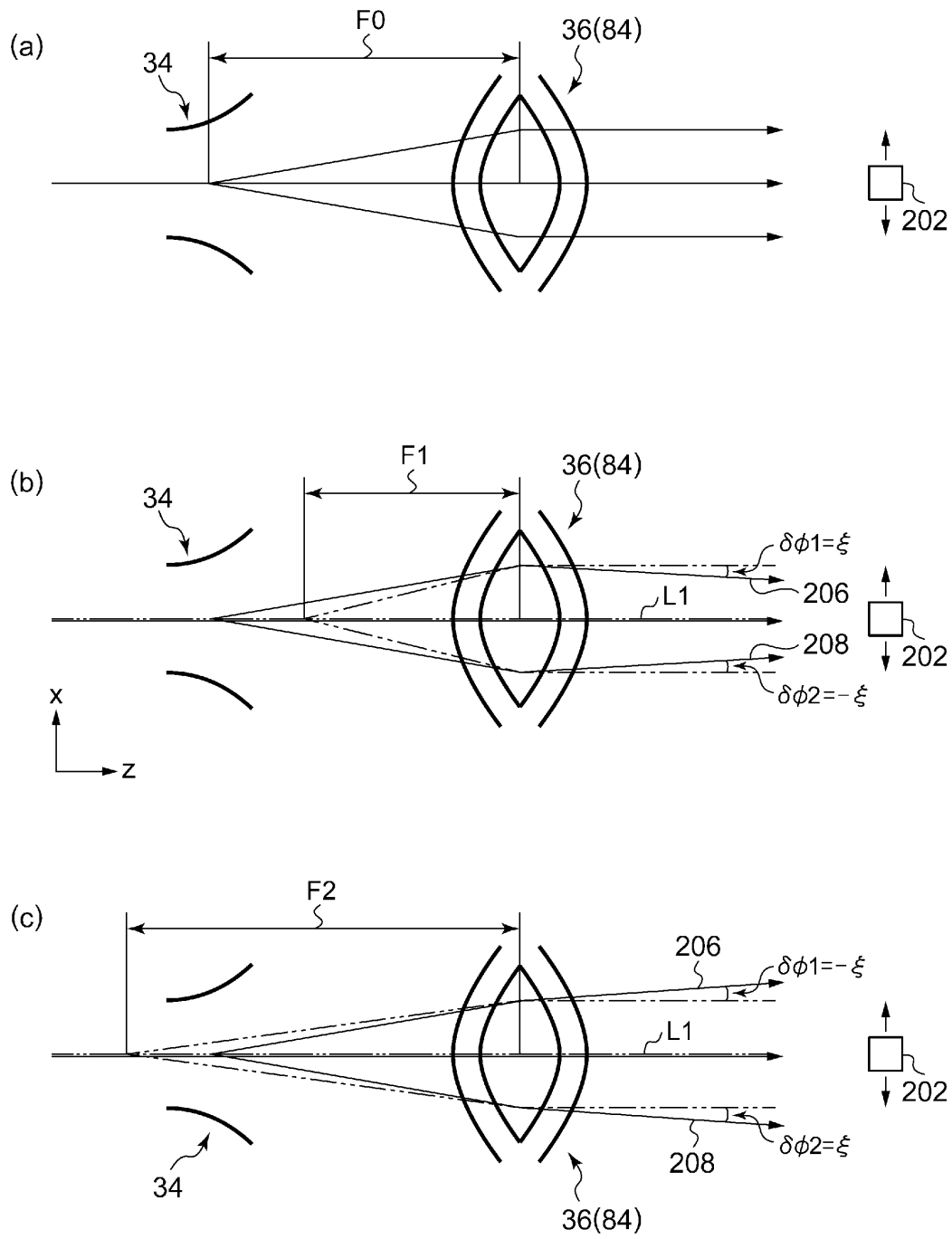
120

도면4

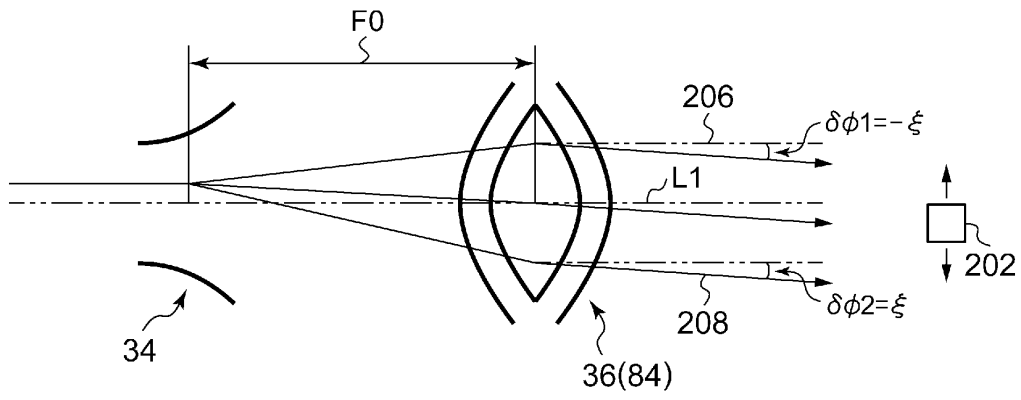


18

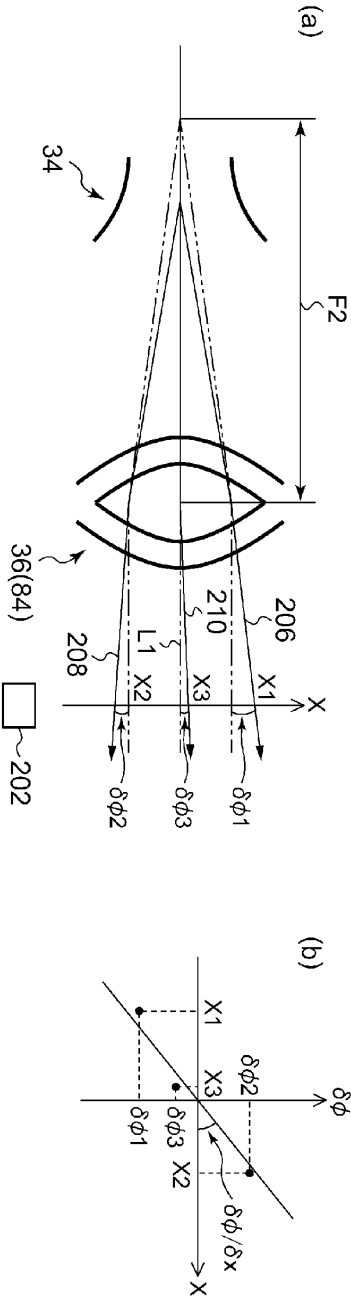
도면5



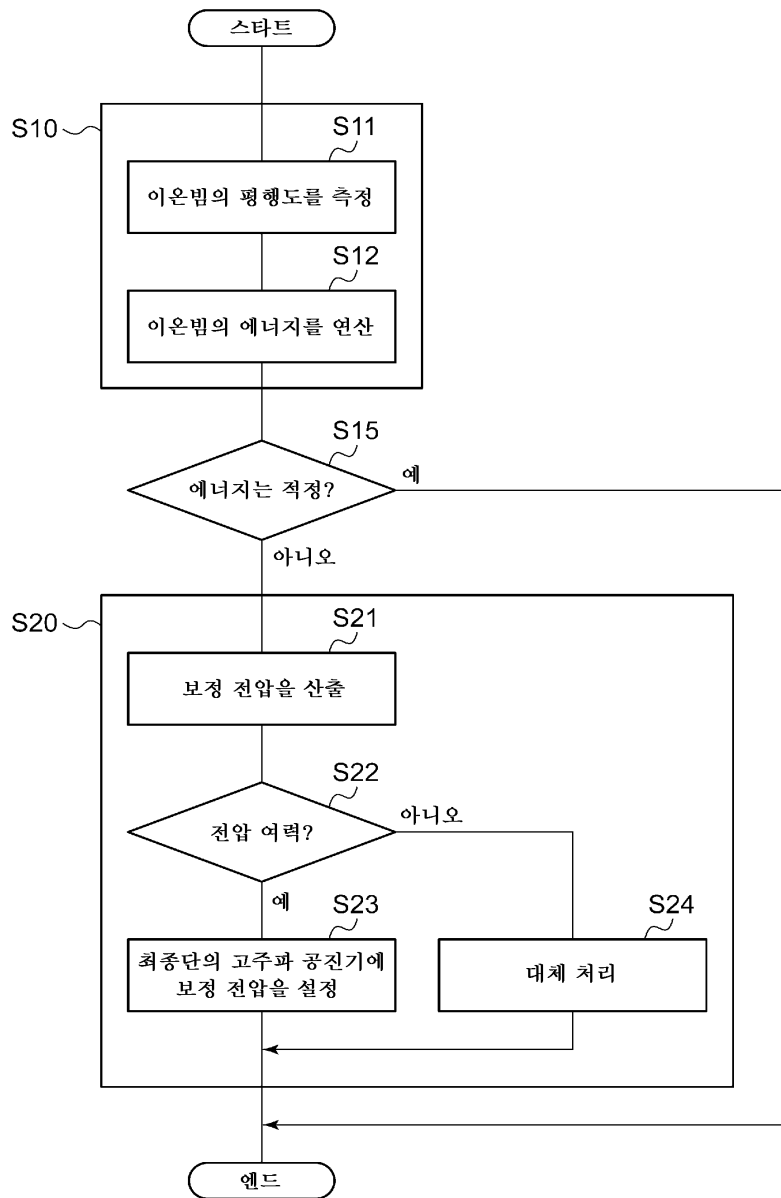
도면6



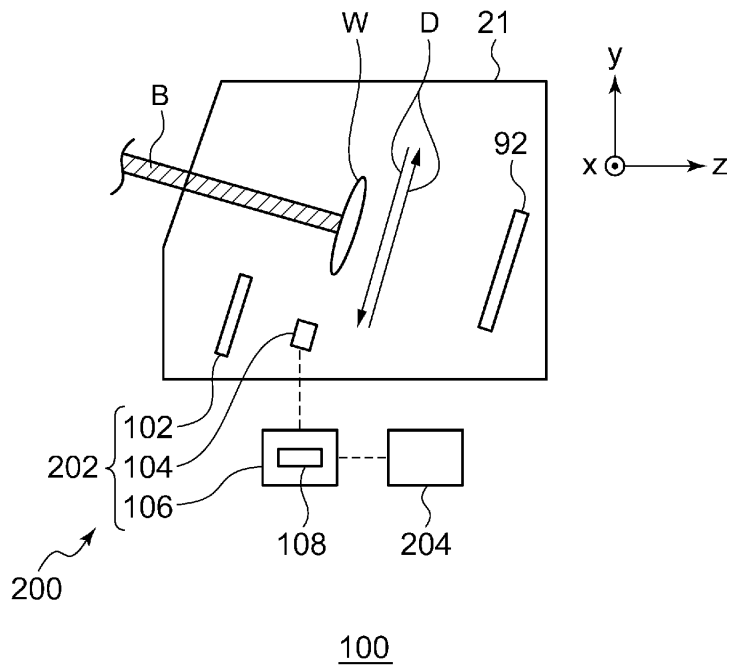
도면7



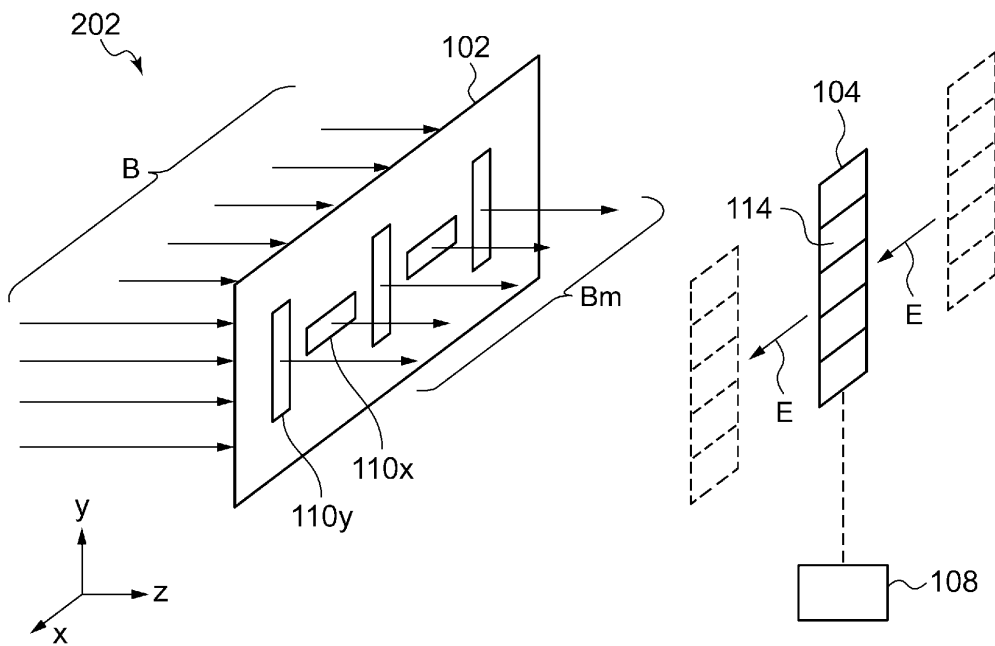
도면8



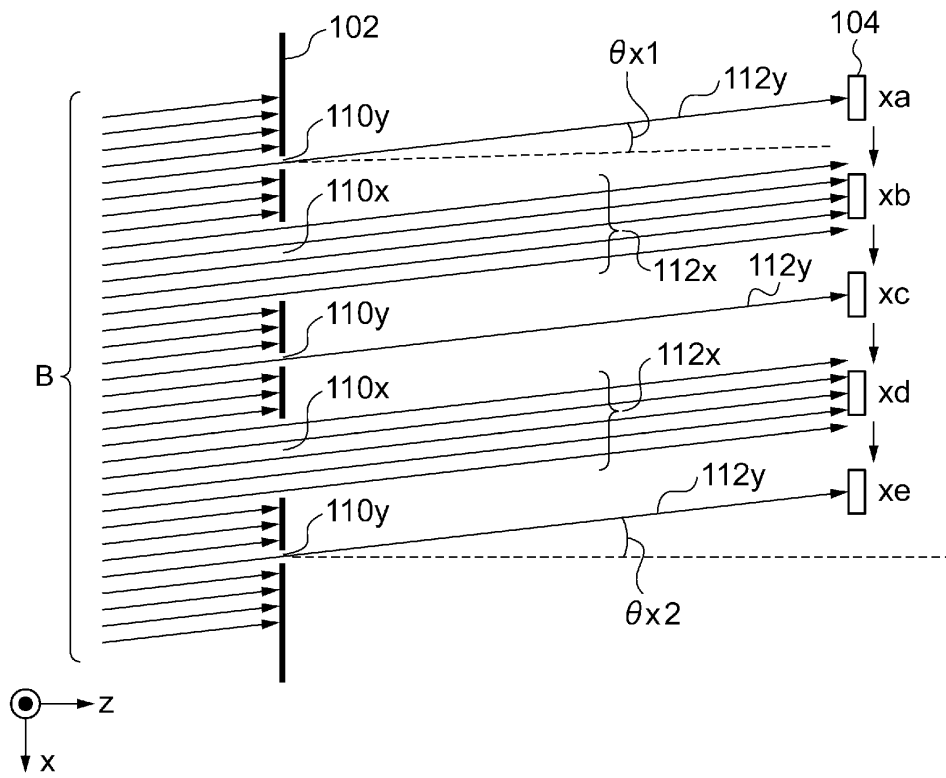
도면9



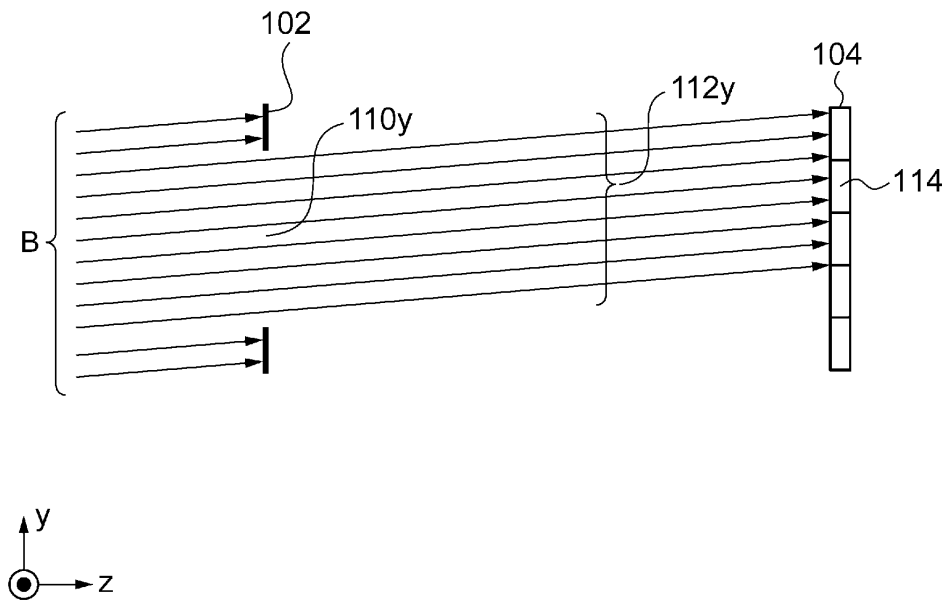
도면10



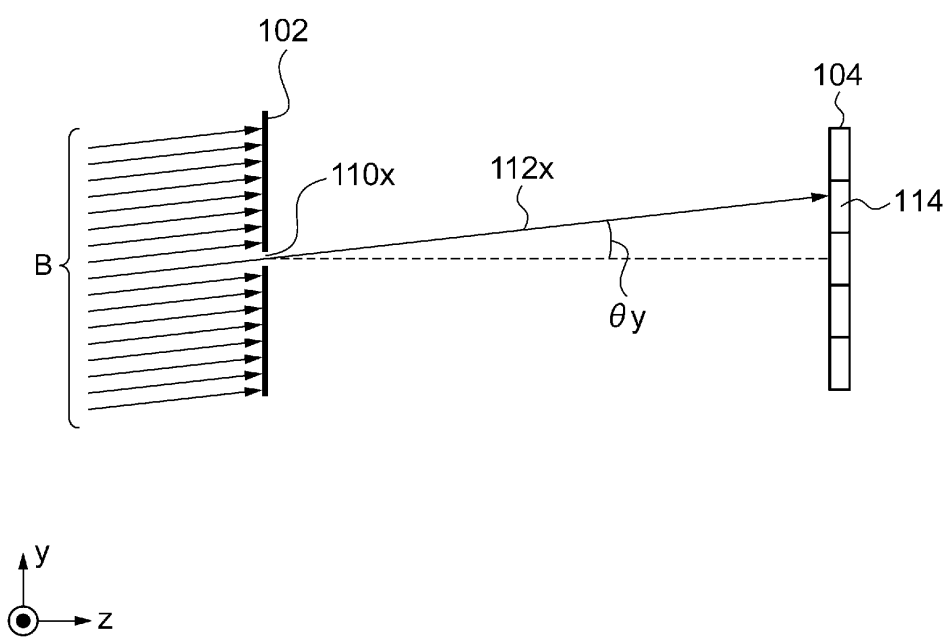
도면11



도면12



도면13



도면14

