



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0099954
(43) 공개일자 2020년08월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/24 (2006.01) H01J 37/147 (2006.01)
H01J 37/21 (2006.01) H01J 37/28 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/241 (2013.01)
H01J 37/147 (2020.05)
(21) 출원번호 10-2019-0137409
(22) 출원일자 2019년10월31일
심사청구일자 없음
(30) 우선권주장
JP-P-2019-025928 2019년02월15일 일본(JP)

(71) 출원인
가부시키가이샤 히다치 하이테크 사이언스
일본국 도쿄도 미나토쿠 니시-심바시 1초메 24-14
(72) 발명자
스기야마 야스히코
일본국 도쿄도 미나토쿠 니시-심바시 1초메 24-14
가부시키가이샤 히다치 하이테크 사이언스 내
히로세 나오코
일본국 도쿄도 미나토쿠 니시-심바시 1초메 24-14
가부시키가이샤 히다치 하이테크 사이언스 내
오바 히로시
일본국 도쿄도 미나토쿠 니시-심바시 1초메 24-14
가부시키가이샤 히다치 하이테크 사이언스 내
(74) 대리인
한양특허법인

전체 청구항 수 : 총 4 항

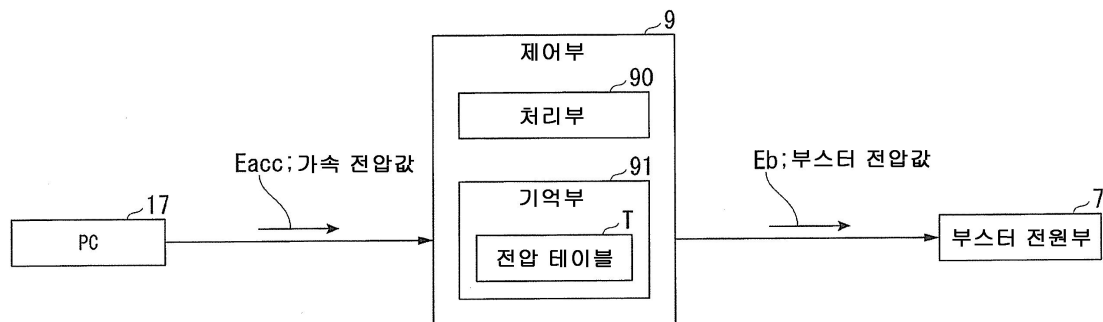
(54) 발명의 명칭 복합 하전 입자 빔 장치, 및 제어 방법

(57) 요약

집속 이온 빔의 원하는 가속 전압에 따라 집속 이온 빔의 빔 부스터의 전압의 값을 설정할 수 있는 복합 하전 입자 빔 장치를 제공하는 것이다.

복합 하전 입자 빔 장치는, 이온 빔을 공급하는 이온 공급부와, 이온 공급부가 공급하는 이온 빔에 가속 전압을 인가함으로써 가속시키는 가속 전압 인가부와, 이온 빔을 집속시키는 제1 집속부와, 이온 빔에 빔 부스터 전압을 인가하는 빔 부스터 전압 인가부와, 이온 빔을 집속시켜 시료에 조사시키는 제2 집속부와, 전자 빔을 시료에 조사하는 전자 빔 조사부와, 빔 부스터 전압 인가부가 이온 빔에 인가하는 빔 부스터 전압의 값을, 가속 전압 인가부가 이온 빔에 인가하는 가속 전압의 값과, 집속시킨 이온 빔의 초점 거리에 따라 미리 결정된 설정값에 의거하여 설정하는 제어부를 구비한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01J 37/21 (2013.01)

H01J 37/28 (2020.05)

명세서

청구범위

청구항 1

이온 빔을 공급하는 이온 공급부와,

상기 이온 공급부가 공급하는 상기 이온 빔에 가속 전압을 인가함으로써 가속시키는 가속 전압 인가부와,

상기 가속 전압 인가부가 가속시킨 상기 이온 빔을 집속시키는 제1 집속부와,

상기 제1 집속부가 집속시킨 상기 이온 빔에 빔 부스터 전압을 인가하는 빔 부스터 전압 인가부와,

상기 빔 부스터 전압 인가부가 상기 빔 부스터 전압을 인가한 상기 이온 빔을 집속시켜 시료에 조사시키는 제2 집속부와,

전자 빔을 상기 시료에 조사하는 전자 빔 조사부와,

상기 빔 부스터 전압 인가부가 상기 이온 빔에 인가하는 상기 빔 부스터 전압의 값을, 상기 가속 전압 인가부가 상기 이온 빔에 인가하는 상기 가속 전압의 값과, 집속시킨 상기 이온 빔의 초점 거리에 따라 미리 결정된 설정 값에 의거하여 설정하는 제어부를 구비하는 복합 하전 입자 빔 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

집속한 상기 이온 빔의 조사점 및 초점과, 상기 전자 빔의 조사점은 상기 시료 상의 동일한 점인 복합 하전 입자 빔 장치.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 제어부는, 상기 가속 전압의 값과 상기 설정값의 세트를 기억하는 기억부로부터 읽어 낸 상기 세트에 의거하여, 상기 빔 부스터 전압의 값을 상기 설정값으로 설정하는 복합 하전 입자 빔 장치.

청구항 4

이온 빔을 공급하는 이온 공급부와,

상기 이온 공급부가 공급하는 상기 이온 빔에 가속 전압을 인가함으로써 가속시키는 가속 전압 인가부와,

상기 가속 전압 인가부가 가속시킨 상기 이온 빔을 집속시키는 제1 집속부와,

상기 제1 집속부가 집속시킨 상기 이온 빔에 빔 부스터 전압을 인가하는 빔 부스터 전압 인가부와,

상기 빔 부스터 전압 인가부가 상기 빔 부스터 전압을 인가한 상기 이온 빔을 집속시켜 시료에 조사시키는 제2 집속부와,

전자 빔을 상기 시료에 조사하는 전자 빔 조사부를 구비하는 복합 하전 입자 빔 장치에 있어서의 제어 방법에 있어서,

상기 빔 부스터 전압 인가부가 상기 이온 빔에 인가하는 상기 빔 부스터 전압의 값을, 상기 가속 전압 인가부가 상기 이온 빔에 인가하는 상기 가속 전압의 값과, 집속시킨 상기 이온 빔의 초점 거리에 따라 미리 결정된 설정 값에 의거하여 설정하는 제어 과정을 갖는 제어 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 복합 하전 입자 빔 장치, 및 제어 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 전자 빔(EB: Electron Beam)과 집속 이온 빔(FIB: Focused Ion Beam)을 구비하는 복합 하전 입자 빔 장치를 사용한 투과 전자 현미경(TEM: Transmission Electron Microscope) 시료 제작으로 대표되는 시료 형상의 가공에 있어서는, 이온 빔 조사에 의한 시료에 대한 대미지를 최소한으로 억제하고 싶다고 하는 요구가 있다. 그 때문에, 복합 하전 입자 빔 장치를 사용한 가공에 있어서는, 이온 빔의 가속 에너지를 수 keV 이하로 내려 시료를 가공하고 있다.
- [0003] 예를 들면, 조가공(粗加工)을 30keV에서 행하고, 마무리 가공을 10keV에서 행하는 집속 이온 빔을 이용한 TEM 시료의 작성 방법이 알려져 있다(특허문헌 1). 또한, 마무리 가공에 사용하는 이온 빔의 에너지를 낮게 함과 더불어, 시료에 대한 입사 각도를 당해 시료의 형상에 맞추어 최적화함으로써 효과적으로 대미지층을 제거하는 가공 방법이 알려져 있다(특허문헌 2). 또한, 대미지층을 줄이기 위해서는, 집속 이온 빔 장치의 가속 전압을 낮게 할 필요가 있는 것이 알려져 있다(특허문헌 3). 이와 같이, 집속 이온 빔 장치를 이용한 가공에 있어서 가속 전압을 낮게 하는 것은 주지의 사실로 되어 있다.
- [0004] 그러나, 집속 이온 빔의 가속 전압을 낮게 하면, 색 수차에 의한 빔 블러(blur)량의 증대나 쿨롱 상호 작용에 의한 빔 프로파일의 확산이 현저해진다. 빔 블러량의 증대나 빔 프로파일의 확산에 대한 대책으로서 빔 부스터 기술이 이용되고 있다(특허문헌 4, 비특허문헌 1). 빔 부스터 기술에서는, 광학계의 중간부의 포텐셜 에너지를 올린 후, 대물렌즈에 의하여 당해 포텐셜 에너지를 저하시킨다.
- [0005] 또한, 전자 빔에 있어서도 빔 부스터를 사용하는 것은 주지되어 있다(특허문헌 5).
- [0006] 전자 빔과 집속 이온 빔이 시료 상의 동일점에 조사되는 복합 하전 입자 빔 장치가 알려져 있다(특허문헌 6). 복합 하전 입자 빔 장치에서는, 전자 빔과 집속 이온 빔을 시료 상의 동일점에 조사하고, 또한 전자 빔의 초점과 집속 이온 빔의 초점이 상기 시료 상의 동일점에 맞춰질 것이 요구된다. 이 전자 빔과 집속 이온 빔이 조사되는 시료 상의 동일점을 코인시던스 포인트(Coincidence Point: CP)라고 정의한다.
- [0007] 집속 이온 빔의 제어 방법으로서, 이온 빔의 전류량에 대응하여 렌즈의 설정, 비점 보정값, 애퍼처 직경, 빔 얼라인먼트에 대한 인가 전압, 및 대물렌즈에 대한 인가 전압 등의 이온 빔 광학 조건과, 복수 개의 가공 내용을 컴퓨터에 기억시켜 두고, 가공 내용에 따라서 광학 조건을 선택, 설정하여 복수 개의 가공을 행하는 것이 개시되어 있다(특허문헌 7).
- [0008] 집속 이온 빔의 렌즈의 제어로서, 집속 전압 테이블을 작성하고, 이 집속 전압 테이블에 의거하여 집속 전압을 설정함으로써 빔 전류값을 기준값 또는 임의값에 맞추는 것이 개시되어 있다(특허문헌 8).

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 일본국 특허공개 평11-223588호 공보
 (특허문헌 0002) 일본국 특허공개 2007-193977호 공보
 (특허문헌 0003) 일본국 특허공개 2009-272293호 공보
 (특허문헌 0004) 일본국 특허공개 2007-103108호 공보
 (특허문헌 0005) 일본국 특허공개 2000-173520호 공보
 (특허문헌 0006) 일본국 특허공개 2006-236836호 공보
 (특허문헌 0007) 일본국 특허공개 평10-106474호 공보
 (특허문헌 0008) 일본국 특허공개 2013-196826호 공보

비특허문헌

- [0010] (비특허문헌 0001) Michael Rauscher and Erich Plies, 「Low Energy focused ion beam system design」,

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 그러나, 집속 이온 빔 장치에 빔 부스터를 사용한 경우, 빔 부스터 전압에 의하여 집속 이온 빔의 초점 거리가 제한된다. 이 제한에 의하여, 집속 이온 빔의 초점이 시료의 상방에만 맞춰지고, 따라서 CP에 초점을 맞출 수 없는 상황이 발생한다.
- [0012] 여기에서 도 10을 참조하여, 집속 이온 빔의 초점을 CP에 맞출 수 없는 상황에 대하여 설명한다. 도 10은, 종래의 복합 하전 입자 빔 장치에 있어서의 빔 궤도의 일례를 나타내는 도면이다. 도 10에서는, 집속 이온 빔 경통(AO)으로부터 집속 이온 빔이 시료(SP0)에 조사됨과 더불어, 전자 빔 경통(B0)으로부터 전자 빔이 시료(SP0)에 조사되고 있다.
- [0013] 빔 궤도 T1은, 빔 부스터 전압이 인가되지 않은 경우의 집속 이온 빔의 궤도이다. 빔 궤도 T2는, 빔 부스터 전압이 인가된 경우의 집속 이온 빔의 궤도이다. 빔 궤도 T3은, 전자 빔의 궤도이다.
- [0014] 빔 부스터 전압이 인가되지 않는 경우에는, 빔 궤도 T1은 시료(SP0)의 표면 상의 점(FP1)에 초점을 맞춘다. 여기에서 점(FP1)은 CP이며, 전자 빔의 초점이기도 하다. 한편, 빔 부스터 전압이 인가된 경우, 집속 이온 빔의 초점은 점(FP1)에는 맞춰지지 않고, 빔 궤도 T1은 시료(SP0)의 상방의 점(FP0)에 초점을 맞춘 경우가 있다. 즉, 집속 이온 빔에 빔 부스터 전압이 인가된 경우에는, 집속 이온 빔의 초점을 CP에 맞출 수 없는 상황이 발생한다.
- [0015] 상술한 집속 이온 빔에 빔 부스터를 사용한 경우에 발생하는 초점 맞춤 가능한 범위의 제한은, 가속 전압에 의하여 변화한다. 또 빔 부스터를 사용한 경우에 발생하는 초점 맞춤 가능한 범위의 제한은, 빔 부스터의 전압에 의해서도 변화한다. 그 때문에, 빔 부스터의 전압의 범위에 따라서는, 집속 이온 빔의 초점 거리를, CP로 설정할 수 없는 경우가 있다. 집속 이온 빔의 초점 거리를, CP로 설정할 수 없는 빔 부스터의 전압을 사용한 조건에서는, 집속 이온 빔 장치의 대물렌즈의 인가 전압을 조정하고, 렌즈 강도를 조정해도 CP에 초점을 맞추는 것은 곤란하다.
- [0016] 상술한 바와 같이 본 과제는, 전자 빔과 집속 이온 빔으로 구성되는 복합 하전 입자 빔 장치에 있어서, 집속 이온 빔 경통에 빔 부스터가 탑재되어 있는 경우 또한 집속 이온 빔의 작동 거리가 전자 빔의 작동 거리보다 긴 경우에 발생하고, 전자 빔과 집속 이온 빔을 시료 상의 동일점에 조사하며, 또한 전자 빔의 초점과 집속 이온 빔의 초점을 상기 시료 상의 동일점에 맞출 수 없는 상황이 발생하는 것이다.
- [0017] 본 과제에 특허문헌 7에 기재된 방법을 적용해도 해결책이 되지 않는다. 특허문헌 7에는 집속 이온 빔의 빔 부스터의 기재가 없고, 또한 복합 하전 입자 빔에 대한 기재도 없으며, CP가 존재하지 않는다. 그 때문에 어떻게 과제가 발생하고, 어떻게 빔 부스터 전압을 설정하면 좋을지를 유추할 수 없다.
- [0018] 또한, 본 과제의 특허문헌 8에 기재된 방법을 적용해도 해결책이 되지 않는다. 특허문헌 8에 있어서의 제어 대상은 집속 렌즈의 집속 전압이며, 특허문헌 8에서는 집속 전압을 설정함으로써 빔 전류를 조정하는 것을 목적으로 하고 있다. 특허문헌 8에는 집속 이온 빔의 빔 부스터의 기재가 없고, 또한 복합 하전 입자 빔에 대한 기재도 없으며, CP가 존재하지 않는다. 그 때문에 어떻게 과제가 발생하고, 어떻게 빔 부스터 전압을 설정하면 좋을지를 유추할 수 없다.
- [0019] 그래서 복합 하전 입자 빔 장치에 있어서, 집속 이온 빔 경통에 빔 부스터가 탑재되어 있는 경우, 집속 이온 빔의 원하는 가속 전압에 따라 빔 부스터의 전압을 설정할 수 있을 것이 요구되고 있다.
- [0020] 본 발명은 상기의 점을 감안하여 이루어진 것이고, 집속 이온 빔의 원하는 가속 전압에 따라 빔 부스터의 전압의 값을 설정할 수 있는 복합 하전 입자 빔 장치, 및 제어 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0021] 상기 과제를 해결하여 이러한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 이하의 양태를 채용했다.
- [0022] (1) 본 발명의 일 양태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치는, 이온 빔을 공급하는 이온 공급부와, 상기 이온 공급

부가 공급하는 상기 이온 빔에 가속 전압을 인가함으로써 가속시키는 가속 전압 인가부와, 상기 가속 전압 인가부가 가속시킨 상기 이온 빔을 집속시키는 제1 집속부와, 상기 제1 집속부가 집속시킨 상기 이온 빔에 빔 부스터 전압을 인가하는 빔 부스터 전압 인가부와, 상기 빔 부스터 전압 인가부가 상기 빔 부스터 전압을 인가한 상기 이온 빔을 집속시켜 시료에 조사시키는 제2 집속부와, 전자 빔을 상기 시료에 조사하는 전자 빔 조사부와, 상기 빔 부스터 전압 인가부가 상기 이온 빔에 인가하는 상기 빔 부스터 전압의 값을, 상기 가속 전압 인가부가 상기 이온 빔에 인가하는 상기 가속 전압의 값과, 집속시킨 상기 이온 빔의 초점 거리에 따라 미리 결정된 설정값에 의거하여 설정하는 제어부를 구비한다.

[0023] 상기 (1)에 기재된 양태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치에서는, 집속한 상기 이온 빔의 조사점 및 초점과, 상기 전자 빔의 조사점은 상기 시료 상의 동일한 점이다.

[0024] (2) 상기 (1)에 기재된 복합 하전 입자 빔 장치에서는, 상기 집속 이온 빔의 초점이 CP에 맞춰진다.

[0025] 상기 (2)에 기재된 양태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치에서는, 전자 빔에 의한 관찰이 가능한 시료의 범위에서, 집속 이온 빔을 소정의 전압보다 낮은 가속 전압에 있어서 가속시킨 경우의 이온 빔의 확산을 빔 부스터에 의하여 억제할 수 있고, 미세한 이온 프로브를 형성하여 가공 및 관찰이 가능해진다. 상기 (2)에 기재된 양태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치에서는, 시료의 동일 개소를 시료 스테이지의 위치 조절을 하지 않고, 전자 빔에 의한 관찰과, 빔 부스터 기능을 구비한 집속 이온 빔에 의한 가공 및 관찰이 가능해진다.

[0026] (3) 상기 (1) 또는 (2)에 기재된 복합 하전 입자 빔 장치에서는, 상기 제어부는, 상기 가속 전압의 값과 상기 설정값의 세트를 기억하는 기억부로부터 읽어 낸 상기 세트에 의거하여, 상기 빔 부스터 전압의 값을 상기 설정값으로 설정한다.

[0027] 상기 (3)에 기재된 양태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치에서는, 가속 전압의 값과, 빔 부스터 전압의 값의 세트를 기억부로부터 읽어 내고, 집속 이온 빔의 원하는 가속 전압에 따라 빔 부스터의 전압의 값을 제한하여, 상기 제한의 범위 내에서 설정할 수 있다.

[0028] (4) 본 발명의 일 양태에 따른 제어 방법은, 이온 빔을 공급하는 이온 공급부와, 상기 이온 공급부가 공급하는 상기 이온 빔에 가속 전압을 인가함으로써 가속시키는 가속 전압 인가부와, 상기 가속 전압 인가부가 가속시킨 상기 이온 빔을 집속시키는 제1 집속부와, 상기 제1 집속부가 집속시킨 상기 이온 빔에 빔 부스터 전압을 인가하는 빔 부스터 전압 인가부와, 상기 빔 부스터 전압 인가부가 상기 빔 부스터 전압을 인가한 상기 이온 빔을 집속시켜 시료에 조사시키는 제2 집속부와, 전자 빔을 상기 시료에 조사하는 전자 빔 조사부를 구비하는 복합 하전 입자 빔 장치에 있어서의 제어 방법에 있어서, 상기 빔 부스터 전압 인가부가 상기 이온 빔에 인가하는 상기 빔 부스터 전압의 값을, 상기 가속 전압 인가부가 상기 이온 빔에 인가하는 상기 가속 전압의 값과, 집속시킨 상기 이온 빔의 초점 거리에 따라 미리 결정된 설정값에 의거하여 설정하는 제어 과정을 갖는다.

발명의 효과

[0029] 본 발명에 의하면, 집속 이온 빔의 원하는 가속 전압에 따라 집속 이온 빔의 빔 부스터의 전압의 값을 설정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 실시 형태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치의 구성의 일례를 나타내는 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시 형태에 따른 주사계의 절연의 일례를 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시 형태에 따른 제어부의 구성의 일례를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시 형태에 따른 가속 전압값에 대한 빔 부스터 전압값의 범위의 일례를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시 형태에 따른 FIB 작동 거리와 SEM 작동 거리의 일례를 나타내는 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시 형태에 따른 FIB 작동 거리와 빔 부스터 전압의 관계의 일례를 나타내는 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시 형태에 따른 빔 부스터 전압값의 설정 처리의 일례를 나타내는 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시 형태의 변형예에 따른 집속 이온 빔 경통, 및 전자 빔 경통의 배치의 제1 예를 나타내는 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시 형태의 변형예에 따른 집속 이온 빔 경통, 및 전자 빔 경통의 배치의 제2 예를 나타내는 도면이다.

도 10은 종래의 복합 하전 입자 빔 장치에 있어서의 빔 궤도의 일례를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] (실시 형태)
- [0032] 이하, 도면을 참조하면서 본 발명의 실시 형태에 대하여 상세하게 설명한다. 도 1은, 본 실시 형태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치(D)의 구성의 일례를 나타내는 도면이다.
- [0033] 복합 하전 입자 빔 장치(D)는, 집속 이온 빔 장치(D1)와, 빔 부스터 제어부(6)와, 빔 부스터 전원부(7)와, 렌즈 전원부(8)와, 제어부(9)와, 탱크 제어 모듈(12)과, 호스트 PB부(13)와, 진공 제어부(14)와, 스테이지 제어부(15)와, 스캔 보드(16)와, 퍼스널 컴퓨터(PC: Personal Computer)(17)와, 주사형 전자 현미경(D2)(도시하지 않음)을 구비한다.
- [0034] 집속 이온 빔 장치(D1)는, 이온원 제어부(1)와, 이온 이미터(E)와, 인출 전극(2)과, 콘덴서 렌즈(3)와, 빔 부스터(4)와, 대물렌즈(5)를 구비한다. 집속 이온 빔 장치(D1)는, 이온 빔(B)에, 가속 전압(Vacc)을 인가한 후, 콘덴서 렌즈(3), 빔 부스터(4), 및 대물렌즈(5)에 의하여 집속시켜, 시료(SP1)에 조사한다. 시료(SP1)는, 접지된 상태에 있어서 배치된다.
- [0035] 이온원 제어부(1)(이온 공급부의 일례)는, 하전 입자 빔으로서 이온 빔(B)의 방출을 제어한다. 이온원 제어부(1)는, 인출 전원(11)과, 가속 전원(10)을 구비한다. 이온 이미터(E)는, 예리한 선단을 갖는 금속을 갖고, 이 금속의 선단을, 예를 들면 액체 금속 갈륨으로 적신 액체 금속 이온원으로 한다. 혹은 액체 금속 대신에 헬륨, 네온, 산소, 질소, 수소 등의 가스를 공급하여 가스 전계 전리형 이온원으로 해도 된다. 또는, 하전 입자 공급부로서 유도 결합 플라즈마 이온원이나 전자 사이클로트론 공명 플라즈마 이온원을 이용할 수도 있다.
- [0036] 인출 전원(11)은, 이온 이미터(E)의 선단과, 인출 전극(2)의 사이에 인출 전압(Vext)을 인가함으로써, 당해 선단으로부터 하전 입자로서 갈륨 이온을 인출한다.
- [0037] 가속 전원(10)(가속 전압 인가부의 일례)은, 이온원 제어부(1)가 공급하는 이온 빔(B)에 가속 전압(Vacc)을 인가함으로써 가속시킨다. 가속 전압은 일례로서, 최대 30kV이지만, 이온 빔 조사에 의한 시료에 대한 대미지를 최소한으로 억제하기 위해서는, 집속 이온 빔의 가공 단계마다 가속 전압을 설정하여 사용한다. 예를 들면 조가공에서는 가속 전압을 30kV로 설정하고, 마무리 가공에서는 가속 전압을 1kV, 0.5kV로 낮은 값으로 설정하여 가공을 행한다.
- [0038] 콘덴서 렌즈(3)(제1 집속부의 일례)는, 가속 전원(10)이 가속시킨 이온 빔(B)을 집속시킨다. 여기에서 콘덴서 렌즈(3)는, 렌즈 전원부(8)의 콘덴서 렌즈 전원(80)에 의하여 콘덴서 렌즈 전압(Vc1)이 인가되어 형성되는 전기장에 의하여, 통과하는 이온 빔(B)을 집속시킨다.
- [0039] 빔 부스터(4)(빔 부스터 전압 인가부의 일례)는, 콘덴서 렌즈(3)가 집속시킨 이온 빔(B)에 빔 부스터 전압(Vb)을 인가한다. 빔 부스터(4)는, 콘덴서 렌즈(3)와, 대물렌즈(5)의 사이에 구비된다. 빔 부스터(4)는, 콘덴서 렌즈(3)를 통과한 이온 빔(B)의 포텐셜 에너지를 올림으로써, 색 수차에 의한 빔의 블러량의 증대나, 쿨롱 상호작용에 의한 빔 프로파일의 확산을 억제한다. 빔 부스터(4)는, 얼라인먼트 전극(41)과, 스티그마 전극(42)과, 블랭킹 전극(43)과, 디플렉션 전극(44)을 구비한다.
- [0040] 얼라인먼트 전극(41)은, 빔 부스터 제어부(6)의 얼라인먼트 전원(61)과, 접속되어, 이온 빔(B)에 전압을 인가함으로써, 통과하는 이온 빔(B)의 광축의 어긋남을 수정한다.
- [0041] 스티그마 전극(42)은, 빔 부스터 제어부(6)의 스티그마 전원(62)과 접속되어, 이온 빔(B)에 전압을 인가함으로써, 통과하는 이온 빔(B)을 단면 형상의 변형을 보정하여, 진원(眞圓)으로 형성한다.
- [0042] 블랭킹 전극(43)은, 빔 부스터 제어부(6)의 블랭킹 전원(63)과 접속되어, 이온 빔(B)에 전압을 인가함으로써, 통과하는 이온 빔(B)을 시료(SP1)에 조사되지 않도록 편향시킨다.
- [0043] 디플렉션 전극(44)은, 빔 부스터 제어부(6)의 디플렉션 전원(64)과 접속되어, 이온 빔(B)에 전압을 인가함으로써, 통과하는 이온 빔(B)을 시료(SP1) 상에 주사한다.
- [0044] 대물렌즈(5)(제2 집속부의 일례)는, 빔 부스터(4)가 빔 부스터 전압(Vb)을 인가한 이온 빔(B)을 집속시켜 시료

(SP1)에 조사시킨다. 여기에서 대물렌즈(5)는, 렌즈 전원부(8)의 대물렌즈 전원(81)에 의하여 대물렌즈 전압(Vo1)이 인가되어 형성되는 전기장에 의하여, 통과하는 이온 빔(B)을 집속시킨다. 또한, 대물렌즈(5)는, 가속 전압(Vacc)과, 대물렌즈 전압(Vo1)의 전위차에 의하여 이온 빔(B)을 감속시킨다.

- [0045] 빔 부스터 제어부(6)는, 빔 부스터(4)를 제어한다. 빔 부스터 제어부(6)는, MCU(60)와, 얼라인먼트 전원(61)과, 스티그마 전원(62)과, 블랭킹 전원(63)과, 디플렉션 전원(64)과, 고압 플로팅부(66)를 구비한다.
- [0046] 메모리 컨트롤 유닛(MCU: Memory Control Unit)(60)은, 빔 부스터 전원부(7)에 의하여 설정되는 빔 부스터 전압(Vb)에 의거하여, 얼라인먼트 전원(61)과, 스티그마 전원(62)과, 블랭킹 전원(63)과, 디플렉션 전원(64)를 제어한다.
- [0047] 얼라인먼트 전원(61)은, 얼라인먼트 전극(41)에 전압을 인가한다. 스티그마 전원(62)은, 스티그마 전극(42)에 전압을 인가한다. 블랭킹 전원(63)은, 블랭킹 전극(43)에 전압을 인가한다. 디플렉션 전원(64)은, 디플렉션 전극(44)의 전압, 및 주사 전극(45)에 전압을 인가한다.
- [0048] 고압 플로팅부(66)는, 스캔 보드(16)에 의하여 제어되어 주사 신호를 디플렉션 전원(64)에 공급한다. 당해 주사 신호는, 이온 빔(B)의 시료(SP1)에 조사되는 위치를 조정하기 위한 신호이다. 고압 플로팅부(66)는, 스캔 보드(16)와 더불어 주사계(SS)를 구성한다. 주사계(SS)의 상세에 대해서는 후술한다.
- [0049] 빔 부스터 전원부(7)는, 제어부(9)에 제어되어 빔 부스터 전압(Vb)을 설정한다.
- [0050] 렌즈 전원부(8)는, 콘덴서 렌즈 전원(80)과, 대물렌즈 전원(81)을 구비한다. 콘덴서 렌즈 전원(80)은, 콘덴서 렌즈(3)에 전압을 인가한다. 대물렌즈 전원(81)은, 대물렌즈(5)에 전압을 인가한다.
- [0051] 제어부(9)는, PC(17)로부터 공급되는 가속 전압값(Eacc)에 의거하여 빔 부스터 전원부(7)을 제어한다. 여기에서 가속 전압값(Eacc)은, PC(17)로부터 호스트 PB(13)를 통하여 제어부(9)에 공급된다. 제어부(9)의 상세에 대해서는 후술한다.
- [0052] PC(17)는, 복합 하전 입자 빔 장치(D)의 사용자로 부터의 각종 조작을 받아들인다. PC(17)는, 탱크 제어 모듈(12)을 통하여 이온원 제어부(1)에 조작 신호를 공급한다. PC(17)는, 호스트 PB(13)를 통하여 빔 부스터 제어부(6) 및 제어부(9)에 조작 신호를 공급한다. 여기에서 조작 신호에는, 예를 들면, 가속 전압(Vacc)의 값인 가속 전압값(Eacc)을 나타내는 정보가 포함된다. 또한, PC(17)는, 복합 하전 입자 빔 장치(D)의 진공 상태를 제어하는 진공 제어부(14), 및 시료(SP1)가 채지(載置)되는 스테이지를 제어하는 스테이지 제어부(15)를 제어한다.
- [0053] 주사형 전자 현미경(D2)(도시하지 않음, 전자 빔 조사부의 일례)은, 전자 빔을 시료(SP1)에 조사하고, 시료(SP1)로부터 방출되는 2차 전자나 반사 전자를 검출함으로써 시료(SP1)의 표면이나 단면을 관찰한다.
- [0054] 여기에서 도 2를 참조하여, 주사계의 절연에 대하여 설명한다. 도 2는, 본 실시 형태에 따른 주사계(SS)의 절연의 일례를 나타내는 도면이다. 주사계(SS)는, 스캔 보드(16)와, 고압 플로팅부(66)와, 광 절연(P)을 구비한다.
- [0055] 스캔 보드(16)는 스캔 제어부(160)를 구비한다. 스캔 제어부(160)는, 디지털 주사 신호인 X 디지털 주사 신호(1S), Y 디지털 주사 신호(2S), 및 CLK 신호(3S)를 고압 플로팅부(66)에 공급한다. 여기에서 CLK 신호(3S)는, X 디지털 주사 신호(1S)와 Y 디지털 주사 신호(2S)의 동기(同期), 및 D/A 변환의 동기에 이용된다. X 디지털 주사 신호(1S), Y 디지털 주사 신호(2S), 및 CLK 신호는, 광 절연(P)에 의하여 절연되어 고압 플로팅부(66)에 공급된다. 광 절연(P)은, 일례로서, 포토커플러이며, 스캔 보드(16)와 고압 플로팅부(66)의 사이에 구비된다.
- [0056] 고압 플로팅부(66)의 전위는, 빔 부스터 전압(Vb)에 대응하는 고압인 빔 부스터 전위와 동일하다. 고압 플로팅부(66)는, D/A 변환부(67)를 구비한다. D/A 변환부(67)는, CLK 신호(3S)에 동기시켜 X 디지털 주사 신호(1S)를 X 아날로그 주사 신호(4S)로 변환하고, Y 디지털 주사 신호(2S)를 Y 아날로그 주사 신호(5S)로 변환한다.
- [0057] 또한, 광 절연(P)은, 스캔 보드(16)와 고압 플로팅부(66)의 사이에 구비되는 대신에, 고압 플로팅부(66) 내에 구비되고, D/A 변환부(67)에 의하여 변환된 X 아날로그 주사 신호(4S) 및 Y 아날로그 주사 신호(5S)를 절연 앰프 등을 이용하여 절연해도 된다.
- [0058] 다음으로 도 3을 참조하여, 제어부(9)의 구성의 상세에 대하여 설명한다. 도 3은, 본 실시 형태에 따른 제어부(9)의 구성의 일례를 나타내는 도면이다. 제어부(9)는, 처리부(90)와, 기억부(91)를 구비한다.

- [0059] 처리부(90)는, PC(17)로부터 공급되는 가속 전압값(Eacc)과, 기억부(91)로부터 읽어 내는 전압 테이블(T)에 의거하여 빔 부스터 전압(Vb)의 값인 빔 부스터 전압값(Eb)을 산출한다. 처리부(90)는, 산출한 빔 부스터 전압값(Eb)을 빔 부스터 전원부(7)에 공급한다.
- [0060] 여기에서 전압 테이블(T)은, 가속 전압값(Eacc)과, 원하는 초점 거리에 따라 미리 산출된 빔 부스터 전압 설정값(TEb)의 세트를 나타내는 테이블이다. 이온 빔(B)에 빔 부스터(4)를 사용한 경우에 발생하는 이온 빔(B)의 초점 거리(FB)의 제한 범위는, 가속 전압값(Eacc)에 의하여 변화한다. 또 이온 빔(B)의 초점 맞춤 가능한 범위는 빔 부스터 전압값(Eb)에 의해서도 변화한다.
- [0061] 복합 하전 입자 빔 장치(D)에서는, 전압 테이블(T)은, 가속 전압값(Eacc)과, 가속 전압값(Eacc)에 있어서 전자 빔과 집속 이온 빔이 조사되는 시료 상의 동일점 즉 CP에 초점 맞춤 가능한 빔 부스터 전압 설정값(TEb)의 조합이 미리 구해진 테이블이다. 복합 하전 입자 빔 장치(D)에서는, 전압 테이블(T)에 의거하여 빔 부스터 전압 설정값(TEb)이 설정됨으로써, 이온 빔(B)의 조사점 및 초점과, 전자 빔의 조사점은 시료(SP1) 상의 동일한 점이 된다.
- [0062] 기억부(91)는, 전압 테이블(T)을 기억한다. 즉, 기억부(91)는, 가속 전압값(Eacc)과, 빔 부스터 전압 설정값(TEb)의 세트를 기억한다. 본 실시 형태에서는, 기억부(91)는, 가속 전압값(Eacc)과, 빔 부스터 전압 설정값(TEb)의 복수의 세트를 전압 테이블(T)로서 기억한다.
- [0063] 여기에서 도 4를 참조하여, 초점 맞춤 가능한 빔 부스터 전압(Vb)의 범위에 대하여 설명한다. 도 4는, 본 실시 형태에 따른 가속 전압값(Eacc)에 대한 빔 부스터 전압값(Eb)의 범위의 일례를 나타내는 도면이다.
- [0064] 처리부(90)는, 가속 전압(Vacc)의 변환 시에는, 전압 테이블(T)이 나타내는 빔 부스터 전압 설정값(TEb)보다 동일하거나 낮은 전압값으로, 빔 부스터 전압값(Eb)을 변화시킨다. 즉 전압 테이블(T)에는 빔 부스터 전압(Vb)의 상한을 부여하는 빔 부스터 전압 설정값(TEb)이 기억되어 있다. 빔 부스터 전압값(Eb)을 설정한 후에는, 전압 테이블(T)에는 가속 전압값(Eacc)과 설정한 빔 부스터 전압값(Eb)의 세트가 기억되어도 된다. 다음 회 빔 부스터 전압(Vb)을 설정할 때에는, 처리부(90)는, 가속 전압값(Eacc)에 대응하는 기억된 빔 부스터 전압값(Eb)을 사용해도 된다.
- [0065] 여기에서 도 5 및 도 6을 참조하여, 집속 이온 빔 장치(D1)의 작동 거리인 FIB 작동 거리(WDa1)와, 빔 부스터 전압(Vb)의 관계에 대하여 설명한다. 도 5는, 본 실시 형태에 따른 FIB 작동 거리(WDa1)와, SEM 작동 거리(WDb1)의 일례를 나타내는 도면이다.
- [0066] X축 및 Y축은 수평면에 평행이고 또한 서로 직교하며, Z축은 X축 및 Y축과 직교하는 연직 방향을 나타낸다. 도 5에서는, 집속 이온 빔 장치(D1)에 구비되는 집속 이온 빔 경통(A1)은, Z축과 평행, 즉 연직 방향으로 구비된다. 이온 빔(B)은, 집속 이온 빔 경통(A1)으로부터 Z축의 부(負)의 방향으로 시료(SP1)에 조사된다.
- [0067] 한편, 주사형 전자 현미경(D2)에 구비되는 전자 빔 경통(B1)은, Z축으로부터 소정의 각도만큼 기울어져 구비된다. 전자 빔(EB)은, 전자 빔 경통(B1)으로부터 당해 소정의 각도만큼 기울어져 시료(SP1)에 조사된다. 당해 소정의 각도는, 예를 들면 수평면으로부터 30~60°의 범위에서 설정된다.
- [0068] 여기에서 FIB 작동 거리(WDa1)는, 집속 이온 빔 경통(A1)의 선단과, 시료(SP1)의 표면 사이의 거리이다. SEM 작동 거리(WDb1)는, 주사형 전자 현미경(D2)의 작동 거리이며, 전자 빔 경통(B1)의 선단과, 시료(SP1)의 표면 사이의 거리이다.
- [0069] 주사형 전자 현미경(D2)의 상분해능을 확보하기 위하여, FIB 작동 거리(WDa1) 쪽이 SEM 작동 거리(WDb1)보다 길다. FIB 작동 거리(WDa1)는, 예를 들면 8~16mm의 범위에서 설정된다. SEM 작동 거리(WDb1)는, 예를 들면 2~7mm의 범위에서 설정된다.
- [0070] 도 6은, 본 실시 형태에 따른 FIB 작동 거리(WDa1)와 빔 부스터 전압(Vb)의 관계의 일례를 나타내는 도면이다. 그래프(G)는, 가속 전압이 1kV인 경우에, 빔 부스터 전압(Vb)의 값(빔 부스터 전압값(Eb))에 대한 CP에 초점 맞춤 가능한 FIB 작동 거리(WDa1)를 나타내는 그래프이다. 그래프(G)의 좌상의 영역은 초점 맞춤 불가능한 FIB 작동 거리(WDa1)에 대응하고, 그래프(G)의 우하의 영역은 초점 맞춤 가능한 FIB 작동 거리(WDa1)에 대응한다. 즉 그래프(G)는 CP에 초점 맞춤 가능한지 불가능한지의 경계를 나타내고 있다. 그래프(G)에 의하면, 빔 부스터 전압(Vb)의 절댓값이 커질수록, 초점 맞춤 가능한 FIB 작동 거리(WDa1)는 짧아지는 경향이 있다.
- [0071] 예를 들면, 점 P1에 주목하면, FIB 작동 거리(WDa1)가 16mm인 경우에는, 초점 맞춤 가능하기 위해서는, 빔 부스

터 전압(Vb)의 값의 절댓값을 6kV 이하로 할 필요가 있는 것을 알 수 있다.

- [0072] 여기에서 도 7을 참조하여, 제어부(9)가 빔 부스터 전압값(Eb)을 설정하는 처리에 대하여 설명한다. 도 7은, 본 실시 형태에 따른 빔 부스터 전압값(Eb)의 설정 처리의 일례를 나타내는 도면이다.
- [0073] 단계 S10: 처리부(90)는, PC(17)로부터 가속 전압값(Eacc)을 취득한다.
- [0074] 단계 S20: 처리부(90)는, 기억부(91)로부터 전압 테이블(T)을 읽어 낸다.
- [0075] 단계 S30: 처리부(90)는, 읽어 낸 전압 테이블(T)에 의거하여, 가속 전압값(Eacc)에 따른 빔 부스터 전압값(Eb)을 설정한다. 여기에서 처리부(90)는, 빔 부스터 전압값(Eb)으로서, 전압 테이블(T)에 의거하여 가속 전압값(Eacc)에 대응하는 빔 부스터 전압 설정값(TEb)과 동일하거나 소정의 값만큼 낮은 빔 부스터 전압값(Eb)을 산출한다. 처리부(90)는, 산출한 빔 부스터 전압값(Eb)을 빔 부스터 전원부(7)에 공급함으로써, 빔 부스터 전압값(Eb)을 설정한다.
- [0076] 따라서, 제어부(9)는, 가속 전원(10)이 이온 빔(B)에 인가하는 가속 전압(Vacc)의 값인 가속 전압값(Eacc)과, 빔 부스터(4)가 이온 빔(B)에 인가하는 빔 부스터 전압(Vb)의 값인 빔 부스터 전압값(Eb)을, 이온 빔(B)의 초점 거리(FB)에 따라 미리 결정된 설정값인 빔 부스터 전압 설정값(TEb)에 의거하여 설정한다.
- [0077] 여기에서, 전압 테이블(T)이란, 가속 전압값(Eacc)과 빔 부스터 전압 설정값(TEb)의 세트이다. 따라서, 제어부(9)는, 가속 전압값(Eacc)과 빔 부스터 전압 설정값(TEb)의 세트를 기억하는 기억부(91)로부터 읽어 낸 세트에 의거하여, 빔 부스터 전압값(Eb)을 빔 부스터 전압 설정값(TEb)으로 설정한다.
- [0078] 또한, 본 실시 형태에서는, 제어부(9)가 기억부(91)를 구비하는 경우에 대하여 설명했지만, 이것에 한정되지 않는다. 기억부(91)는, 복합 하전 입자 빔 장치(D)의 외부에 구비되어도 된다. 기억부(91)가 복합 하전 입자 빔 장치(D)의 외부에 구비되는 경우, 예를 들면, 기억부(91)는, 외부 기억 장치나, 클라우드 서버로서 구비된다.
- [0079] 또 기억부(91)가 전압 테이블(T)을 기억하는 대신에, 기억부(91)가 가속 전압값(Eacc)으로부터 빔 부스터 전압값(Eb)을 산출하는 연산식을 기억하고, 제어부(9)는 이 연산식에 의거하여 빔 부스터 전압값(Eb)을 산출하여 설정해도 된다.
- [0080] 또한, 본 실시 형태에서는, 집속 이온 빔 경통(A1)이 연직 방향으로 구비되고, 전자 빔 경통(B1)이 연직 방향으로부터 소정의 각도만큼 기울어져 구비되는 경우에 대하여 설명했지만, 이것에 한정되지 않는다.
- [0081] 여기에서 도 8 및 도 9를 참조하여, 집속 이온 빔 경통(A1), 및 전자 빔 경통(B1)의 배치의 변형예에 대하여 설명한다.
- [0082] 도 8은, 본 실시 형태의 변형예에 따른 집속 이온 빔 경통(A2), 및 전자 빔 경통(B2)의 배치의 제1 예를 나타내는 도면이다. 도 8에서는, 집속 이온 빔 경통(A2)은, Z축으로부터 소정의 각도만큼 기울어져 구비된다. 이온 빔(B)은, 집속 이온 빔 경통(A2)으로부터 당해 소정의 각도만큼 기울어져 시료(SP2)에 조사된다.
- [0083] 한편, 전자 빔 경통(B2)은, Z축과 평행, 즉 연직 방향으로 구비된다. 전자 빔(EB)은, 전자 빔 경통(B2)으로부터 Z축의 부의 방향으로 시료(SP2)에 조사된다.
- [0084] FIB 작동 거리(WDa2) 쪽이 SEM 작동 거리(WDb2)보다 길다.
- [0085] 도 9는, 본 실시 형태의 변형예에 따른 집속 이온 빔 경통(A3), 및 전자 빔 경통(B3)의 배치의 제2 예를 나타내는 도면이다. 도 9에서는, 집속 이온 빔 경통(A3)은, X축과 평행, 즉 수평 방향으로 구비된다. 이온 빔(B)은, 집속 이온 빔 경통(A2)으로부터 X축의 부의 방향으로 시료(SP3)에 조사된다.
- [0086] 한편, 전자 빔 경통(B3)은, Z축과 평행, 즉 연직 방향으로 구비된다. 전자 빔(EB)은, 전자 빔 경통(B3)으로부터 Z축의 부의 방향으로 시료(SP3)에 조사된다.
- [0087] FIB 작동 거리(WDa3)가 SEM 작동 거리(WDb3)보다 길다.
- [0088] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 실시 형태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치(D)에서는, 하전 입자 빔(이온 빔(B))의 원하는 가속 전압에 따라 집속 이온 빔을 CP에 초점 맞춤 가능한 빔 부스터(4)의 빔 부스터 전압(Vb)의 값(빔 부스터 전압값(Eb))을 설정할 수 있다.
- [0089] 본 발명의 효과를, Ga(갈륨) 집속 이온 빔에 의한 투과 전자 현미경용 박편 시료 제작을 예로 설명한다. 가공은 이하의 3단계로 실시한다.

- [0090] (1) 조가공
- [0091] 집속 이온 빔의 가속 전압을 30kV, 빔 전류를 10nA로 하여 박편의 주변부의 가공을 행한다. 박편의 주변부를 고가속 전압, 및 대전류에 의하여 가공 레이트가 큰 조건으로 가공을 행하는 것은 공지이다(특허문헌 1). 가속 전압 30kV에서는 색 수차나 쿨롱 상호 작용에 의한 빔 블러는 현저하지는 않기 때문에, 빔 부스터의 설정 전압은 0V로 한다. 본 조가공에 의하여 박편의 폭을 $0.7\mu\text{m}$ 까지 깎아 들어간다. 박편의 폭은, 박편 가공부와 동일점에 조사되고 있는 전자 빔에 의한 주사 전자 현미경상에 의하여, 가공의 진행 상황을 대략 실시간으로 관찰함으로써 확인한다. 단 가속 전압이 30kV이기 때문에, Si층에 있어서는 Ga 주입 및 원자 간의 충돌 캐스케이드에 의하여 25nm의 깊이의 대미지층이 형성된다. 박편의 양면에 각각 표면으로부터 25nm의 깊이의 대미지층이 형성된다.
- [0092] (2) 중간 가공
- [0093] 집속 이온 빔의 가속 전압을 1kV, 빔 전류를 200pA로 하여, 상술한 조가공으로 형성된 대미지층을 에칭한다. 그때에 새롭게 형성되는 대미지층의 두께를 최대한 얇게 하기 위하여, 가속 전압을 내려 가공을 행한다. 가속 전압 1kV에서는 색 수차나 쿨롱 상호 작용에 의한 빔 블러는 현저해지기 때문에, 빔 부스터의 설정 전압은 도 4를 참조하여 -7kV로 설정한다. 본 중간 가공에 의하여 박편의 폭을 $0.3\mu\text{m}$ 까지 깎아 들어간다. 박편의 폭은, 조가공과 동일하게, 박편 가공부와 동일점에 조사되고 있는 전자 빔에 의한 주사 전자 현미경상에 의하여, 가공의 진행 상황을 대략 실시간으로 관찰함으로써 확인한다. 단 가속 전압이 1kV이기 때문에, Si층에 있어서는 Ga 주입 및 원자 간의 충돌 캐스케이드에 의하여 3nm의 대미지층이 형성된다. 박편의 양면에 각각 표면으로부터 3nm의 깊이의 대미지층이 형성된다.
- [0094] (3) 마무리 가공
- [0095] 집속 이온 빔의 가속 전압을 0.5kV, 빔 전류를 50pA로 하여, 상술한 중간 가공에서 형성된 대미지층을 에칭하여 대미지층을 얇게 하면서, 박편의 두께도 얇게 마무리한다. 그때에 새롭게 형성되는 대미지층의 두께를 최대한 얇게 하기 위하여, 가속 전압을 더 내려 가공을 행한다. 가속 전압 0.5kV에서는 색 수차나 쿨롱 상호 작용에 의한 빔 블러는 더 현저해지기 때문에, 빔 부스터의 설정 전압은 도 4를 참조하여 -4kV로 설정한다. 이때, 본 발명에 의한 빔 부스터의 설정 방법을 사용하지 않는 경우, 예를 들면 상술한 중간 마무리의 조건인 빔 부스터의 설정 전압과 동일한 -7kV로 설정하면, 집속 이온 빔의 초점을 박편 시료에 맞출 수 없다. 본 마무리 가공에 의하여 박편의 폭을 $0.1\mu\text{m}(=100\text{nm})$ 까지 깎아 들어간다. 박편의 폭은, 상술한 가공과 동일하게, 박편 가공부와 동일점에 조사되고 있는 전자 빔에 의한 주사 전자 현미경상에 의하여, 가공의 진행 상황을 대략 실시간으로 관찰함으로써 확인한다. 단 가속 전압이 0.5kV이기 때문에, Si층에 있어서는 Ga 주입 및 원자 간의 충돌 캐스케이드에 의하여 2nm의 대미지층이 형성된다. 박편의 양면에 각각 표면으로부터 2nm의 깊이의 대미지층이 형성된다.
- [0096] 이상의 절차에 의하여 두께 $0.1\mu\text{m}(=100\text{nm})$, 박막 표면의 대미지층 $4\text{nm}(2\text{nm}\times 2)$ 의 박편을 얻는다. 박편 두께에 대한 대미지층의 두께는 $4/100(=4\%)$ 이며, 고품위의 박편 가공이 가능하다.
- [0097] 상술한 바와 같이 일반적으로 복합 하전 입자 빔 장치에서는, 집속 이온 빔의 초점이 CP에 맞춰질 것이 요구된다. 본 실시 형태에 따른 복합 하전 입자 빔 장치(D)에서는, 전압 테이블(T)은, CP에 초점 맞춤 가능한 가속 전압값(Eacc)과 빔 부스터 전압 설정값(TEb)의 조합이 미리 구해진 테이블이며, 집속 이온 빔의 원하는 가속 전압에 따라 CP에 초점 맞춤 가능한 빔 부스터 전압(Vb)의 값(빔 부스터 전압값(Eb))을 설정할 수 있다.
- [0098] 또한, 빔 부스터를 탑재한 주사형 전자 현미경에 있어서도, 전자 빔의 초점 위치가 부스터 전압의 인가에 의하여 제한되는 과제가 발생하지만, 전자 빔에서는 작동 거리가 짧기 때문에 이 과제는 표면화되어 있지 않다. 집속 이온 빔에 있어서도, 집속 이온 빔의 작동 거리를 짧게 하면 이 과제는 표면화되지 않지만, 주사형 전자 현미경과의 배치의 관계상, 집속 이온 빔의 작동 거리가 전자 빔의 작동 거리에 비하여 길어진다. 상술한 바와 같이, 이것은 주사형 전자 현미경의 상분해능을 확보하기 위해서이다.
- [0099] 상술한 실시 형태에 있어서의 복합 하전 입자 빔 장치(D)는 집속 이온 빔과 전자 빔의 2개의 하전 입자 빔을 구비하는 것이다. 복합 하전 입자 빔 장치(D)에 추가로 아르곤 이온 빔 등의 제3 하전 입자 빔을 설치한 경우, 3개의 하전 입자 빔이 시료 상의 동일점에 조사 가능한 구성으로 되어 있으면, 상술과 동일한 방법으로 집속 이온 빔의 부스터 전압을 제어함으로써, 집속 이온 빔의 원하는 가속 전압에 따라 CP에 초점 맞춤 가능한 빔 부스터 전압(Vb)의 값(빔 부스터 전압값(Eb))을 설정할 수 있다.

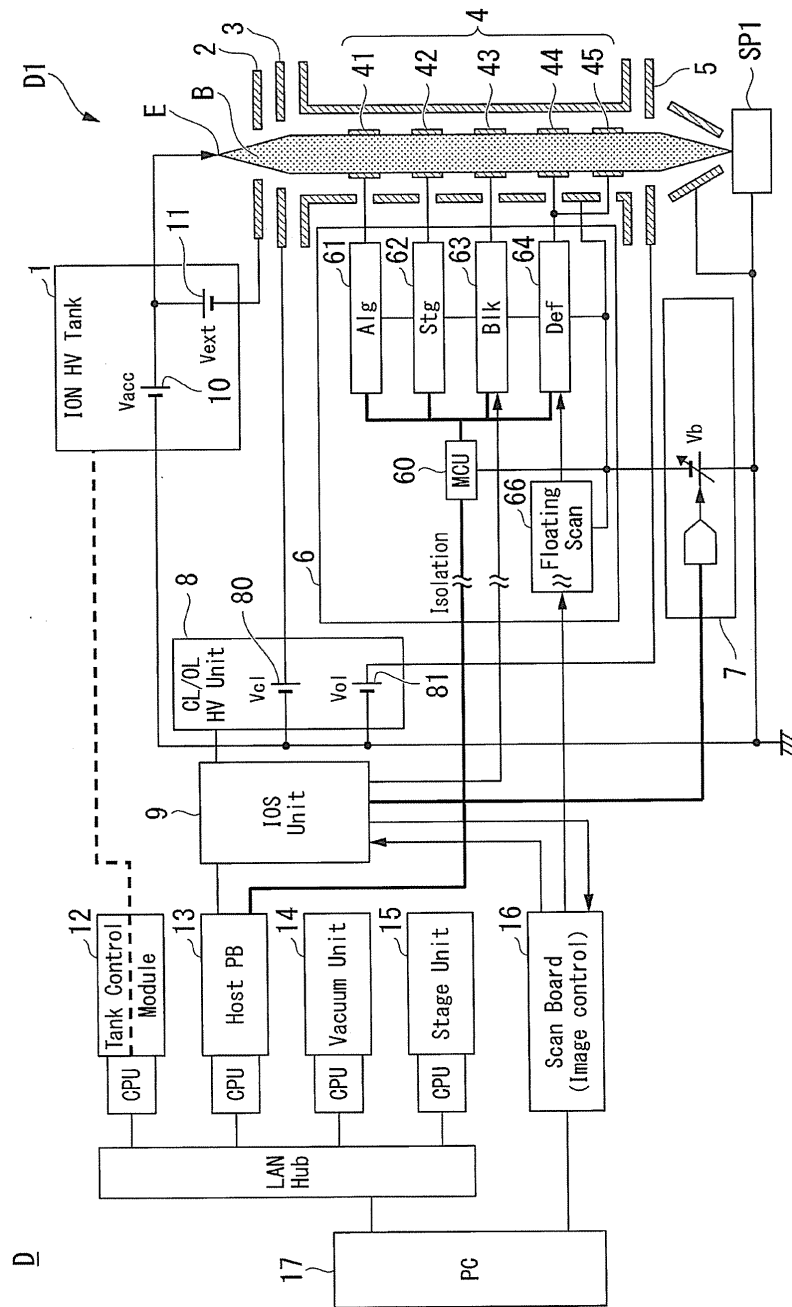
- [0100] 3개의 하전 입자 빔이 시료 상의 동일점에 조사할 수 없는 경우, 예를 들면 집속 이온 빔과 전자 빔의 시료 상의 동일 조사점(CP1)과, 집속 이온 빔과 아르곤 이온 빔의 시료 상의 동일 조사점(CP2)을 정의하고, 각각에 대응하는 전압 테이블 T-1 및 T-2를 준비하여 집속 이온 빔의 빔 부스터 전압(V_b)을 설정한다. 시료에 집속 이온 빔과 전자 빔의 조사를 행하는 프로세스에서는 전압 테이블 T-1을 사용하여 집속 이온 빔의 빔 부스터 전압(V_b)을 설정하고, 시료에 집속 이온 빔과 아르곤 이온 빔의 조사를 행하는 프로세스에서는 전압 테이블 T-2를 사용하여 집속 이온 빔의 빔 부스터 전압(V_b)을 설정한다.
- [0101] 또한 하전 입자 빔이 증가한 경우는 상기의 방법을 확장시켜, 대응하는 전압 테이블 T-n을 준비함으로써, CPn에 초점 맞춤 가능한 빔 부스터 전압(V_b)의 값(빔 부스터 전압값(E_b))을 설정할 수 있다.
- [0102] 또한, 상술한 실시 형태에 있어서의 복합 하전 입자 빔 장치(D)의 일부, 예를 들면, 제어부(9)를 컴퓨터로 실현하도록 해도 된다. 그 경우, 이 제어 기능을 실현하기 위한 프로그램을 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록하고, 이 기록 매체에 기록된 프로그램을 컴퓨터 시스템에 읽어 들여, 실행함으로써 실현해도 된다. 또한, 여기에서 말하는 「컴퓨터 시스템」이란, 복합 하전 입자 빔 장치(D)에 내장된 컴퓨터 시스템이며, OS나 주변 기기 등의 하드웨어를 포함하는 것으로 한다. 또한, 「컴퓨터 판독 가능한 기록 매체」란, 플렉서블 디스크, 광학 자기 디스크, ROM, CD-ROM 등의 휴대용 매체, 컴퓨터 시스템에 내장되는 하드 디스크 등의 기억 장치를 말한다. 또한 「컴퓨터 판독 가능한 기록 매체」란, 인터넷 등의 네트워크나 전화 회선 등의 통신 회선을 통하여 프로그램을 송신하는 경우의 통신선과 같이, 단시간, 동적으로 프로그램을 유지하는 것, 그 경우의 서버나 클라이언트가 되는 컴퓨터 시스템 내부의 휘발성 메모리와 같이, 일정 시간 프로그램을 유지하고 있는 것도 포함해도 된다. 또한 상기 프로그램은, 상술한 기능의 일부를 실현하기 위한 것이어도 되고, 또한 상술한 기능을 컴퓨터 시스템에 이미 기록되어 있는 프로그램과의 조합으로 실현할 수 있는 것이어도 된다.
- [0103] 또한, 상술한 실시 형태에 있어서의 제어부(9)의 일부, 또는 전부를, LSI(Large Scale Integration) 등의 집적 회로로 하여 실현해도 된다. 제어부(9)의 각 기능 블록은 개별적으로 프로세서화해도 되고, 일부, 또는 전부를 집적하여 프로세서화해도 된다. 또한, 집적 회로화의 수법은 LSI에 한정되지 않고 전용 회로, 또는 범용 프로세서로 실현해도 된다. 또한, 반도체 기술의 진보에 의하여 LSI를 대체하는 집적 회로화의 기술이 출현한 경우, 당해 기술에 의한 집적 회로를 이용해도 된다.
- [0104] 이상, 도면을 참조하여 이 발명의 일 실시 형태에 대하여 상세하게 설명해 왔지만, 구체적인 구성은 상술한 것에 한정되는 것은 아니고, 이 발명의 요지를 벗어나지 않는 범위 내에 있어서 다양한 설계 변경 등을 하는 것이 가능하다.

부호의 설명

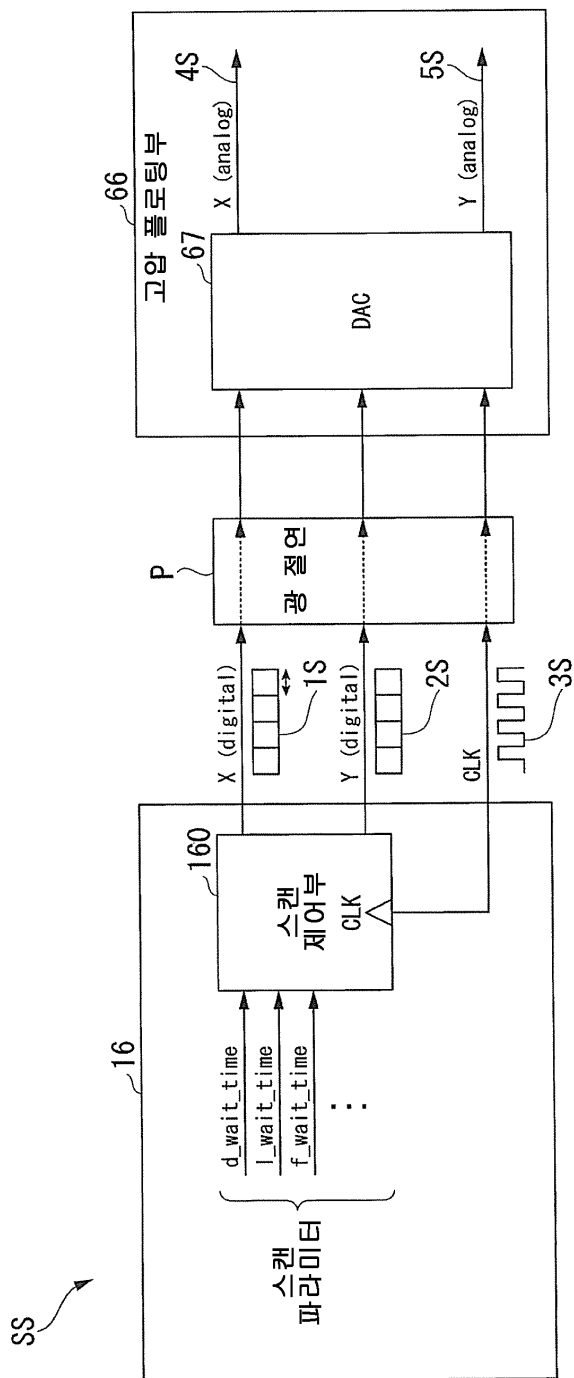
- [0105] D 복합 하전 입자 빔 장치
- D1 집속 이온 빔 장치
- D2 주사형 전자 현미경
- 1 이온원 제어부
- 10 가속 전원
- 3 콘덴서 렌즈
- 4 빔 부스터
- 5 대물렌즈
- 9 제어부
- 91 기억부
- T 전압 테이블
- E_b 빔 부스터 전압값
- TEb 빔 부스터 전압 설정값
- Eacc 가속 전압값

도면

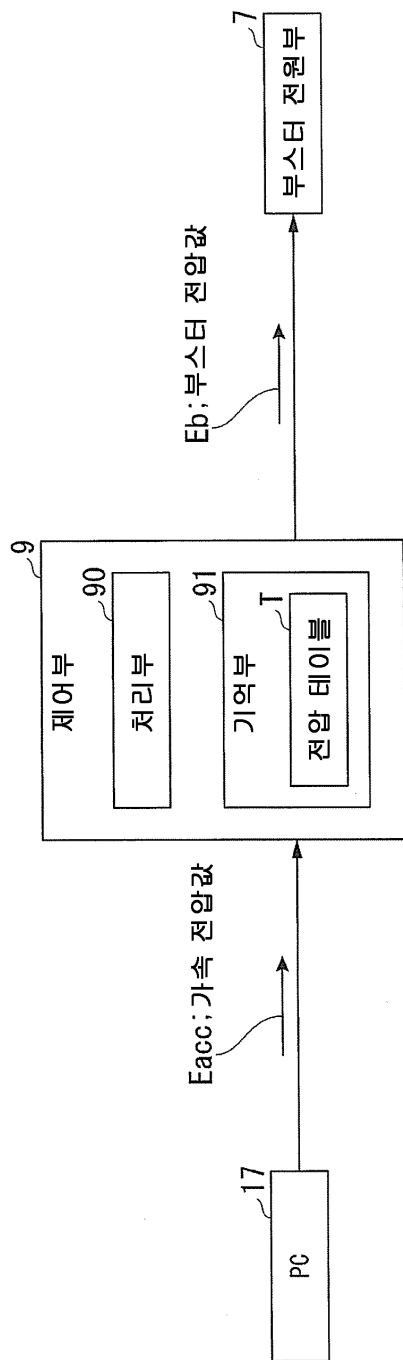
도면1



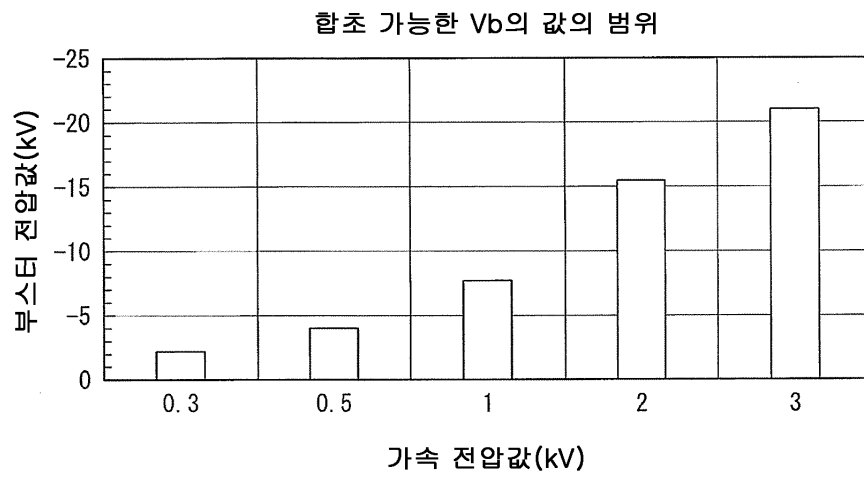
도면2



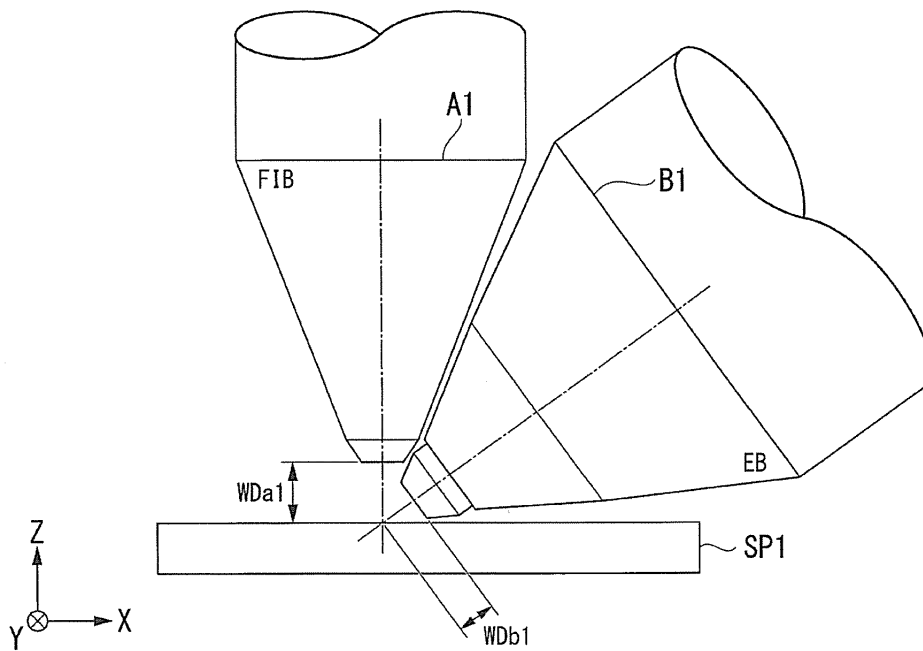
도면3



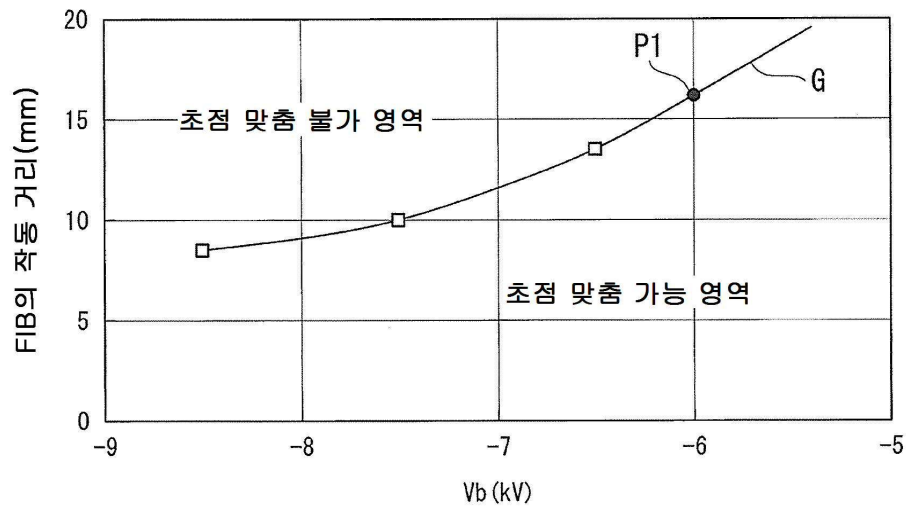
도면4



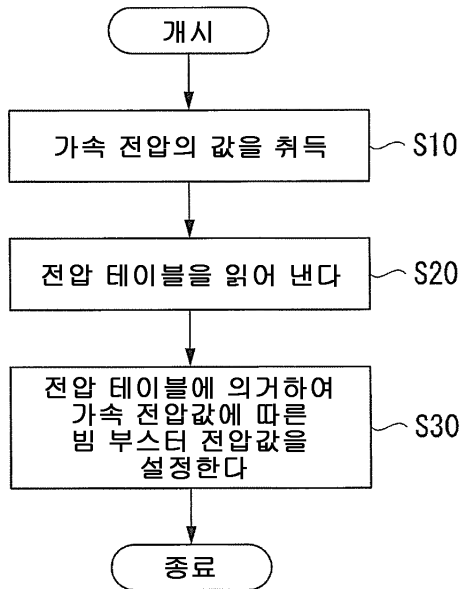
도면5



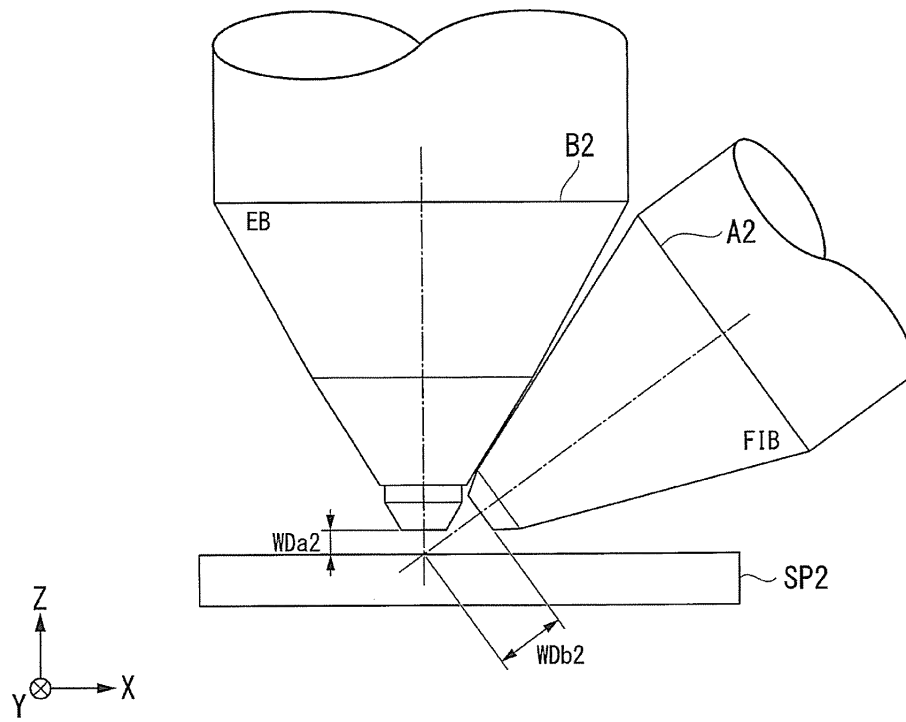
도면6



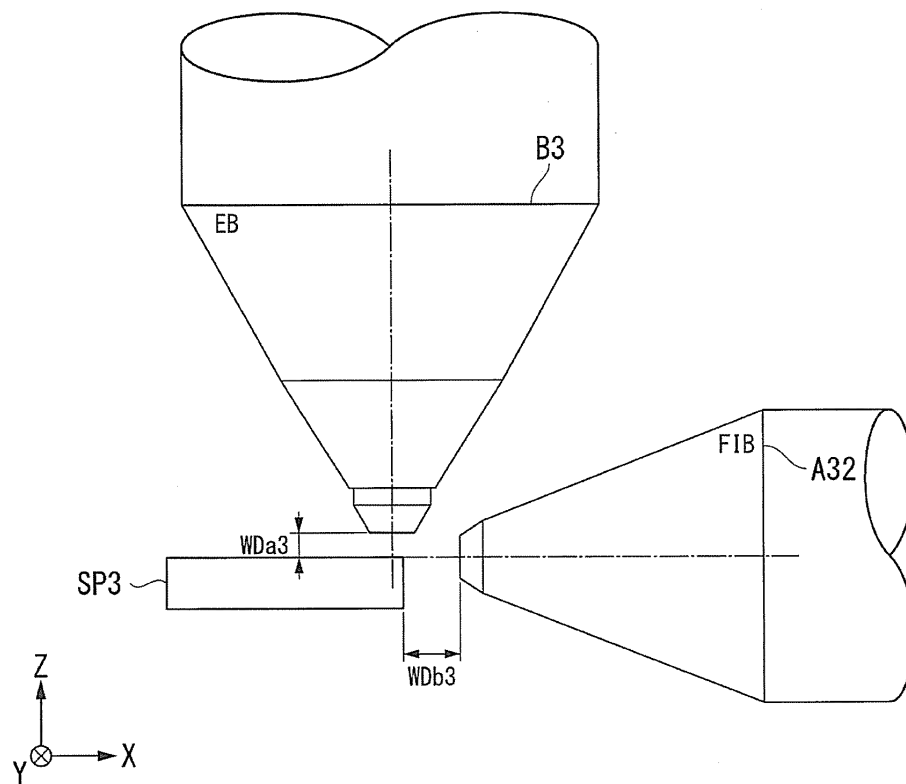
도면7



도면8



도면9



도면10

