



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2019-0039353  
 (43) 공개일자 2019년04월10일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H01J 37/244 (2006.01) H01J 37/10 (2006.01)  
 H01J 37/22 (2006.01) H01J 37/28 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
 H01J 37/244 (2013.01)  
 H01J 37/10 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7009687(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2016년11월29일  
 심사청구일자 없음
- (62) 원출원 특허 10-2018-7018771  
 원출원일자(국제) 2016년11월29일  
 심사청구일자 2018년07월03일
- (85) 번역문제출일자 2019년04월04일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2016/085406
- (87) 국제공개번호 WO 2017/094721  
 국제공개일자 2017년06월08일
- (30) 우선권주장  
 JP-P-2015-237010 2015년12월03일 일본(JP)

- (71) 출원인  
 마쯔사다 프리지션 인코포레이티드  
 일본 525-0041 시가 쿠사쓰시 아오지초 745
- (72) 발명자  
 쿠마모토 카즈야  
 일본 525-0041 시가 쿠사쓰시 아오지초 745 마쯔사다 프리지션 인코포레이티드 구내
- (74) 대리인  
 김종수, 정창영

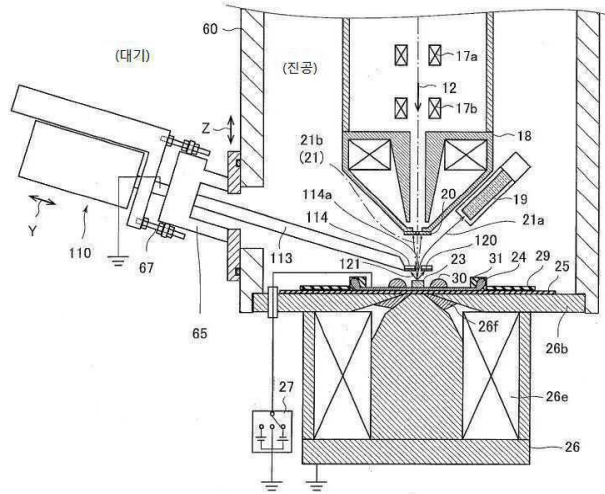
전체 청구항 수 : 총 24 항

**(54) 발명의 명칭 하전 입자선 장치 및 주사 전자 현미경**

**(57) 요약**

하전 입자선 장치는 하전 입자선(12)을 방출하는 하전 입자원과, 하전 입자원에 접속되어, 하전 입자선(12)을 가속하는 가속 전원과, 하전 입자선(12)을 시료(23)에 집속시키는 대물 렌즈(26)와, 제2 검출기(110)를 갖는다. 제2 대물 렌즈(26)는 시료(23)에 대하여 하전 입자선(12)이 입사하는 축의 반대측에 설치되어 있다. 제2 검출기(110)에는 하전 입자선(12)의 입사에 따라 시료(23)로부터 방출된 전자파 및 시료(23)에서 반사된 전자파 중 적어도 하나가 입사한다. 제2 검출기(110)는 입사한 전자파를 검출한다.

**대표도 - 도9**



(52) CPC특허분류

*H01J 37/22* (2013.01)

*H01J 37/28* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

하전 입자선을 방출하는 하전 입자원과,  
 상기 하전 입자원에 접속되어, 상기 하전 입자원으로부터 방출된 상기 하전 입자선을 가속하는 가속 전원과,  
 상기 하전 입자선을 시료에 집속시키는 대물 렌즈와,  
 상기 하전 입자선의 입사에 따라 상기 시료로부터 방출된 전자파 및 상기 시료에서 반사된 전자파 중 적어도 하나가 입사하며, 입사한 상기 전자파를 검출하는 제2 검출기를 구비하고,  
 상기 대물 렌즈는 상기 시료에 대하여 상기 하전 입자선이 입사하는 측의 반대측에 설치되어 있으며,  
 상기 제2 검출기는 상기 시료에 대해 상기 하전 입자선이 입사하는 측에 설치되어 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 2**

제1항에 있어서,  
 상기 하전 입자선의 입사에 따라 상기 시료로부터 방출된 반사 전자 및 이차 전자의 적어도 하나가 입사하며, 입사한 상기 반사 전자 또는 상기 이차 전자를 검출하는 제1 검출기를 더 구비하는, 하전 입자선 장치.

**청구항 3**

제2항에 있어서,  
 상기 제2 검출기는, 상기 제1 검출기에 의한 상기 반사 전자 또는 상기 이차 전자의 검출을 방해하지 않도록 배치되어 있으며,  
 상기 제1 검출기에 의한 상기 반사 전자 또는 상기 이차 전자의 검출과, 상기 제2 검출기에 의한 상기 전자파의 검출은 동시에 수행할 수 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 4**

제2항 또는 제3항에 있어서,  
 상기 제2 검출기의 일부에 상기 전자파가 입사하는 위치는, 상기 제1 검출기에 상기 반사 전자 또는 상기 이차 전자가 입사하는 위치에 비해, 상기 하전 입자선이 상기 시료에 입사하는 입사 위치에 가까운, 하전 입자선 장치.

**청구항 5**

제2항 또는 제3항에 있어서,  
 상기 하전 입자선은, 상기 하전 입자원을 갖는 상부 장치의 내부를 지나, 최종적으로 상기 상부 장치에 형성된 구멍부를 통해 상기 시료를 향해 방출되며,  
 상기 제1 검출기는, 상기 구멍부의 가장 하부에 장착되어 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 6**

제2항 또는 제3항에 있어서,  
 상기 제1 검출기는,  
 상기 하전 입자선에 의해 상기 시료로부터 방출되는 이차 전자를 끌어당기는 전계를 생성하고, 상기 이차 전자를 검출하는 이차 전자 검출기이며,

상기 하전 입자원을 가지며 상기 하전 입자선을 방출하는 상부 장치의 측부에 배치되어 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 7**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 시료에 음 전위를 부여하는, 상기 하전 입자선을 감속하기 위한 리타딩 전원을 더 구비하는, 하전 입자선 장치.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 시료와 상기 대물 렌즈 사이에는, 상기 시료와 상기 대물 렌즈를 절연하는 절연판이 배치되어 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 9**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 시료의 상부에, 구멍부가 있는 전위판을 더 구비하며,

상기 전자파는 상기 전위판의 상기 구멍부를 통과하고,

상기 전위판에는 접지 전위, 양 전위, 또는 음 전위가 부여되는, 하전 입자선 장치.

**청구항 10**

제9항에 있어서,

상기 하전 입자선은 양이온이며,

상기 시료에는 접지 전위 이상의 양 전위가 부여되고 있으며,

상기 전위판에는 상기 시료의 전위와 비교하여 동(同) 전위 또는 높은 전위가 부여되고 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 11**

제9항에 있어서,

상기 제2 검출기는 상기 전위판의 상기 하전 입자원측에 배치되어 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 12**

제2항 또는 제3항에 있어서,

상기 시료의 상부에 배치되며, 구멍부가 있는 전위판을 추가로 구비하고,

상기 제1 검출기는 복수개가 마련되어 있으며, 복수의 상기 제1 검출기 중 하나가 상기 전위판의 상기 시료측 면에 배치되어 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 13**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 검출기는 상기 하전 입자선의 입사에 따라 상기 시료로부터 방출된 X선을 검출하는, 하전 입자선 장치.

**청구항 14**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 검출기는, 상기 시료의 근처에 배치된 광학소자를 가지며, 상기 하전 입자선의 입사에 따라 상기 시료

로부터 방출되고, 상기 광학소자에 입사한 캐소드 루미네센스를 검출하는, 하전 입자선 장치.

**청구항 15**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 검출기는, 상기 시료의 근처에 배치된 광학소자를 가지며, 상기 시료의 표면에 조사되고, 상기 시료의 표면에서 반사 또는 발광되어 상기 광학소자에 입사한 광을 검출하는, 하전 입자선 장치.

**청구항 16**

제14항에 있어서,

상기 광학소자는 타원경, 포물면경, 및 반사경 중 어느 하나인, 하전 입자선 장치.

**청구항 17**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 검출기는, 상기 하전 입자선의 입사에 따라 상기 시료로부터 방출된 X선을 검출하고,

상기 제2 검출기는, 상기 X선이 입사하는 입사부가, 도전성 아암부에 형성된 판상부에 장착되어 있으며,

상기 판상부는, 상기 하전 입자선이 통과하는 개구부를 가지고, 상기 시료의 근방으로서 상기 시료에 대해 상기 하전 입자선이 입사하는 측에 배치되어 있으며,

상기 판상부에는 접지 전위, 양 전위, 또는 음 전위가 부여되는, 하전 입자선 장치.

**청구항 18**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 시료에 대해 상기 하전 입자선이 입사하는 측에 설치된, 상기 대물 렌즈와는 상이한 다른 대물 렌즈를 더 구비하며,

상기 제2 검출기는,

상기 대물 렌즈에 의해 상기 하전 입자선을 상기 시료에 집속시키는 경우와, 상기 대물 렌즈와는 상이한 다른 대물 렌즈에 의해 상기 하전 입자선을 상기 시료에 집속시키는 경우의 양쪽 모두에서 상기 검출을 수행할 수 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 19**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 시료에 대해 상기 하전 입자선이 입사하는 측에 설치되어, 상기 시료에 입사하는 하전 입자선의 개방각을 변경하는, 상기 대물 렌즈와는 상이한 다른 대물 렌즈를 더 구비하는, 하전 입자선 장치.

**청구항 20**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 검출기의 상기 시료에 대한 위치를 조정할 수 있도록 구성되어 있는, 하전 입자선 장치.

**청구항 21**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

(i) 상기 대물 렌즈의 초점 거리를 변화시킴으로써, 초점 거리마다, 상기 하전 입자선의 입사에 따라 상기 시료로부터 방출된 반사 전자 또는 이차 전자 신호를 사용한 제1 화상 및 상기 전자파를 이용한 제2 화상을 촬영하며,

(ii) 초점 거리마다 촬영된, 각 제1 화상에서 초점이 맞는 제1 부분, 및 그 제1 부분에 대응하는, 각 제2 화상에서 초점이 맞는 제2 부분을, 각 제1 화상 및 각 제2 화상으로부터 각각 추출하고,

(iii) 추출된 복수의 제1 부분 및 복수의 제2 부분을 합성하여, 그 합성된 화상을 표시장치에 표시시키는 제어 장치를 더 구비하는, 하전 입자선 장치.

**청구항 22**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 시료에 대해 상기 하전 입자선이 입사하는 측에 설치된, 상기 대물 렌즈와는 상이한 다른 대물 렌즈와,

상기 다른 대물 렌즈의 강도를 가변하는 다른 대물 렌즈 전원과,

상기 대물 렌즈의 강도를 가변하는 대물 렌즈 전원을

구비하고,

상기 다른 대물 렌즈 전원만을 사용할 때, 상기 시료는 상기 다른 대물 렌즈와 상기 대물 렌즈 사이에 배치되며,

상기 대물 렌즈 전원만을 사용할 때, 상기 대물 렌즈와 측정 시료면간의 거리가 상기 다른 대물 렌즈와 측정 시료면간의 거리보다도 가깝게 되는, 하전 입자선 장치.

**청구항 23**

제17항에 있어서,

상기 관상부의 상기 개구부에 장착된, 상기 제2 검출기의 부분은 전위판의 역할을 갖는, 하전 입자선 장치.

**청구항 24**

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항의 하전 입자선 장치를 구비하는, 주사 전자 현미경.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 하전 입자선 장치(charged particle beam device) 및 주사 전자 현미경에 관한 것이다. 보다 특정적으로, 본 발명은 성능 향상을 도모할 수 있는 하전 입자선 장치 및 주사 전자 현미경에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 하전 입자선 장치로서는 주사 전자 현미경(Scanning Electron Microscope: 이하, 'SEM'으로 약칭함), EPMA(Electron Probe Micro Analyser), 전자빔 용접기, 전자선 묘화(描畵) 장치, 및 이온 빔 현미경 등이 존재한다.

[0003] 종래의 SEM에서는 고분해능화의 관점에서 렌즈의 초점거리를 짧게 하는 단초점화에 관한 연구가 이루어져 있다. 고분해능화를 위해서는, 렌즈의 광축상 자속밀도 분포  $B(z)$ 에 있어서  $B$ 를 강하게, 또한 렌즈의 두께, 즉  $B$  분포의  $z$ 폭을 얇게 하는 것이 필요하다.

[0004] 하기 특허문헌 1에는 2개의 대물 렌즈(제1 대물 렌즈와 제2 대물 렌즈)를 구비한 SEM이 기재되어 있다(이후, 시료에 대하여 전자총측의 렌즈를 제1 대물 렌즈라고 하고, 시료에서 볼 때 전자총의 반대측에 있는 대물 렌즈를 제2 대물 렌즈라고 한다). 제2 대물 렌즈는 특히, 가속 전압  $V_{acc}$ 가 0.5~5kV인 저가속 시에서의 고분해능 관찰 모드에서 사용된다. 제1 대물 렌즈는 가속 전압  $V_{acc}$ 가 0.5~30kV인 통상의 관찰 모드에서 사용된다.

[0005] 하기 특허문헌 1에서, 제1 대물 렌즈와 제2 대물 렌즈는 동시에 동작시키는 일은 없으며, 모드마다 모드 전환 수단에 의해 전환된다. 또한, 하기 특허문헌 1의 제2 실시예([0017]단락)에서는 제2 대물 렌즈의 자극(磁極)의 일부를 전기적 절연부를 통하여 전류 전위적(電位的)으로 분리하는 것이 기재되어 있다. 그리고, 자극의 일부와 시료에는 전압  $V_{decel}$ 이 인가된다.

[0006] 하기 특허문헌 1의 제1 실시예([0010]~[0016] 단락)에서는, 2차 전자(또는 반사 전자) 검출기는 제1 대물 렌즈보다 더 전자총측에 놓여 있다. 시료부에서 발생된 2차 전자(또는 반사 전자)는 제1 대물 렌즈 속을 통과하여 검출기로 들어간다.

[0007] 하기 특허문헌 2도 SEM의 구성을 개시하고 있다. 특허문헌 2의 SEM에 있어 대물 렌즈는 시료에 대하여 전자총과는 반대측에 배치된다. 2차 전자는 2차 전자 검출기로부터의 인입(引入) 전계에 의해 편향되어, 2차 전자 검출기에 포획된다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0008] (특허문헌 0001) 일본 공개특허공보 제2007-250223호

(특허문헌 0002) 일본 공개특허공보 평6-181041호

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0009] 본 발명은 하전 입자선 장치 또는 주사 전자 현미경의 성능 향상을 도모하는 것을 목적으로 하고 있다.

**과제의 해결 수단**

[0010] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 국면에 따르면, 하전 입자선 장치는 하전 입자선을 방출하는 하전 입자원과, 하전 입자원에 접속되어, 하전 입자원으로부터 방출된 하전 입자선을 가속하는 가속 전원과, 하전 입자선을 시료에 집속시키는 대물 렌즈와, 하전 입자선의 입사에 따라 시료로부터 방출된 전자파 및 시료에서 반사된 전자파 중 적어도 하나가 입사하며, 입사한 전자파를 검출하는 제2 검출기를 구비하고, 대물 렌즈는 시료에 대하여 하전 입자선이 입사하는 측의 반대측에 설치되어 있다.

**발명의 효과**

[0011] 본 발명에 따르면, 하전 입자선 장치 또는 주사 전자 현미경의 성능 향상을 도모할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0012] 도 1은 본 발명의 제1 실시형태에서의 SEM의 구성을 개략적으로 설명하는 단면도.
- 도 2는 본 발명의 제1 실시형태에서, 제1 대물 렌즈를 사용하여, 반사 전자 및 2차 전자를 검출하는 경우를 개략적으로 나타낸 단면도.
- 도 3은 본 발명의 제1 실시형태에서, 주된 집속에 제2 대물 렌즈를 사용하여, 2차 전자를 검출하는 경우를 개략적으로 나타낸 단면도.
- 도 4는 본 발명의 제1 실시형태에서의 리타딩(retarding)시의 렌즈부를 설명하기 위한 도면으로, (a) 리타딩시의 등전위선(等電位線), (b) 제2 대물 렌즈의 광축상 자속밀도 분포  $B(z)$ , 및 (c) 리타딩시의 하전 입자의 속도를 설명하는 도면.
- 도 5는 본 발명의 제1 실시형태에 있어서의 절연부와 시료대의 다른 구성을 개략적으로 설명하는 단면도.
- 도 6은 본 발명의 제1 실시형태에 있어서의, 제1 대물 렌즈에 의한 개방각  $(\alpha)$ 의 조정을 설명하는 도면으로, (a) 시뮬레이션 데이터 3( $V_{acc} = -1kV$ ), (b) 시뮬레이션 데이터 4( $V_{acc} = -10kV$ ,  $V_{decel} = -9kV$ ), 및 (c) 시뮬레이션 데이터 5( $V_{acc} = -10kV$ ,  $V_{decel} = -9kV$ , 제1 대물 렌즈를 사용)에 대응하는 도면.
- 도 7은 본 발명의 제1 실시형태에 있어서, 편향 코일의 상하 편향 코일 강도비 조정으로 편향의 교점(交点)을 조정하는 것을 설명하기 위한 도면.
- 도 8은 본 발명의 제2 실시형태에 있어서, 제1 대물 렌즈가 없는 간이적인 경우를 개략적으로 설명하는 단면도.
- 도 9는 본 발명의 제4 실시형태에 관한 SEM의 장치 구성의 개요적인 예를 나타낸 단면도.
- 도 10은 종래의 구조를 갖는 SEM의 장치 구성을 모식적으로 나타낸 단면도.
- 도 11은 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 일 변형예를 나타낸 단면도.

도 12는 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도.

도 13은 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도.

도 14는 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도.

도 15는 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도.

도 16은 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도.

도 17은 본 발명의 제 5 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 일 예를 나타낸 단면도.

도 18은 제 5 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 일 변형예를 나타낸 단면도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0013] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시형태를 설명한다. 이하의 도면은 모식적인 것으로, 치수나 가로세로의 비율이 현실의 것과는 상이한 것에 유의해야 한다.
- [0014] 또한, 이하에 나타내는 본 발명의 실시형태는 본 발명의 기술적 사상을 구현화하기 위한 장치나 방법을 예시하는 것이다. 본 발명의 기술적 사상은 구성 부품의 재질, 형상, 구조, 배치 등을 하기의 것으로 특정하는 것이 아니다. 본 발명의 기술적 사상은 특허 청구의 범위에 기재된 기술적 범위 내에서 각종 변경을 가할 수 있다.
- [0015] [제1 실시형태]
- [0016] 도 1을 참조하여, 본 발명의 제1 실시형태인 SEM의 개략적인 구성을 설명한다.
- [0017] 이 SEM은 전자원(電子源; 하전 입자원)(11)과, 가속 전원(14)과, 콘덴서 렌즈(15)와, 대물 렌즈 조리개(16)와, 2단 편향 코일(17)과, 대물 렌즈(18, 26)와, 검출기(20)를 구비한 전자선 장치이다. 가속 전원(14)은 전자원(11)으로부터 방출되는 1차 전자선(하전 입자선)(12)을 가속한다. 콘덴서 렌즈(15)는 가속된 1차 전자선(12)을 집속한다. 대물 렌즈 조리개(16)는 1차 전자선(12)의 불필요한 부분을 제외한다. 2단 편향 코일(17)은 1차 전자선(12)을 시료(23) 상에서 2차원적으로 주사한다. 대물 렌즈(18, 26)는 1차 전자선(12)을 시료(23) 상에 집속시킨다. 검출기(20)는 시료(23)로부터 방출된 신호 전자(21)(2차 전자(21a), 반사 전자(21b))를 검출한다.
- [0018] SEM은 전자(電磁) 렌즈의 제어부로서 제1 대물 렌즈 전원(41)과 제2 대물 렌즈 전원(42)과 제어 장치(45)를 구비한다. 제1 대물 렌즈 전원(41)은 제1 대물 렌즈(18)의 강도를 가변한다. 제2 대물 렌즈 전원(42)은 제2 대물 렌즈(26)의 강도를 가변한다. 제어 장치(45)는 제1 대물 렌즈 전원(41)과 제2 대물 렌즈 전원(42)을 제어한다.
- [0019] 제어 장치(45)는 제1 대물 렌즈(18)의 강도와 제2 대물 렌즈(26)의 강도를 독립적으로 제어할 수 있다. 제어 장치(45)는 양 렌즈를 동시에 제어할 수 있다. 또한, 도시하지는 않았지만, 각 전원은 제어 장치(45)에 접속됨으로써 조정할 수 있도록 되어 있다.
- [0020] 전자원(11)으로서는 열전자 방출형(열전자원형), 전계 방출형(슛키형(shot key type), 또는 냉음극형)을 사용할 수 있다. 제1 실시형태에서는 전자원(11)에 열전자 방출형의 LaB6 등의 결정(結晶) 전자원, 또는 텅스텐 필라멘트가 사용되고 있다. 전자원(11)과 애노드판(접지 전위) 사이에는 예를 들면, -0.5kV 내지 -30kV의 가속 전압이 인가된다. 웨넬트(wehnelt) 전극(13)에는 전자원(11)의 전위보다 음 전위가 부여된다. 이로써, 전자원(11)으로부터 발생한 1차 전자선(12)의 양이 컨트롤된다. 그리고, 전자원(11)의 바로 전방에, 1차 전자선(12)의 1번째의 최소 직경인 크로스오버 직경이 만들어진다. 이 최소 직경이 전자원의 크기(S<sub>0</sub>)라고 불린다.
- [0021] 가속된 1차 전자선(12)은 콘덴서 렌즈(15)에 의해 집속된다. 이로써, 전자원의 크기(S<sub>0</sub>)가 축소된다. 콘덴서 렌즈(15)에 의해, 축소율 및 시료(23)에 조사(照射)되는 전류(이하, 프로브 전류라고 함)가 조정된다. 그리고, 대물 렌즈 조리개(16)에 의해, 사용하지 않는 궤도의 전자가 제거된다. 대물 렌즈 조리개(16)의 구멍 직경에 따라, 시료(23)에 입사하는 빔의 개방각( $\alpha$ )과 프로브 전류가 조정된다.
- [0022] 대물 렌즈 조리개(16)를 통과한 1차 전자선(12)은 주사용의 2단 편향 코일(17)을 통과한 후, 제1 대물 렌즈(18)를 통과한다. 범용 SEM은 제1 대물 렌즈(18)를 사용하여 1차 전자선(12)의 초점을 시료(23) 상에 맞춘다. 도 1의 SEM은 이와 같은 사용법도 가능하다.
- [0023] 도 1에 있어서, 전자원(11)으로부터 제1 대물 렌즈(18)까지의 구성에 의해, 1차 전자선(12)을 시료(23)를 향해 사출하는 상부 장치(51)가 구성된다. 또한, 전위판(22)과 그보다 아래에 배치되는 하부에 의해 하부 장치(52)가 구성된다. 하부 장치(52)에 시료(23)는 지지홀딩된다. 상부 장치(51)는 그 내부를 통과한 하전 입자선이 최종적



으로 방출되는 구멍부(18c)를 가지고 있다. 제1 실시형태에서는 그 구멍부(18c)는 제1 대물 렌즈(18)에 존재한다. 검출기(20)는 상부 장치(51)와 하부 장치(52) 사이에 배치되어 있다. 보다 구체적으로는, 검출기(20)는 그 구멍부(18c) 아래에 장착되어 있다. 검출기(20)도 1차 전자선(12)이 통과하는 개구부를 가지고 있다. 검출기(20)는 구멍부(18c)와 개구부가 중첩하도록, 제1 대물 렌즈(18)의 하부에 장착된다. 제1 대물 렌즈(18)의 하부에 복수의 검출기(20)가 장착되어도 좋다. 복수의 검출기(20)는 1차 전자선(12)의 궤도를 막지 않도록 하면서, 검출기(20)의 검출부를 상부 장치(51)의 구멍부(18c) 이외에는 가능한 한 간극이 없도록 하여 장착된다.

[0024] 도 2에는 제1 대물 렌즈(18)를 사용하여 1차 전자선(12)의 초점을 시료(23) 상에 맞추는 경우의 예를 나타낸다. 특히, 두께가 있는 시료(23)는 이 방법으로 관찰된다.

[0025] 한편, 제2 대물 렌즈(26)를 주로 사용할 때는, 제1 대물 렌즈(18)를 통과한 1차 전자선(12)은 제2 대물 렌즈(26)에서 축소 집속된다. 이 제2 대물 렌즈(26)는 시료(23)에 가까워질수록 강한 자장(磁場) 분포를 나타내고 있으므로(도 4의 (b) 참조), 저수차(低收差) 렌즈를 실현하고 있다. 또한, 제1 대물 렌즈(18)는 보기 쉬운 화상이 되도록, 개방각( $\alpha$ )을 컨트롤하는 것, 그리고 축소율이나 렌즈의 형상 및 초점 심도(深度)를 조정하는 것에 사용된다. 즉, 제1 대물 렌즈(18)는 이들 각 제어값을 최적화하는 데에 사용된다. 또한, 제2 대물 렌즈(26)만으로 1차 전자선(12)을 다 집속할 수 없는 경우에는, 제1 대물 렌즈(18)에서 1차 전자선(12)을 집속시키기 위한 보조를 행할 수도 있다.

[0026] 도 3을 참조하여, 리타딩(retarding)을 하지 않을 경우에 대한 동작을 설명한다.

[0027] 리타딩을 하지 않을 경우에는, 도 1의 전위판(22)은 분리하여도 된다. 시료(23)는 가능한 한 제2 대물 렌즈(26)에 가까워지도록 설치하는 것이 바람직하다. 보다 상세하게는, 시료(23)는 제2 대물 렌즈(26)의 상부(상면)로부터의 거리가 5 mm 이하가 되도록, 제2 대물 렌즈(26)의 상부에 근접 설치하는 것이 바람직하다.

[0028] 1차 전자선(12)은 가속 전원(14)에 의해 가속된 에너지로 시료(23) 상을 주사한다. 이 때, 2차 전자(21a)는 제2 대물 렌즈(26)의 자장에 의해 자속에 감겨 나선(螺旋) 운동을 하면서 상승한다. 2차 전자(21a)는 시료(23) 표면으로부터 이격되면, 급속히 자속밀도가 저하됨으로써 선회(旋回)로부터 벗어나 발산하고, 2차 전자 검출기(19)로부터의 인입 전계에 의해 편향되어 2차 전자 검출기(19)에 포획된다. 즉, 2차 전자 검출기(19)는 2차 전자 검출기(19)로부터 발생하는 전계가, 하전 입자선에 의해 시료로부터 방출되는 2차 전자를 끌어당기도록 배치된다. 이와 같이 하여, 2차 전자 검출기(19)에 들어가는 2차 전자(21a)를 많이 할 수 있다.

[0029] 이어, 도 4를 참조하여 리타딩(retarding)을 하는 경우에 대하여 개략적으로 설명한다. 도 4에 있어서, (a)는 리타딩시의 등전위선을 나타내고, (b)는 제2 대물 렌즈의 광축상 자속밀도 분포 B(z)를 나타내고, (c)는 리타딩시의 하전 입자의 속도를 나타내고 있다.

[0030] 도 4의 (b)에 도시된 바와 같이, 제2 대물 렌즈(26)의 광축상 자속밀도는 시료에 가까울수록 강한 분포를 나타내고 있으므로, 대물 렌즈는 저수차(低收差) 렌즈가 된다. 그리고, 시료(23)에 음 전위를 부여하면, 1차 전자선(12)은 시료(23)에 가까워질수록 감속한다(도 4의 (c) 참조). 1차 전자선(12)은 속도가 느릴수록 자장의 영향을 받기 쉬워지기 때문에, 시료(23)에 가까울수록 제2 대물 렌즈(26)가 강한 렌즈가 된다고 할 수 있다. 그러므로, 시료(23)에 음 전위를 부여하면, 제2 대물 렌즈(26)는 보다 저수차의 렌즈가 된다.

[0031] 또한, 신호 전자(21)는 시료(23)의 리타딩 전압에 의한 전계로 가속되어, 에너지 증폭하여 검출기(20)로 들어간다. 그러므로, 검출기(20)는 고감도가 된다. 이와 같은 구성으로 함으로써, 고분해능의 전자선 장치를 실현할 수 있다.

[0032] 또한, 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)와의 거리는 10mm 내지 200mm가 된다. 보다 바람직하게는 30mm 내지 50mm로 하는 것이 바람직하다. 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)간의 거리가 10mm보다 가까우면, 제1 대물 렌즈(18)의 바로 아래에 둔 검출기(20)로 반사 전자(21b)를 검출할 수 있다. 그러나, 리타딩시에 2차 전자(21a)가 제1 대물 렌즈(18) 안으로 끌어들여지기 쉬워진다. 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)간의 거리를 10mm 이상 떨어뜨림으로써, 2차 전자(21a)는 검출기(20)에 의해 검출되기 쉬워진다. 또한, 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)와의 간극이 30mm 정도 있는 경우에는 시료(23)의 출입이 매우 행하기 쉬워진다.

[0033] 이어, 각 부품의 구성에 대하여 상세하게 설명한다. 먼저 제2 대물 렌즈(26)의 형상에 대하여, 도 1을 참조하여 설명한다.

[0034] 제2 대물 렌즈(26)를 형성하는 자극은 1차 전자선(12)의 이상(理想) 광축과 중심축이 일치한 중심 자극(26a)과, 상부 자극(26b)과, 통형상의 측면 자극(26c)과, 하부 자극(26d)으로 이루어진다. 중심 자극(26a)은 상부일수록

직경이 작아지게 되는 형상이다. 중심 자극(26a)의 상부는 예를 들면 1단 또는 2단의 원뿔대 형상이다. 중심 자극(26a)의 하부는 원기둥 형상이다. 중심 자극(26a)의 하부의 중심축에는 관통공이 없다. 상부 자극(26b)은 중심(中心)을 향해 테이퍼 형상으로 중심 자극(26a)의 중심(重心)에 가까운 측이 얇아지는 원뿔형상이다. 상부 자극(26b)의 중심에는 개구 직경(d)의 개구가 비어 있다. 중심 자극(26a)의 선단 직경(D)은 6mm보다 크고 14mm보다 작다. 개구 직경(d)과 선단 직경(D)의 관계는  $d-D \geq 4\text{mm}$ 가 된다.

[0035] 이어, 자극의 구체적인 예를 나타낸다. 중심 자극(26a)과 상부 자극(26b) 양자의 시료 측의 상면은 동일한 높이가 된다. 중심 자극(26a)의 하부 외경(外徑)은 60mm이다. 이 외경이 가능하면, 투자율(透磁率)의 저하를 초래하므로 바람직하지 않다.

[0036] 중심 자극(26a)이  $D = 8\text{mm}$ 인 경우, 상부 자극(26b)의 개구 직경(d)은 12mm 내지 32mm로 하는 것이 바람직하다. 보다 바람직하게는, 개구 직경(d)은 14mm 내지 24mm이다. 개구 직경(d)이 클수록, 광축상 자속밀도 분포는 산이 완만하게 되어 폭이 넓어져, 1차 전자선(12)의 집속에 필요한 AT(암페어 턴: 코일 권취수  $N[T]$ 와 전류  $I[A]$ 의 곱)를 작게 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 개구 직경(d)과 선단 직경(D)의 관계가  $d > 4D$ 가 되면, 수차 계수가 커지게 된다. 여기서는 상부 자극(26b)의 개구 직경(d)은 20mm이고, 측면 자극(26c)의 외경은 150mm이다. 또한, 중심 자극(26a)의 축 중심에 관통공이 있어도 좋다.

[0037] 여기서, 예를 들면, 두께 5mm의 시료(23)에 대하여, 30kV의 고가속 전압에서도 1차 전자선(12)을 집속시키는 경우에는, 선단 직경(D)은 6mm보다 크고 14mm보다 작게 하는 것이 좋다. D를 너무 작게 하면, 자극이 포화하여, 1차 전자선(12)이 집속되지 않는다. 한편, D를 크게 하면 성능이 나빠진다. 또한, d와 D의 크기 차이가 4mm보다 작으면, 자극이 너무 가까워 포화하기 쉬워져서, 1차 전자선(12)이 집속되지 않는다. 또한, 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)간의 거리가 10mm 이하가 되면, 작업성이 악화된다. 이 거리가 200mm보다 너무 길면, 개방각( $\alpha$ )이 너무 커진다. 이 경우, 수차를 최적으로 하기 위해, 제1 대물 렌즈(18)를 사용하여  $\alpha$ 를 작게 하는 조정이 필요하게 되어, 조작성이 나빠진다.

[0038] 또한, 예를 들면, 5kV 이하의 가속 전압만으로 사용하며, 시료(23)의 두께가 얇은 경우에는, 선단 직경(D)은 6mm 이하로 하여도 좋다. 단, 예를 들면, 가속 전압이 5kV인 경우에 있어, D를 2mm, d를 5mm로 하고, 시료(23)의 두께를 5mm로 하여, 제2 대물 렌즈(26)만을 사용하면, 자극이 포화되어 버려, 1차 전자선(12)이 집속되지 않는다. 그러나, 시료(23)를 얇은 것으로 제한하면, 렌즈는 더욱 고성능화할 수 있다.

[0039] 시료(23)에 전위를 부여하는 방법으로서, 제2 대물 렌즈(26)의 자극의 일부에 전기적 절연부를 사이에 끼고 일부의 자극을 접지 전위로부터 띄워, 시료(23)와 자극의 일부에 리타딩 전압을 부여할 수도 있다. 단, 이 경우, 자기(磁氣) 회로 중에 자성체가 아닌 것을 사이에 끼우면, 자기(磁氣) 렌즈가 약한 것이 된다. 또한, 리타딩 전압을 높게 하면 방전이 발생한다. 전기적 절연부를 두껍게 하면, 더욱 자기 렌즈가 약한 것이 된다는 문제가 있다.

[0040] 도 1에 도시된 바와 같이, 상부 자극(26b)과 중심 자극(26a) 사이에, 비자성체로 이루어지는 실링부(26f)(예를 들면, 구리나 알루미늄 또는 모넬)를 두는 것이 바람직하다. 실링부(26f)는 상부 자극(26b)과 중심 자극(26a) 사이를 0링 또는 납땜에 의해 진공기밀상태로 만든다. 제2 대물 렌즈(26)에서는 상부 자극(26b)과, 실링부(26f) 및 중심 자극(26a)에 의해, 진공측과 대기측이 기밀 분리된다. 상부 자극(26b)과 진공 용기는, 도면에는 도시하지 않았지만, 0링으로 기밀이 되도록 결합되어 있다. 이와 같이 함으로써, 제2 대물 렌즈(26)는 진공측의 면을 제외하고, 대기에 노출시키는 것이 가능하게 된다. 그러므로, 제2 대물 렌즈(26)를 냉각시키기 쉬워진다.

[0041] 진공 용기 속으로 제2 대물 렌즈(26)를 넣는 것도 가능하지만, 진공도가 나빠진다. 코일부(26e)가 진공측에 있으면, 가스 방출원이 되기 때문이다. 또한, 이와 같이 진공측과 대기측을 기밀 분리하지 않으면, 진공 흡인을 행했을 때 가스가 제2 대물 렌즈(26)와 절연관(25)이 접해 있는 곳을 통과하여, 시료가 움직이게 된다는 문제가 있다.

[0042] 코일부(26e)는 예를 들면, 6000AT의 코일 전류로 할 수 있다. 코일이 발열하여 고온이 되면, 그것을 원인으로 하여, 코일의 피막이 녹아 쇼트가 발생하는 경우가 있다. 제2 대물 렌즈(26)가 대기에 노출할 수 있게 됨으로써, 냉각 효율이 상승한다. 예를 들면, 제2 대물 렌즈(26)의 하면의 대(臺)를 알루미늄제로 함으로써, 그 대(臺)를 히트싱크(heatsink)로서 이용할 수 있다. 그리고, 공냉 팬(fan)이나 수냉 등으로 제2 대물 렌즈(26)를 냉각할 수 있게 된다. 이와 같이 기밀 분리함으로써, 강여자(強勵磁)의 제2 대물 렌즈(26)로 하는 것이 가능하게 된다.

[0043] 도 1을 참조하여, 리타딩부를 설명한다.

- [0044] 제2 대물 렌즈(26) 상에 절연판(25)을 둔다. 절연판(25)은 예를 들면, 0.1mm 내지 0.5mm 정도 두께의 폴리이미드 필름이나 폴리에스테르 필름 등이다. 그리고, 그 위에, 자성이 없는 도전성이 있는 시료대(24)를 둔다. 시료대(24)는 예를 들면, 바닥면이 250 $\mu$ m 두께인 알루미늄판이며, 둘레 가장자리가 둘레 가장자리단에 가까워질수록 절연판(25)으로부터 멀어지는 곡면 형상으로 가공된 것이다. 시료대(24)는 또한 곡면부와 절연판(25) 사이의 간극에 절연재(31)가 충전된 것일 수도 있다. 이와 같이 하면, 제2 대물 렌즈(26)와 시료대(24) 사이의 내전압(耐電壓)이 올라가 안정적으로 사용할 수 있다. 시료대(24)의 평면 형상은 원형이지만, 타원, 직사각형 등 어떠한 평면 형상이라도 좋다.
- [0045] 시료대(24) 상에 시료(23)가 탑재된다. 시료대(24)는 리타딩 전압을 부여하기 위해, 리타딩 전원(27)에 접속된다. 전원(27)은 예를 들면, 0V 내지 -30kV까지 인가할 수 있는 출력이 가변적인 전원으로 한다. 시료대(24)는 진공 외부로부터 위치 이동이 가능하도록 절연물로 된 시료대 스테이지판(29)에 접속되어 있다. 이로써, 시료(23)의 위치는 변경가능하다. 시료대 스테이지판(29)은 XY 스테이지(미도시)에 접속되어 있어, 진공 외부로부터 움직이게 할 수 있다.
- [0046] 시료(23) 위에는 원형의 개구부가 있는 도전성 판(이하, 전위판(22)이라고 함)이 배치된다. 전위판(22)은 제2 대물 렌즈(26)의 광축에 대하여 수직으로 설치된다. 이 전위판(22)은 시료(23)에 대하여 절연되게 배치된다. 전위판(22)은 전위판 전원(28)에 접속된다. 전위판 전원(28)은 예를 들면, 0V 및 -10kV 내지 +10kV의 출력이 가변적인 전원이다. 전위판(22)의 원형 개구부의 직경은 2mm 내지 20mm 정도이면 좋다. 보다 바람직하게는, 개구부의 직경은 4mm 내지 12mm이면 된다. 또는, 1차 전자선(12) 또는 신호 전자(21)가 통과하는 전위판(22) 부분을 도전성의 메쉬 형상으로 하여도 좋다. 메쉬의 망(網)부가 전자가 통과하기 쉽도록 가늘게 되어, 개구율이 커지도록 하면 된다. 이 전위판(22)은 중심축 조절을 위해 진공 외부로부터 위치를 이동할 수 있도록, XYZ 스테이지(61)에 접속된다. XYZ 스테이지(61)는 전위판(22)을 지지홀딩하며, X 방향, Y 방향 및 Z 방향으로 전위판(22)을 mf 이동시키는 것이다.
- [0047] 시료대(24)의 둘레 가장자리는 전위판(22) 측으로 두께가 있다. 예를 들면, 전위판(22)이 평평하면, 전위판(22)은 시료대(24)의 둘레 가장자리에서 시료대(24)에 가까워진다. 그렇게 되면 방전하기 쉬워진다. 전위판(22)이 시료(23) 근처 이외의 장소에서는 도전성 시료대(24)로부터 멀어지는 형상을 가지고 있으므로, 시료대(24)와의 내전압을 올릴 수 있다.
- [0048] 전위판(22)은 시료(23)로부터 1mm 내지 15mm 정도의 거리를 떨어뜨림으로써, 방전되지 않도록 배치되어 있다. 그러나, 너무 이격되지 않도록 배치되는 것이 좋다. 그 목적은 제2 대물 렌즈(26)가 만드는 자장이 강한 위치에 감속 전계를 중첩시키기 위해서이다. 만일, 이 전위판(22)이 시료(23)로부터 멀리 놓여질 경우, 또는 전위판(22)이 없는 경우, 1차 전자선(12)이 제2 대물 렌즈(26)로 집속되기 전에 감속하여, 수차를 작게 하는 효과가 감소한다.
- [0049] 이에 대하여, 도 4를 참조하여 설명한다(도 4는 후술되는 시뮬레이션 데이터가 4일 때에 대응하는 설명도이다). 도 4의 (a)는 리타딩시의 등전위선을 설명하는 도면이다.
- [0050] 만일 전위판(22)의 개구부가 너무 커서 시료(23)와 전위판(22)과의 거리가 너무 가까울 경우, 등전위선이 전위판(22)의 개구부로부터 전자총측으로 크게 돌출하여 분포한이 경우, 1차 전자가, 전위판(22)에 도착할 때까지 감속하게 되는(22)의 개구 직경이 작을수록, 전계의 누출을 감소시키는 효과가 있다. 단, 신호 전자(21)가 전위판(22)에 흡수되지 않도록 할 필요가 있다. 그러므로, 방전을 일으키지 않는 범위에서 시료(23)와 전위판(22)간의 전위차를 조정할 수 있는 동시에, 시료(23)와 전위판(22)간의 거리를 조정하는 것과, 전위판(22)의 개구 직경을 적절히 선택하는 것이 중요하게 된다.
- [0051] 도 4의 (b)는 제2 대물 렌즈(26)의 광축상 자속밀도 분포 B(z)를 설명하는 도면이다. 세로축은 B(z), 가로축은 좌표이며, 제2 대물 렌즈(26)의 표면이 원점(-0)이다. 제2 대물 렌즈(26)에 가까울수록 급격하게 B(z)가 크게 되어 있는 모양이 나타나 있다.
- [0052] 도 4의 (c)는 리타딩시의 하전 입자의 속도를 설명하는 도면이다. 하전 입자선의 속도는 시료 직전에 감속하고 있는 것이 나타나 있다.
- [0053] 전위판(22)을 시료(23) 근처에 둬으로써, 1차 전자의 속도는 전위판(22) 근방까지는 그다지 변함이 없다. 그리고, 1차 전자는, 전위판(22) 부근으로부터 시료(23)에 가까워질수록 속도가 느려지게 되어, 자장의 영향을 받기 쉬워진다. 제2 대물 렌즈(26)가 만드는 자장도 시료(23)에 가까울수록 강하게 되어 있으므로, 양쪽의 효과가 합해져, 시료(23)에 가까울수록 더욱 강한 렌즈가 되어, 수차가 작은 렌즈가 된다.

- [0054] 가속 전압을 가능한 한 크게 하면서, 리타딩 전압을 가속 전압에 근접시킬 수 있으면, 조사(照射) 전자 에너지를 작게 하여, 전자가 시료(23) 안으로 파고드는 깊이를 알게 할 수 있다. 이로써, 시료의 표면 형상의 고분해능 관찰이 가능하게 된다. 또한 수차도 작게 할 수 있으므로, 고분해능이면서 저가속의 SEM을 실현할 수 있다.
- [0055] 제1 실시형태에서는 시료(23)와 전위판(22)과의 내압(耐壓)을 간단히 높게 할 수 있다. 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26) 사이는 10mm 내지 200mm의 거리로 할 수 있다. 그러므로, 예를 들면, 평탄한 시료(23)이면, 시료(23)와 전위판(22)간의 간격을 5mm 정도 벌리면, 시료(23)와 전위판(22)에 비교적 간단하게 10kV 정도의 전위차를 인가할 수 있다. 뾰족한 부분이 있는 시료(23)인 경우에는 방전되지 않도록, 거리나 개구 직경을 적절히 선택할 필요가 있다.
- [0056] 도 5에는 시료가 상이한 배치예를 나타낸다. 도 5에 도시된 바와 같이, 또한 원통형이며 상면이 라운드 가공된 원통 방전방지전극(30)을, 시료대(24)상의 시료(23) 주위에 설치하여, 쉽게 방전되지 않도록 하면 된다. 원통 방전방지전극(30)은 시료 상의 등전위선을 매끈하게 하여, 시료(23)의 요동에 의한 집속점의 어긋남을 완화하는데에도 도움이 된다.
- [0057] 제1 실시형태에 있어서의 검출기(20)로서, 반도체 검출기(20), 마이크로 채널 플레이트 검출기(20)(MCP), 또는 형광체 발광 방식의 로빈슨 검출기(20)가 사용된다. 이들 중 적어도 어느 하나가 제1 대물 렌즈(18)의 바로 아래에 배치된다. 2차 전자 검출기(19)는 2차 전자(21a)를 모으도록, 전계가 시료(23)의 위쪽으로 걸리도록 배치된다.
- [0058] 반도체 검출기(20), MCP 검출기(20) 또는 로빈슨 검출기(20)는 제1 대물 렌즈(18)의 시료측에 접하고, 광축으로부터 3 cm 이내에 배치된다. 보다 바람직하게는, 검출부의 중심이 광축에 놓이고, 그 중심에 1차 전자가 통과하는 개구부가 형성되어 있는 검출기(20)가 사용된다. 광축으로부터 3 cm 이내에 설치하는 것은, 리타딩을 행할 경우, 신호 전자는 광축 가까이로 진행하기 때문이다.
- [0059] 1차 전자선(12)은 가속 전원(14)(Vacc)으로 가속에 이용된 가속 전압으로부터 리타딩 전압 Vdecel을 제한 값, 즉  $-(Vacc-Vdecel)[V]$ 로 전자 전하를 건 에너지로, 시료(23) 위를 주사한다. 이 때, 시료(23)로부터 신호 전자(21)가 방출된다. 가속 전압과 리타딩 전압의 값에 따라, 전자의 영향을 받는 쪽은 다르다. 반사 전자(21b)는 제2 대물 렌즈(26)의 자장에 의해, 회전하는 힘을 받는 동시에, 시료(23)와 전위판(22) 사이의 전계 때문에 가속한다. 그러므로, 반사 전자(21b)의 방사각(放射角)의 펼쳐짐이 줄어들어, 검출기(20)에 입사하기 쉬워진다. 또한, 2차 전자(21a)도 제2 대물 렌즈(26)의 자장에 의해, 회전하는 힘을 받는 동시에, 시료(23)와 전위판(22) 사이의 전계 때문에 가속하여, 제1 대물 렌즈(18) 아래에 있는 검출기(20)에 입사한다. 2차 전자(21a)도 반사 전자(21b)도 가속하며, 에너지가 증폭되어 검출기(20)에 입사하므로, 신호가 커지게 된다.
- [0060] 범용 SEM에서는 제1 대물 렌즈(18)와 같은 렌즈로 전자를 집속하는 것이 통상적이다. 이 제1 대물 렌즈(18)는, 통상, 시료(23)를 제1 대물 렌즈(18)에 근접시킬수록 고분해능이 되도록 설계되어 있다. 그러나, 반도체 검출기(20) 등에는 두께가 있고, 그 두께만큼은 제1 대물 렌즈(18)로부터 시료(23)를 이격시킬 필요가 있다. 또한, 시료(23)를 제1 대물 렌즈(18)에 너무 근접시키면, 2차 전자(21a)가, 제1 대물 렌즈(18) 밖에 있는 2차 전자 검출기(19)에 들어가기 어려워진다. 그러므로, 범용 SEM에서는 제1 대물 렌즈(18) 바로 아래의 위치에 배치되며, 1차 전자가 통과하는 개구부가 있는 두께가 얇은 반도체 검출기(20)가 사용된다. 시료(23)는 검출기(20)에 부딪치지 않도록 약간 간극을 두고 놓여진다. 따라서, 시료(23)와 제1 대물 렌즈(18)는 약간 이격되게 되어, 고성능화가 어려워진다.
- [0061] 제1 실시형태에서는 제2 대물 렌즈(26)를 주렌즈로서 사용하는 경우, 시료(23)를 제2 대물 렌즈(26)에 근접하게 설치할 수 있다. 그리고, 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26) 사이의 거리를 떨어뜨릴 수 있다. 예를 들면, 30mm 이격시키면, 10mm 정도의 두께가 있는 MCP 검출기(20)를 제1 대물 렌즈(18) 바로 아래에 두는 것이 가능하게 된다. 또한, 로빈슨형의 검출기(20)나 반도체 검출기(20)를 두는 것도 당연하게 가능하다. 반사판을 두고, 신호 전자(21)를 반사판에 대고, 그로부터 발생 또는 반사한 전자를 제2의 2차 전자 검출기에 의해 검출하는 방법도 있다. 동등한 작용을 가지는 다양한 신호 전자의 검출기(20)를 설치할 수 있다.
- [0062] 이어, 렌즈 광학계의 성능과 관련된 개방각( $\alpha$ )에 대해 설명한다.
- [0063] 1차 전자선(12)이 시료(23)에 닿을 때의 빔 직경을, 프로브 직경이라고 한다. 프로브 직경을 평가하는 식으로서, 다음과 같은 식을 사용한다. 그리고, 이하의 수학적식에 있어서, 「 $\wedge$ 」에 이어지는 숫자는 멱지수(冪指數)이다.

- [0064] [수학식 1]
- [0065] 프로브 직경  $D_{probe} = \sqrt{D_g^2 + D_s^2 + D_c^2 + D_d^2}$  [nm]
- [0066] [수학식 2]
- [0067] 광원의 축소 직경  $D_g = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot S_o = M \cdot S_o$  [nm]
- [0068] [수학식 3]
- [0069] 구면(球面) 수차  $D_s = 0.5 C_s \cdot \alpha^3$  [nm]
- [0070] [수학식 4]
- [0071] 색수차  $D_c = 0.5 C_c \cdot \alpha \cdot \Delta V / V_i$  [nm]
- [0072] [수학식 5]
- [0073] 회절 수차:  $D_d = 0.75 \times 1.22 \times \text{Lambda} / \alpha$  [nm]
- [0074] 여기서, 전자원의 크기가  $S_o$ 이고, 1단계 콘덴서 렌즈(15a)의 축소율이  $M_1$ 이며, 2단계 콘덴서 렌즈(15b)의 축소율이  $M_2$ 이고, 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)가 만드는 렌즈의 축소율이  $M_3$ 이며, 전체 축소율  $M = M_1 \times M_2 \times M_3$ 이고, 구면 수차 계수가  $C_s$ 이고, 색수차 계수가  $C_c$ 이며, 시료면에서의 1차 전자선(12)의 개방각이  $\alpha$ 이고, 조사 전압(1차 전자가 시료(23)에 충돌할 때의 에너지에 대응하는 전압)이  $V_i$ 이며, 1차 전자선(12)의 에너지 확산에 대응하는 전압이  $\Delta V$ 이고, 전자의 파장이  $\text{Lambda}$ 이다.
- [0075] 열전자 방출형 전자원을 사용한 SEM의 성능의 일 예에 대하여, 시뮬레이션 데이터를 사용하여 설명한다. 도 1의 제1 대물 렌즈(18)는 아웃 렌즈형으로 한다.
- [0076] 제1 대물 렌즈(18)로 1차 전자선(12)을 집속하는 경우를 나타낸다. 이는 범용 SEM에 대응한다.
- [0077] 1차 전자선(12)의  $\Delta V$ 를 1V로 하고, 전자원의 크기( $S_o$ )를  $10\mu\text{m}$ 으로 한다.  $M_1 \times M_2 = 0.00282$ 로 한다. 구멍 직경이 30 마이크로인 대물 렌즈 조리개(16)를 두어, 사용하지 않는 궤도 전자를 제거한다. 이 대물 렌즈 조리개(16)의 구멍 직경에 의해, 시료(23)에 입사하는 빔의 개방각( $\alpha$ )과 프로브 전류를 조정할 수 있다. WD를 6mm로 하고, 가속 전압  $V_{acc} = -30\text{kV}$ ( $V_i = 30\text{kV}$ )로 한다. 시뮬레이션 계산하면,
- [0078] (시뮬레이션 데이터 1)
- [0079]  $D_{probe} = 4.4\text{nm}$ ,  $D_g = 1.59$ ,  $D_s = 3.81$ ,  $D_c = 0.916$ ,  $D_d = 1.25$ ,
- [0080]  $C_s = 54.5\text{mm}$ ,  $C_c = 10.6\text{mm}$ ,  $\alpha = 5.19\text{mrad}$ ,  $M_3 = 0.0575$ 가 된다.
- [0081] 이어, 제2 대물 렌즈(26)로 1차 전자선(12)을 집속하는 경우를 나타낸다.
- [0082] 도 1의 구성에서, 제2 대물 렌즈(26)와 제1 대물 렌즈(18)간의 거리를 40mm로 한다. 제2 대물 렌즈(26)는  $D = 8\text{mm}$ ,  $d = 20\text{mm}$ 로 하고,  $\alpha$ 를 조정하기 위해 대물 렌즈 조리개(16)의 구멍 직경을 21.8 마이크로로 한다. 이 때, 범용 SEM일 때와 비교하여 프로브 전류량이 변화하지 않도록, 콘덴서 렌즈(15)를 약하게 하여 조정한다. 그 외의 조건은 동일한 것으로 한다.  $Z = -4\text{mm}$ 의 위치에서의 성능을 시뮬레이션 하면,
- [0083] (시뮬레이션 데이터 2)
- [0084]  $D_{probe} = 1.44\text{nm}$ ,  $D_g = 0.928$ ,  $D_s = 0.657$ ,  $D_c = 0.503$ ,  $D_d = 0.729$ ,
- [0085]  $C_s = 1.87\text{mm}$ ,  $C_c = 3.391\text{mm}$ ,  $\alpha = 8.89\text{mrad}$ ,  $M_3 = 0.0249$ 가 된다.
- [0086] 이상과 같이, 제2 대물 렌즈(26)를 사용함으로써, SEM의 성능이 대폭적으로 양호해진 것을 알 수 있다.
- [0087] 또한, 제1 대물 렌즈(18)로 집속할 때에 비해, 제2 대물 렌즈(26)로 집속할 때는  $D_g$ 가 작게 되어 있다. 이는 프로브 직경을 동등하게 할 경우, 제1 대물 렌즈(18)로 집속할 때에 비해, 콘덴서 렌즈(15)를 약하게 할 수 있음을 나타내고 있다. 따라서, 제2 대물 렌즈(26)를 사용함으로써, 범용 SEM에 비해 프로브 전류를 대전류화할 수 있음을 알 수 있다.
- [0088] 이어, 제1 대물 렌즈(18)는 사용하지 않고, 제2 대물 렌즈(26)를 사용하여, 가속 전압  $V_{acc}$ 를  $-1\text{kV}$ ( $V_i = 1\text{kV}$ )로 하는 경우를 설명한다(리타딩 전압은 0V로 한다). 프로브 전류가 변화하지 않도록, 콘덴서 렌즈(15)를 조정한다(단, 전자총으로부터의 궤도와 빔량은  $-30\text{kV}$ 일 때와 동일한 것으로 한다). 그 외의 조건은 동일한 것으로 한다.

이하가 시뮬레이션 데이터이다.

- [0089] (시뮬레이션 데이터 3)
- [0090] 결과를 도 6의 (a)에 나타낸다.
- [0091]  $D_{probe} = 15.6\text{nm}$ ,  $D_g = 0.928$ ,  $D_s = 0.657$ ,  $D_c = 15.1$ ,  $D_d = 3.99$ ,
- [0092]  $C_s = 1.87\text{mm}$ ,  $C_c = 3.39\text{mm}$ ,  $\alpha = 8.89\text{mrad}$ ,  $M3 = 0.0249$ 이다.
- [0093] 이 경우,  $C_s$ ,  $C_c$ ,  $\alpha$ ,  $M3$ ,  $D_s$ 는 시뮬레이션 데이터 2와 다르지 않다.  $\Delta V/V_i$ 가 커지므로, 프로브 직경이 매우 커지게 된다.
- [0094] 이어, 전위관(22)을 시료(23)의 상부에 배치하는 예를 설명한다. 전위관(22)의 개구 직경은  $\Phi 5\text{mm}$ 으로 하고, 시료(23)는  $\Phi 6\text{mm}$ 로 한다. 시료 측정면을  $Z = -4\text{mm}$ (제2 대물 렌즈(26)로부터의 거리)로 한다. 시료대(24)와 전위관(22)간의 거리를  $8\text{mm}$ 로 하고, 시료 측정면과 전위관(22)간의 간격을  $5\text{mm}$ 로 한다.
- [0095] 가속 전압  $V_{acc}$ 를  $-10\text{kV}$ 으로 하고, 전위관(22)을  $0\text{V}$  전위로 하며, 시료(23)를  $V_{decel} = -9\text{kV}$ 로 리타딩하고,  $V_i = 1\text{kV}$ 로 한 경우의 수치를 시뮬레이션한다. 여기서는 제1 대물 렌즈(18)는 사용하지 않고, 제2 대물 렌즈(26)만으로 집속시킨다.
- [0096] (시뮬레이션 데이터 4)
- [0097] 결과를 도 6의 (b)에 나타낸다.
- [0098]  $D_{probe} = 5.72\text{nm}$ ,  $D_g = 0.924$ ,  $D_s = 2.93$ ,  $D_c = 4.66$ ,  $D_d = 1.26$ ,
- [0099]  $C_s = 0.260\text{mm}$ ,  $C_c = 0.330\text{mm}$ ,  $\alpha = 28.2\text{mrad}$ ,  $M3 = 0.0247$ 이다.
- [0100] 리타딩 전압  $V_{decel}$ 을  $-9\text{kV}$ 로 하면, 조사 전자의 에너지는  $1\text{keV}$ 가 된다. 가속 전압이  $-1\text{kV}$ 일 때와 비교하여, 프로브 직경이 대폭 개선되어 있다.
- [0101] 이어, 이 조건에 제1 대물 렌즈(18)를 추가적으로 사용하여, 강도를 적절히 조정하는[시뮬레이션 데이터 1에서 필요한 AT(암페어 턴)의 약 0.37배로서 해 봄] 예를 나타낸다.
- [0102] (시뮬레이션 데이터 5)
- [0103] 결과를 도 6의 (c)에 나타낸다.
- [0104]  $D_{probe} = 4.03\text{nm}$ ,  $D_g = 1.60$ ,  $D_s = 0.682$ ,  $D_c = 2.92$ ,  $D_d = 2.17$ ,
- [0105]  $C_s = 0.312\text{mm}$ ,  $C_c = 0.357\text{mm}$ ,  $\alpha = 16.3\text{mrad}$ ,  $M3 = 0.0430$ 이다.
- [0106] 여기서  $D_{probe}$ 가 감소하고 있음을 알 수 있다. 시뮬레이션 데이터 4에서는  $D_c (= 4.66)$ 가 현저하게 커져 있었다. 그래서, 제1 대물 렌즈(18)를 약간 가함으로써,  $\alpha$ 를 작게 할 수 있다.  $D_c$ 는 상기 [수학식 4]로부터  $C_c$ 와  $\alpha$ 에 의존한다.  $C_c$ 는 약간 크게 되어 있지만,  $\alpha$ 는 상당히 작게 되어 있다. 그러므로,  $D_c$ 는 작게 되어 있다. [수학식 1]로부터,  $D_{probe}$ 는 제1 대물 렌즈(18)를 사용함으로써 작게 할 수 있음을 알 수 있다.
- [0107] 도 6의 (a)의  $\alpha = 8.89\text{mrad}$ 에 대하여, 도 6의 (b)에서는  $\alpha = 28.2\text{mrad}$ 이며, 리타딩에 의해 큰 값으로 되어 있다. 즉, 강한 렌즈로 되어 있음을 알 수 있다. 또한, 그 때문에,  $D_d$ 도 작게 되어 있음을 알 수 있다. 도 6의 (c)에서는 제1 대물 렌즈(18)로  $\alpha$ 를 조정하여  $\alpha$ 가 작게 되어 있음을 알 수 있다.
- [0108] 여기서 중요한 것은, 대물 렌즈 조리개(16)의 구멍 직경을 작게 하여  $\alpha$ 를 조정하는 것도 가능한데, 이 경우에는 프로브 전류가 감소하게 된다는 것이다. 그러나, 제1 대물 렌즈(18)를 사용하여  $\alpha$ 를 조정하여도 프로브 전류는 감소하지 않는다. 그러므로, 시료(23)로부터 발생하는 2차 전자(21a)와 반사 전자(21b)는 감소하지 않는다.
- [0109] 또한, 리타딩 전압의 인가에 의해 검출기(20)의 감도가 좋아지면, 프로브 전류를 감소시킬 수 있다. 또한, 대물 렌즈 조리개(16)의 구멍 직경을 작게 하여  $\alpha$ 를 작게 할 수도 있다. 또한, 콘덴서 렌즈(15)에 의한 축소율  $M1 \times M2$ 를 작게 하는 것도 가능하게 된다. 그러므로,  $D_g$ ,  $D_s$ ,  $D_c$ , 및  $D_d$ 와의 균형이 있으므로, 조정이 필요하지만, 프로브 직경을 보다 작게 할 수 있는 경우가 있다. 대물 렌즈 조리개(16)와 제1 대물 렌즈(18)로 프로브 직경을 최적화할 수 있다.
- [0110] 또한, 시료(23)에 따라서는 초점 심도가 얇은 렌즈라면, 요철(凹凸) 상의 면과 바닥의 면 어딘가에 밖에 초점이

맞지 않을 경우가 있다. 이와 같은 경우, 프로브 직경이 같아도  $a$ 가 작을수록 초점 심도가 깊어져, 선명하게 보이는 경우도 있다. 제1 대물 렌즈(18)를 사용하여, 상을 보기 쉽도록 최적화할 수도 있다.

- [0111] 이어, 제1 실시형태에 따른 장치의 다양한 사용법의 구체예를 나타낸다.
- [0112] 도 6의 (b)에서는 가속 전압  $V_{acc}$ 를  $-10kV$ 로 하고, 시료(23)을  $-9kV$ 로 리타딩하는 시뮬레이션을 나타내었는데, 예를 들면, 가속 전압  $V_{acc}$ 를  $-4kV$ 로 하고, 시료(23)을  $-3.9kV$ 로 하여,  $V_i = 100V$ 로 할 수도 있다. 가속 전압과 리타딩 전압의 비가 1에 가까울수록, 수차 계수를 작게 할 수 있다. 또한, 상기에서는 제2 대물 렌즈(26)의 자극에 대하여,  $D = 8mm$ ,  $d = 20mm$ 로 한 경우를 나타내었는데,  $D = 2$ ,  $d = 6$  등으로 하면, 시료 높이나 가속 전압의 제한은 있지만, 보다 성능을 좋게 할 수 있다.
- [0113] 또한, 가속 전압을  $-10kV$ 로 하여 리타딩이 없는 경우, 2차 전자 검출기(19)와 2차 전자(21a)를 검출할 수 있지만, 반도체 검출기(20)에서는 검출할 수 없다. 그러나, 가속 전압을  $-20kV$ 로 하고, 리타딩 전압을  $-10kV$ 로 하면 약  $10keV$ 의 에너지로 2차 전자(21a)가 반도체 검출기(20)에 들어가, 검출 가능하다.
- [0114] 또한, 가속 전압을  $-10.5kV$ 로 하고, 리타딩 전압을  $-0.5kV$ 로 했을 때, 2차 전자(21a)는 반도체 검출기(20)에서는 양호한 감도로 검출할 수 없다. 그러나, 이 때, 2차 전자 검출기(19)로 2차 전자(21a)를 검출할 수 있다. 즉, 2차 전자(21a)는 리타딩 전압이 낮을 때는 2차 전자 검출기(19)로 포획할 수가 있고, 리타딩 전압을 서서히 올리면 반도체 검출기(20)측에서 검출할 수 있는 양이 증가한다. 이와 같이, 2차 전자 검출기(19)는 초점을 맞추면서 리타딩 전압을 올리는 조정시에도 도움이 된다.
- [0115] 제1 실시형태의 제2 대물 렌즈(26)는  $Z = -4.5mm$ 에서  $30keV$ 의 1차 전자를 집속할 수 있도록 설계되어 있다. 시료 위치가 제2 대물 렌즈(26)에 가까워지면, 예를 들면,  $Z = -0.5mm$ 의 위치에서는  $100keV$ 의 1차 전자도 집속시킬 수 있다. 리타딩을 하지 않을 경우에는, 절연판(25)(절연 필름)을 제2 대물 렌즈(26) 상에 두지 않아도 좋다. 그러므로, 이 경우에는, 제2 대물 렌즈(26)는 가속 전압이  $-100kV$ 인 1차 전자선(12)을 충분히 집속할 수 있다. 바람직하게는, 제2 대물 렌즈(26)는 가속 전원을  $-30kV$  내지  $-10kV$  중 어느 하나로 하여 가속된 하전 입자선을, 대물 렌즈의 자극의 시료에 가장 가까운 곳에서 볼 때,  $0mm$  내지  $4.5mm$  중 어느 한 높이의 위치에 집속 가능하도록 설계된다.
- [0116] 가속 전압은  $-15kV$ 로 하고, 시료(23)는  $-5kV$ 로 하며, 전위판(22)에  $-6kV$ 를 인가한 경우에 대하여 설명한다. 1차 전자는 시료(23)에 닿을 때에는  $10keV$ 가 된다. 시료(23)로부터 방출되는 2차 전자(21a)의 에너지는,  $100eV$  이하이다. 전위판(22)의 전위는 시료(23)의 전위보다  $1kV$  낮으므로, 2차 전자(21a)는 전위판(22)을 초과할 수 없다. 그러므로, 2차 전자(21a)는 검출할 수 없다. 시료(23)로부터 방출된  $1keV$  이상의 에너지를 가지고 있는 반사 전자(21b)는 전위판(22)을 통과할 수 있다. 또한, 전위판(22)과 제1 대물 렌즈(18) 아래의 검출기(20)와의 사이에  $6kV$ 의 전위차가 있으며, 반사 전자(21b)는 가속되어 검출기(20)에 들어간다. 이와 같이 전위판(22)의 전압을 조정할 수 있도록 함으로써, 전위판(22)을 에너지 필터로서 사용할 수도 있고, 또한 신호 전자(21)를 가속시킴으로써 감도를 올리는 것도 가능하게 된다.
- [0117] 이어, 시료의 높이가 예를 들어  $7mm$ 인 경우에 대해 설명한다.
- [0118] 이 때, 리타딩을 하는 경우라도, 상부 자극(26b)으로부터 절연판(25)과 시료대(24)의 두께를 포함하여, 예를 들면  $Z = -7.75mm$  정도의 위치에서 측정이 이루어진다. 이 경우, 제2 대물 렌즈(26)만으로는  $30keV$ 의 1차 전자선(12)을 집속시킬 수는 없다. 그러나, 가속 전압을 내리지 않아도 제1 대물 렌즈(18)의 도움을 빌리면, 1차 전자선(12)을 집속할 수 있다.
- [0119] 또한, 시료(23)의 높이에 따라서는, 제1 대물 렌즈(18)만으로 집속시키는 편이 성능 좋게 관찰할 수 있는 경우도 있다(도 2 참조). 이와 같이, 시료(23)에 따라 최적의 사용법을 선택할 수 있다.
- [0120] 상기에서는 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)간의 간격을  $40mm$ 로 하는 경우에 대하여 기술하였으나, 이 거리는 고정식에서도 가동식(可動式)으로 하여도 좋다. 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)와의 거리를 이격시킬수록, 축소율  $M3$ 는 작은 값이 된다. 그리고, 개방각( $\alpha$ )은 크게 할 수 있다. 이 방법으로  $\alpha$ 를 조정할 수 있다.
- [0121] 또한, 리타딩 전압이 높으면 신호 전자(21)는 광축의 근방을 통과하여, 검출기(20)의 1차 전자가 지나기 위한 개구부에 들어가기 쉬워진다. 그러므로, 검출기(20)의 개구부는 작을수록 좋다. 검출기(20)의 개구부는  $\Phi 1$  내지  $\Phi 2mm$  정도로 해 두면, 감도가 좋다. 전위판(22)의 개구 직경이나 높이를 조정하고, 전위판(22)의 위치를 광축으로부터 약간 어긋나게 함으로써, 신호 전자(21)가 검출기(20)에 닿도록 신호 전자(21)의 궤도를 조정하여

감도를 양호하게 하는 방법이 있다. 또한, 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26) 사이에 전기장과 자장을 직행시켜 인가하는 E cross B(ExB)를 넣어, 신호 전자(21)를 약간 굽히는 것도 좋다. 1차 전자의 진행 방향과 신호 전자(21)의 진행 방향은 반대이므로, 약간 신호 전자(21)를 굽히는 데, 약한 전기장과 자장을 형성하여도 좋다. 약간 구부러지면 검출기(20) 중심의 개구부에 들어가지 않아, 검출할 수 있게 된다. 또한, 단지 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26) 사이에 전계를 광축에 대하여 측면으로부터 인가하여도 좋다. 이와 같이 하여도, 1차 전자는 영향을 쉽게 받지 않으며, 가로 어긋남이면 화상에 대한 영향은 적다. 예를 들면, 2차 전자 검출기(19)의 콜렉터 전극 등에 의한 전계를 사용하여, 신호 전자(21)의 궤도를 컨트롤할 수도 있다.

[0122] 도 3에서는 제2 대물 렌즈(26)를 주렌즈로서 사용하고 있다. 시료대(24)가 접지 전위인 경우, 2차 전자(21a)는 2차 전자 검출기(19)에 의해 검출된다. 반사 전자(21b)는 반도체 검출기(20) 또는 로빈슨 검출기(20) 등에 의해 검출된다. 시료(23)와 검출기(20)가 10mm 내지 20mm 정도 이격되어 있을 때는 양호한 감도로 검출할 수 있다. 그러나, 40mm 정도 이격되면, 검출기(20)에 들어가지 않는 반사 전자(21b)가 증가하여, 반사 전자(21b)의 검출량이 적어진다. 이 때 시료(23)에 리타딩 전압을 부여하면, 2차 전자(21a)는 반도체 검출기(20) 또는 로빈슨 검출기(20) 등에 의해 검출되게 된다. 또한, 리타딩 전압을 부여함으로써, 반사 전자(21b)의 확산은 억제되어, 반도체 검출기(20) 또는 로빈슨 검출기(20) 등에서 고감도로 검출 가능하게 된다. 이와 같이 전위판(22)이 없는 경우에도 리타딩은 사용 가능하다.

[0123] 도 2에서는 시료(23)가 두꺼운 경우에, 대물 렌즈로서 제1 대물 렌즈(18)를 사용한 경우를 나타내었다. 도 2에서는 전위판(22)을 이동시키는 XYZ 스테이지(61)를 활용하여, 시료 스테이지로서 사용할 수 있다. 보다 구체적으로는, 전위판(22) 대신에, 시료대(24)가 XYZ 스테이지(61)에 접속됨으로써, 시료대(2)가 X 방향, Y 방향 및 Z 방향으로 이동가능하게 된다. 이 XYZ 스테이지(61)는 시료대(24)를 제1 대물 렌즈(18)에 근접시키는 방향으로도 이동할 수 있다. 이로써, 범용 SEM과 같이 장치가 사용된다. 반사 전자(21b)는 반도체 검출기(20) 또는 로빈슨 검출기(20) 등에 의해 검출되고, 2차 전자(21a)는 2차 전자 검출기(19)에 의해 검출된다. 통상, 시료(23)는 접지 전위이지만, 간이적으로 리타딩도 할 수 있다(전위판(22) 없이 리타딩을 수행할 수 있다).

[0124] 또한, 도 2에서는 시료대(2)가 XYZ 스테이지(61)에 접속되므로, 도 1에 나타난 전위판(22) 및 시료대 스테이지판(29)은 불필요하게 된다.

[0125] 제2 대물 렌즈 전원(42)만을 사용할 때는, 제1 대물 렌즈(18)와 시료 측정면간의 거리보다도, 제2 대물 렌즈(26)와 시료 측정면간의 거리 쪽이 가까워지도록 장치가 구성되며, 제1 대물 렌즈 전원(41)만을 사용할 때는, 제2 대물 렌즈(26)와 시료 측정면간의 거리보다도, 제1 대물 렌즈(18)와 시료 측정면간의 거리 쪽이 가까워지도록 장치가 구성된다.

[0126] 또한, 높은 측정 성능이 요구되지 않고, 비교적 성능이 낮은 측정인 경우라면, 제1 대물 렌즈 전원(41)만을 사용할 때일지라도, 제2 대물 렌즈(26)와 시료 측정면간의 거리보다도 제1 대물 렌즈(18)와 시료 측정면간의 거리가 더 가까워지도록 필요는 없다. 제1 대물 렌즈(18)와 시료 측정면간의 거리보다도 제2 대물 렌즈(26)와 시료 측정면간의 거리가 더 가까워지도록 하여도 좋다. 즉, 시료(23)가 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26) 사이에 배치되어 있으면 된다. 예를 들어 저배율의 측정인 경우라면, 제2 대물 렌즈(26) 근처에 시료(23)를 배치하고, 제1 대물 렌즈 전원(41)을 사용하여 제1 대물 렌즈(18)만을 사용하면 된다.

[0127] 도 1에서 리타딩을 한 경우, 시료(23)의 전위가 음이 된다. 시료(23)를 GND 레벨로 한 채 전위판(22)에 양 전압을 인가할 수도 있다(이 방법을 부스팅법(boosting method)이라고 한다). 시료(23)에 음 전압을 인가하여, 전위판(22)에 양 전위를 걸어, 저가속 SEM으로서 더욱 성능을 양호하게 할 수도 있다. 예를 들면, 제1 대물 렌즈(18)는 접지 전위로 하고, 전위판(22)에 +10kV를 인가하며, 시료(23)는 접지 전위로 하는 경우를 설명한다. 가속 전압은 -30kV로 한다. 1차 전자는 제1 대물 렌즈(18)를 통과할 때에는 30keV이며, 제1 대물 렌즈(18)로부터 전위판(22)을 향해 가속되고, 전위판(22) 부근으로부터 시료(23)를 향해 감속한다. 이하에 이 경우의 시뮬레이션 데이터를 나타낸다. 시료(23)와 전위판(22)의 형태는 시뮬레이션 데이터 4의 경우와 동일한 조건으로 한다.

[0128] (시뮬레이션 데이터 6)

[0129]  $D_{probe} = 1.31\text{nm}$ ,  $D_g = 0.904$ ,  $D_s = 0.493$ ,  $D_c = 0.389$ ,  $D_d = 0.710$ ,

[0130]  $C_s = 1.29\text{mm}$ ,  $C_c = 2.56\text{mm}$ ,  $\alpha = 9.13\text{mrad}$ ,  $M3 = 0.0244$ 이다.

[0131] 이상의 결과에 따르면, 부스팅이 없는 경우(시뮬레이션 데이터 2)에 비해 프로브 직경이 개선되어 있다.

[0132] 신호 전자(21)는 시료(23)와 전위판(22) 사이에서는 가속되지만, 전위판(22)과 검출기(20) 사이에서는



감속된다. 검출기(20)가 반도체 검출기(20)인 경우에 반사 전자(21b)를 검출할 수 있지만, 반도체 검출기(20)는 접지 전위이므로, 2차 전자(21a)는 감속하여 검출할 수 없다. 2차 전자(21a)는 2차 전자 검출기(19)에 의해 검출할 수 있다. 리타딩 전압을 시료(23)에 인가하면, 반도체 검출기(20)로 2차 전자(21a)도 검출 가능하게 된다.

[0133] 이어, 도 7을 참조하여, 2단 편향 코일(17)의 조정에 의해 편향 궤도의 교점을 이동시키는 것에 대하여 설명한다. 2단 편향 코일(17)로 시료(23)상을 2차원적으로 주사한다. 2단 편향 코일(17)의 전자원측을 상단(上段) 편향 코일(17a)이라 하고, 시료측을 하단(下段) 편향 코일(17b)이라고 한다.

[0134] 도 1에 도시된 바와 같이, 이 2단 편향 코일(17)은 상단 편향 코일(17a)의 강도를 가변하는 상단 편향 전원(43)과, 하단 편향 코일(17b)의 강도를 가변하는 하단 편향 전원(44)과, 상단 편향 전원(43)과 하단 편향 전원(44)을 제어하는 제어 장치(45)에 의해 제어된다.

[0135] 상단 편향 코일(17a)과 하단 편향 코일(17b)은 제1 대물 렌즈(18)의 내부로부터 볼 때 1차 전자선(12)이 날아오는 측에 설치된다{제1 대물 렌즈(18)의 렌즈 주면(主面)보다 상류에 설치되거나, 또는 렌즈 주면(主面)의 위치에 하단의 편향 부재를 두는 경우에는 외측 자극(18b)(도 7 참조. 또한, 도 7의 부호 "18a"는 내측 자극을 나타낸다.)보다 상류에 설치된다}. 상단 편향 전원(43)과 하단 편향 전원(44)과의 사용 전류비(電流比)는 제어 장치(45)에 의해 가변하게 되어 있다.

[0136] 도 7의 (a)에서는 2단의 편향 코일(17)에 의해, 전자는 광축과 제1 대물 렌즈(18)의 주면(主面)의 교점 근처를 통과하는 궤도로 되어 있다. 제1 대물 렌즈(18)를 주렌즈로서 사용하는 경우(도 2)에는, 이와 같이 설정된다. 제2 대물 렌즈(26)를 주렌즈로서 사용할 때에, 도 7의 (a)와 같이 하면 편향 수차가 커져, 저배율의 화상일수록 변형되게 된다. 제2 대물 렌즈(26)를 주렌즈로서 사용할 때는, 도 7의 (b)와 같이, 상단 편향 코일(17a)과 하단 편향 코일(17b)의 강도비가, 전자가 제2 대물 렌즈(26)의 주면과 광축과의 교점 부근을 통과하는 궤도가 되도록 조정된다. 조정은 상단 편향 전원(43)과 하단 편향 전원(44)의 사용 전류비를 조정하는 제어 장치(45)에 의해 이루어진다. 이와 같이 함으로써, 화상의 변형은 감소된다. 그리고, 사용 전류비를 조정함으로써 편향 궤도의 교점(크로스점)을 어긋나게 하는 것이 아니라, 권취수가 상이한 코일을 릴레이 등으로 전환하는 방식(권취수가 상이한 코일을 복수 설치하고, 사용하는 코일을 제어 장치에 의해 선택하는 방식)이나, 정전(靜電) 렌즈의 경우에는 전압을 전환하는 방식(사용 전압비를 가변하는 방식)을 채용하여도 좋다.

[0137] 도 7에 도시된 바와 같이, 편향 코일(17)은 제1 대물 렌즈(18) 내의 간극에 배치하여도 좋다. 편향 코일(17)은 제1 대물 렌즈(18) 내에 있어도 좋고, 도 1과 같이 그보다 더욱 하전 입자선의 상류측에 위치하여도 좋다. 정전 편향을 채용하는 경우에는 편향 코일 대신에 편향 전극이 채용된다.

[0138] [제2 실시형태]

[0139] 도 8을 참조하여, 제1 대물 렌즈(18)가 없는 간단한 장치 구성을 설명한다.

[0140] 여기서는 반도체 검출기(20)를 하단 편향 코일(17b) 아래에 두고 있다. 제1 대물 렌즈(18)가 없는 경우, 그만큼 하단 편향 코일(17b)과 제2 대물 렌즈(26)와의 거리를 짧게 할 수 있다. 이와 같은 장치 구성은 소형화에 적합하다. 제1 실시형태와 비교하여, 제2 실시형태에서도 제1 대물 렌즈(18)를 사용하는 것을 제외하고, 마찬가지로 장치를 사용할 수 있다. 검출기(20)와 제2 대물 렌즈(26)와의 거리는 10mm 내지 200mm 이격시켜 설치되어 있다.

[0141] 도 8의 장치에서는 전자원(11)으로부터 하단 편향 코일(17b)까지의 구성에 의해, 1차 전자선(12)을 시료(23)를 향해 사출하는 상부 장치(51)가 구성된다. 또한, 전위판(22)과, 그보다 아래에 배치되는 부재에 의해 하부 장치(52)가 구성된다. 하부 장치(52)에 시료(23)는 지지홀딩된다. 상부 장치(51)는 그 내부를 통과한 하전 입자선이 최종적으로 방출되는 구멍부를 가지고 있다. 그 구멍부는 하단 편향 코일(17b)에 존재한다. 검출기(20)는 그 구멍부 아래에 장착되어 있다. 검출기(20)도 1차 전자선(12)이 통과하는 개구부를 가지고 있고, 구멍부와 개구부가 중첩하도록, 검출기(20)는 하단 편향 코일(17b)보다도 하부에 장착된다.

[0142] [제3 실시형태]

[0143] 제3 실시형태에서는, 전자원(11)에 전계 방출형의 것을 사용한다. 전계 방출형은 열전자 방출형에 비해 휘도가 높고, 광원의 크기는 작고, 1차 전자선(12)의  $\Delta V$ 도 작고, 색수차 측면에서도 유리하다. 제3 실시형태에서는 제1 실시형태와의 비교를 위해, 제1 실시형태의 2단계 콘덴서 렌즈(15b)로부터 아래를 제1 실시형태와 동일한 것으로 하고, 전자원부(電子源部)를 전계 방출형으로 하여, 1단계 콘덴서 렌즈(15a)를 없애고 있다. 1차 전자선(12)의  $\Delta V$ 를 0.5eV로 하고, 전자원의 크기  $S_0 = 0.1\mu\text{m}$ 으로 한다.  $Z = -4\text{mm}$ 로 하고, 가속 전압  $V_{acc}$ 를  $-30\text{kV}$ , 제1 대물 렌즈(18)는 OFF로 한 성능을 계산하면, 이하와 같이 된다.

- [0144] (시뮬레이션 데이터 7)
- [0145]  $D_{probe} = 0.974\text{nm}$ ,  $D_g = 0.071$ ,  $D_s = 0.591$ ,  $D_c = 0.248$ ,  $D_d = 0.730$ ,
- [0146]  $C_s = 1.69\text{mm}$ ,  $C_c = 3.36\text{mm}$ ,  $\alpha = 8.88\text{mrad}$ ,  $M_3 = 0.0249$
- [0147] 전계 방출형 전자원은 열전자 방출형에 비해 휘도가 높다. 또한, 콘덴서 렌즈(15)가 일단(一段)으로 되어 있으므로, 프로브 전류는 열전자 방출형일 때에 비해 많아져 있다. 그럼에도 불구하고, 프로브 직경이 작게 되어 있음을 알 수 있다.  $D_d$ 가 가장 큰 값을 나타내고 있다.
- [0148] 다음의 예에서는, 가속 전압  $V_{acc}$ 를  $-1\text{kV}$ ( $V_i = 1\text{kV}$ )로 한다. 제1 대물 렌즈(18)는 사용하지 않고, 제2 대물 렌즈(26)를 사용하여 전자를 집속한다. 프로브 전류는 변화하지 않도록 콘덴서 렌즈(15)를 조정한다. 이 경우에는 다음과 같이 된다.
- [0149] (시뮬레이션 데이터 8)
- [0150]  $D_{probe} = 8.48\text{nm}$ ,  $D_g = 0.071$ ,  $D_s = 0.591$ ,  $D_c = 7.45$ ,  $D_d = 4.00$ ,
- [0151]  $C_s = 1.68\text{mm}$ ,  $C_c = 3.36\text{mm}$ ,  $\alpha = 8.88\text{mrad}$ ,  $M_3 = 0.0249$
- [0152] 이상과 같이, 열전자 방출형(시뮬레이션 데이터 3)에서는  $D_{probe} = 15.6\text{nm}$ 이므로, 전계 방출형 전자원쪽이 좋은 것을 알 수 있다.
- [0153] 이어, 전위판(22)과 시료(23)를 도 1과 같이 배치하는 예에 대하여 설명한다. 시료 측정면을  $Z = -4\text{mm}$ 로 한다.
- [0154] 가속 전압  $V_{acc}$ 를  $-10\text{kV}$ 로 하고, 전위판(22)을  $0\text{V}$  전위로 하며, 시료(23)를  $-9\text{kV}$ 로 한 경우( $V_i = 1\text{kV}$ )에 대하여 계산 결과를 이하에 나타낸다. 여기서는 제1 대물 렌즈(18)는 사용하지 않고, 제2 대물 렌즈(26)만으로 집속시키고 있다.
- [0155] (시뮬레이션 데이터 9)
- [0156]  $D_{probe} = 3.92\text{nm}$ ,  $D_g = 0.071$ ,  $D_s = 2.90$ ,  $D_c = 2.32$ ,  $D_d = 1.26$ ,
- [0157]  $C_s = 0.260\text{mm}$ ,  $C_c = 0.330\text{mm}$ ,  $\alpha = 28.1\text{mrad}$ ,  $M_3 = 0.0248$
- [0158] 수차 중에서  $D_s$ 가 가장 큰 값으로 되어 있다. 이는 시료(23)에 가까울수록 전자의 속도가 느려지게 되어 자장의 영향을 받기 쉬워지는 것과, 자속밀도가 시료(23)에 가까울수록 큰 값이므로 시료(23)에 가까울수록 강한 렌즈로 되어 있으므로,  $\alpha$ 가 너무 커지는 것에 의한다.  $D_s$ 는  $\alpha$ 의 3승에 비례하는 것이므로, 크게 되어 있다. 제1 대물 렌즈(18)를 사용함으로써 개선하는 것이 좋다.
- [0159] 이어, 제1 대물 렌즈(18)를 사용하고, 강도를 최적으로 조정된 경우[시뮬레이션 데이터 1의 AT(암페어 턴)의 약 0.31배로 한 경우]의 데이터를 나타낸다.
- [0160] (시뮬레이션 데이터 10)
- [0161]  $D_{probe} = 2.68\text{nm}$ ,  $D_g = 0.103$ ,  $D_s = 1.03$ ,  $D_c = 1.68$ ,  $D_d = 1.82$ ,
- [0162]  $C_s = 0.279\text{mm}$ ,  $C_c = 0.344\text{mm}$ ,  $\alpha = 19.5\text{mrad}$ ,  $M_3 = 0.0358$
- [0163] 수차 계수만을 보면 악화되어 있지만, 프로브 직경은  $\alpha$ 를 조절한 것에 의해, 더욱 개선되어 있다.
- [0164] 여기서는 제1 실시형태와 비교하기 위해, 대물 렌즈 조리개(16)의 구멍 직경을 21.8 마이크로미터와 같게 하였다. 전계 방출형의 경우에는, 휘도가 밝기 때문에, 그리고 콘덴서 렌즈(15)가 일단으로 되어 있으므로, 더욱 구멍 직경을 작게 할 수 있다. 그러므로, 회절 수차가 주된 수차로 된다.
- [0165] 이상과 같이 본 실시형태에 따르면, 제2 대물 렌즈(26)를 사용하여, 리타딩함으로써,  $\alpha$ 가 커지게 되는 렌즈계가 되어, 회절 수차를 줄일 수 있는 렌즈계로 되어 있다. 즉, 하전 입자선 장치에서 수차가 낮은 제2 대물 렌즈를 실현할 수 있다. 신호 전자를 고감도로 검출하여, 염가로 고분해능화를 실현할 수 있다.
- [0166] 본 실시형태에 따르면, 신호 전자가 제1 대물 렌즈 속을 통과하지 않으므로, 검출부를 간단한 구조로 할 수 있다. 제2 대물 렌즈의 광축상 자속밀도는 시료에 가까울수록 강한 분포를 나타내고 있으므로, 대물 렌즈는 저수차 렌즈가 된다. 시료에 음 전위를 부여하면, 시료에 가까울수록 강한 렌즈가 되어, 대물 렌즈는 더욱 저수차 렌즈가 된다. 시료의 리타딩 전압에 의한 전계로, 신호 전자는 가속되고, 에너지 증폭되어 검출기에 들어가

때문에, 검출기는 고감도가 된다. 이상의 구성에 의해, 고분해능인 하전 입자선 장치를 실현할 수 있다.

[0167]

[0168] [제4 실시형태]

[0169] 이어, 제4 실시형태에서의 SEM(하전 입자 장치의 일 예)의 장치 구성에 대하여 설명한다. 이하의 설명에 있어서, 기술한 실시형태와 동일한 구성(각 구성의 변형예도 포함한다)에 대하여는 기술한 바와 동일한 부호를 부여하고, 그들 구성에 대한 상세한 설명에 대하여는 생략한다.

[0170] 상기한 제1 실시형태의 개략적인 구성은, 다음과 같이, 제4 실시형태에서도 마찬가지로이다. 상부 장치(51)에는 전자원(11)으로부터 제1 대물 렌즈(18)까지의 구성이 배치되어 있다. 상부 장치(51)로부터 시료(23)를 향해 1차 전자선(12)이 사출된다. 하부 장치(52)에는 제2 대물 렌즈(26)가 배치되어 있다. 하부 장치(52)에 시료(23)가 지지홀딩된다. 반사 전자(21b)나, 2차 전자 검출기(19) 및 검출기(20)(제4 실시형태에서는 이들을 총칭하여, 제1 검출기(19, 20)라고 하는 일 있다)도 마찬가지로 마련된다. 2차 전자 검출기(19)는 2차 전자(21a)를 검출하기 위해 마련된다.

[0171] 제4 실시형태에서는 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26) 사이에 제2 검출기가 배치되어 있는 점이 상기 실시형태와는 다르다. 제2 검출기는 신호 전자(21)를 검출하는 제1 검출기(19,20)와는 다른 검출기이다. 제2 검출기는 시료(23)로부터 방출 또는 반사된, 제1 검출기의 검출 대상과는 다른 전자 또는 전자파가 입사하도록 배치되어 있다. 제2 검출기는 제1 검출기의 검출 대상과는 다른 전자 또는 전자파를 검출한다. 또한, 제1 검출기로서, 검출기(20)와 이차 전자 검출기(19) 중 어느 한쪽이 배치되어 있어, 다른 쪽이 마련되어 있지 않아도 좋다.

[0172] 제4 실시형태에서, 제2 검출기는 제1 대물 렌즈(18)보다도 아래쪽(시료(23) 나 제2 대물 렌즈(26)에 가까워지는 측)에 배치되어 있다. 특히, 제1 검출기(19, 20)에 반사 전자(21b) 또는 이차 전자(21a)가 입사하는 위치보다도, 제2 검출기의 일부에 전자 또는 전자파가 입사하는 위치 쪽이 더 아래쪽에 위치하고 있다(제2 대물 렌즈(26)에 가까워져 있다). 제2 검출기의 일부에 전자 또는 전자파가 입사하는 위치는 제1 검출기(19, 20)에 반사 전자(21b) 또는 이차 전자(21a)가 입사하는 위치보다도, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 입사하는 입사 위치에 가까워져 있다. 또한, 반대로, 제2 검출기의 일부에 전자 또는 전자파가 입사하는 위치는 제1 검출기(19, 20)에 반사 전자(21b) 또는 이차 전자(21a)가 입사하는 위치보다도, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 입사하는 입사 위치로부터 떨어져 있어도 상관 없다.

[0173] 여기서, 제2 검출기는 다음과 같은 전자 및 전자파 중 어느 하나를 검출가능하면 된다. 예를 들면, 제2 검출기는 일차 전자선(12)의 입사에 따라 시료(23)로부터 방출된 전자파를 검출가능하여도 좋다. 이런 종류의 전자파로서는 예를 들면, 특성 X선, 연속 X선 및 캐소드 루미네스스(CL) 등을 들 수 있다. 또한, 예를 들면, 제2 검출기는 시료(23)에 조사되어 시료(23)에서 반사된 전자파를 검출가능하여도 좋다. 이와 같은 전자파로서는 가시광선이나 적외선, 자외선 등의 빛을 들 수 있다. 또한, 예를 들면, 제2 검출기는 일차 전자선(12)의 입사에 따라 시료(23)로부터 방출된 오제 전자를 검출가능하여도 좋다. 제4 실시형태에서는 제1 검출기(19, 20)뿐만 아니라, 이러한 전자 및 전자파 중 어느 하나를 검출가능한 제2 검출기가 마련된다. 따라서, 시료(23)에 대해 보다 다양한 분석이나 관찰을 할 수 있다.

[0174] 이하, 제4 실시형태의 구체적인 예에 대해 설명한다.

[0175] 도 9는 본 발명의 제4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 개요적인 예를 나타낸 단면도이다.

[0176] 도 9에 도시된 바와 같이, SEM의 하부 장치(52)의 상면측 공간은 진공벽(60)으로 둘러싸여 있다. 이로써, 제1 대물 렌즈(18)와 제1 검출기(19, 20)나 시료(23) 등은 진공 환경에 놓이게 된다. 시료(23)는 절연관(25)을 통해 제2 대물 렌즈(26)의 상면에 배치된 시료대(24)에 배치되어 있다. 신호 전자(21)를 검출하는 검출기(20)는 제1 대물 렌즈(18)의 하단부에 배치되어 있다. 이차 전자(21a)를 검출하는 이차 전자 검출기(19)는 제1 대물 렌즈(18)의 측부에 배치되어 있다.

[0177] 여기서, 도 9에 도시된 SEM에는 시료(23)로부터 방출된 특성 X선(121)을 검출하는 제2 검출기(110)가 배치된다. 제2 검출기(110)는 에너지 분산형 X선(EDX(EDS라고 하는 일도 있다)) 분석 장치이다. 제2 검출기(110)는 SEM에 부대하는 장치로서 장착되어 있다. 이 SEM에서는 신호 전자(21)를 검출하는 것에 의한 시료(23) 관찰에 따라, 시료(23)의 EDX 분석을 수행할 수 있다. 제2 검출기(110)는 제1 검출기(19, 20)에 의한 신호 전자(21)의 검출을 방해하지 않도록 배치되어 있으며, 신호 전자(21)의 검출과 특성 X선(121)의 검출은 동시에(병행하여) 수행할 수 있는데, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0178] 제2 검출기(110)는 아암부(113)가 진공 벽(60)의 외측에 배치된 본체부로부터 진공 벽(60)의 내측으로 대략 직선 형태로 연장되는 것과 같은 구조를 가지고 있다. 아암부(113)는 진공 벽(60)으로 둘러싸인 진공부에 꽂혀 있다. 아암부(113)의 선단부에는 판상으로 형성된 판상부(114)가 마련되어 있다. 아암부(113) 및 판상부(114)는 금속제이어서, 도전성을 가지고 있다.
- [0179] 마운팅부(65)는 O링 등을 사용하여 진공 벽(60)에 기밀을 유지하도록 하여 장착되어 있다. 제2 검출기(110)는 마운팅부(65)에 복수의 조정 볼트(67) 및 너트 등을 사용하여 고정되어 있다. 조정 볼트(67) 및 너트 등을 조정함으로써 마운팅부(65)나 조정 볼트(67)의 고정 위치 등이 조정된다. 이로써, 제2 검출기(110)의 시료(23)에 대한 위치를 미세조정할 수 있다. 제2 검출기(110)의 커다란 이동 방향은 상하 방향(도면의 화살표 Z방향; 일차 전자선(12)의 입사 방향)이나 아암부(113)의 길이 방향(도면의 화살표 Y방향)이다. 이와 같이 제2 검출기(110)의 위치를 조정함으로써, 아암부(113)의 선단 위치, 즉 판상부(114)의 위치를 변경할 수 있다. 시료(23)에 대한 판상부(114)의 위치, 즉 일차 전자선(12)이 통과하는 위치에 대한 판상부(114)의 위치를 변경할 수 있다. 이로써, 제1 대물 렌즈(18)를 사용하여 일차 전자선(12)을 집속시키는 경우에도 높이 조정 및 전후 좌우의 조정이 가능하게 된다. 제2 검출기(110), 판상부(114)는 사용하지 않을 때에는 아암부(113)의 길이 방향(도면의 화살표 Y방향)으로 크게 이동시켜 보관할 수 있다.
- [0180] 판상부(114)는 일차 전자선(12)의 출사 방향(이하, 광축이라 하는 일이 있다.)에 대해 거의 수직이 되도록 배치된다. 판상부(114)에는 구멍부(114a)가 형성되어 있다. 판상부(114)의 위치는 구멍부(114a)를 일차 전자선(12)이 통과하도록 조정된다. 판상부(114)의 시료(23)측 면(도면에서 하면)에는 X선 검지부(120)가 배치되어 있다. X선 검지부(120)는 예를 들면 실리콘 드리프트 검출기(SDD)나 초전도 전이단 센서(TES)이다. X선 검지부(120)에는 일차 전자선(12)의 입사에 따라 시료(23)로부터 방출된 특성 X선(121)이 입사한다. 제2 검출기(110)는 X선 검지부(120)에 특성 X선(121)이 입사되었을 때, 입사한 특성 X선(121)을 검지한다.
- [0181] 또한, X선 검지부(120)는 특성 X선(121)을 검지가능한 부위와, 다른 신호 전자나 전자파 등을 검지가능한 부위로 분할되어 있어도 좋다. X선 검지부(120)의 시료측 표면에는 유기 박막이나 베릴륨 박막 등이 배치되어 있어도 좋다. 이로써, 시료(23)로부터 방출되는 이차 전자(21a)나 반사 전자(21b)가 X선 검지부(120)에 입사하지 않고 멈추도록 하고, X선 검지부(120)가 그들 신호 전자(21) 등의 영향을 받지 않도록 할 수 있다.
- [0182] 제2 검출기(110)의 판상부(114)는 리타딩을 수행할 경우의 전위판으로서도 가능하다. 즉, 리타딩 전원(27)은 시료대(24)에 접속되어 있으며, 판상부(114)는 아암부(113)를 통해, 예를 들어 접지 전위에 접속된다. 판상부(114)는 상술한 실시 형태에서의 전위판(22)과 마찬가지로 가능하다. 그 때문에, 전위판(22)을 별도로 마련하지 않고도, 전위판(22)을 마련하고 있는 경우와 마찬가지로의 효과를 얻을 수 있다. 또한, 판상부(114)에는 접지전위에 한정되지 않고, 양 전위 또는 음 전위가 부여되도록 하여도 좋다.
- [0183] 판상부(114)의 위치는 상술한 바와 같이 적절하게 변경가능하다. 제1 대물 렌즈(18)와 제2 대물 렌즈(26)간의 제어나, 리타딩 전압의 제어가 이루어짐으로써, 상술한 실시형태와 마찬가지로, 시료(23)를 고분해능으로 관찰할 수 있게 된다. 또한, 그에 맞춰, 시료(23)의 EDX 분석을 수행할 수 있으며, 다양한 분석 및 관찰을 수행할 수 있다.
- [0184] 여기서, 종래와 같이, SEM의 대물 렌즈가 시료(23)에 대해 일차 전자선(12)을 출사하는 측(도면에서 상측)에만 설치되어 있는 경우(본 실시형태에서 제1 대물 렌즈(18)만이 설치되어 있는 것과 같은 경우에 해당함)에는 고분해능의 관찰을 하려고 하면, 대물 렌즈를 시료(23)에 근접시킬 필요가 있었다.
- [0185] 도 10은 종래의 구조를 갖는 SEM의 장치 구성을 모식적으로 나타낸 단면도이다.
- [0186] 도 10에는 SEM의 대물 렌즈(918)와, 반사 전자를 검출하는 검출기(920)와, 이차 전자 검출기(919)가 도시되어 있다. 고분해능의 관찰을 수행하기 위해, 시료(923)는 통상적으로 대물 렌즈(918)에 근접 배치된다. EDX 분석을 수행하기 위한 X선 검출기(915)를 시료(923)에 근접시켜 배치하려고 하면, X선 검출기(915)가 대물 렌즈(918)보다도 시료(923)측으로 튀어나온다. 그러면, X선 검출기(915)가 시료(923)에 접촉할 가능성이 높아진다. 대물 렌즈(918)와 시료(923)간의 거리를 짧게 하기 위해서는 X선 검출기(915)를 대물 렌즈(918)의 측방에 배치할 필요가 있다.
- [0187] 그러나, 이처럼 X선 검출기(915)를 시료(923)로부터 떨어진 위치에 배치하면, 검출 효율이 낮아진다. X선 검출기(915)에 입사하는 X선량은 거리의 제곱에 반비례하여 감소하기 때문이다. 또한, 시료(23)의 표면의 오목부 내측으로부터 방출된 X선을 검출하는 것이 곤란하게 된다. 대물 렌즈(918)에 의해 차단되지 않은 특성 X선(121)을 X선 검출기(915)로 검출하기 위해, 수평면(일차 전자선(12)의 광축에 대해 수직인 면)에 대한 X선 검출기(915)

의 각도(도면에서 각도( $\alpha 1$ )로 나타낸다; 테이크오프각(takeoff angle)이라고 하는 경우가 있다)를 작게 할 필요가 있기 때문이다.

- [0188] 이에 반해, 도 9에 도시된 바와 같은 구조에서는 제2 대물 렌즈(26)가 설치되어 있음으로써, 상부 장치(51)와 제2 대물 렌즈(26) 사이에 공간을 마련한 상태일지라도, 높은 분해능으로 시료(23) 관찰을 할 수 있다. 그리고, EDX 분석에 대해 살펴보면, 상부 장치(51)와 제2 대물 렌즈(26) 사이의 공간에, 특성 X선(121)이 입사하는 X선 검지부(120)를 배치할 수 있다. 따라서, X선 검지부(120)를 시료(23)에 의해 접근시킬 수 있으며, 또한 X선 검지부(120)에 대한 특성 X선(121)의 테이크오프각(takeoff angle)을 크게 할 수 있다. 또한, 테이크오프각을 크게 할 수 있기 때문에, 시료(23) 표면의 오목부 내측으로부터 방출된 X선을 검출할 수 있게 된다. 테이크오프각이 커지면 X선이 시료(23)를 통과하는 폭이 좁아지게 되어, 공간 분해능이 좋아진다. 이러한 점들 때문에, SEM 이미지를 최적의 조건에서 관찰할 수 있는 배치인 채로, 동시에 X선 검지부(120)의 검출 입체각을 크게 할 수 있어 검출 효율을 높게 할 수 있으며, 또한 제2 검출기(110)의 분해능을 높게 할 수 있다.
- [0189] 또한, 상술한 제1 실시형태에 대한 제2 실시형태와 같이, 도 9에 도시된 바와 같은 구조에서, 제1 대물 렌즈(18)는 설치되지 않아도 된다. 또한, 제2 검출기(110)는 리타딩이 수행될 때에 전위판(22)으로서 기능하는 것에 한정되지 않는다. 제2 검출기(110)는 단순히 특성 X선(121) 등을 검출하는 X선 검지부를 구비하고 있는 것이면 된다.
- [0190] 도 11은 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 일 변형예를 나타낸 단면도이다.
- [0191] 도 11에는 도 9에 도시된 장치와 마찬가지로 EDX 분석을 수행할 수 있는 SEM의 구성의 일 예가 나타나 있다. 이 SEM은 도 9에 도시된 장치보다도 단순한 장치 구성을 가지고 있다. 도 11에 도시된 바와 같이, 이 장치는 일차 전자선(12)을 제2 대물 렌즈(26)로 집속시키는 것이다. 상부 장치(51)(도 11에서는 이단 편향 코일(17)의 다른 구성의 도시는 생략되어 있다)에는 대물 렌즈가 설치되어 있지 않다. 또한, 리타딩은 이루어지지 않아, 전위판은 설치되어 있지 않다.
- [0192] 이 장치에는 검출기(20) 및 이차 전자 검출기(19)와, 특성 X선(121)을 검출하는 X선 검출기인 제2 검출기(210)가 설치되어 있다. 제1 검출기(19, 20)는 상술한 제2 실시형태와 마찬가지로, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 대해 입사하는 측에 배치되어 있다. 이차 전자 검출기(19)는 예를 들면, 신틸레이터(19a)와 라이트 가이드(19b)와 콜렉터 전극(19c)을 갖고 있다. 신틸레이터(19a)의 전위는 예를 들면 10kV 정도로 유지된다. 콜렉터 전극(19c)의 전위는 예를 들면 -50V 내지 300V 정도의 범위로 유지된다. 이로써, 시료(23)로부터 방출된 이차 전자(21a)가 신틸레이터(19a)에 입사한다.
- [0193] 제2 검출기(210)의 선단부 근방에는 X선 검출 소자(220)가 배치되어 있다. 제2 검출기(210)의 내부에는, X선 검출 소자(220)를 냉각하는 냉각부(211)이 설치되어 있다. 제2 검출기(210)의 선단부에는 콜리메이터(214) 및 X선 투과창(220a)이 설치되어 있다. 시료(23)로부터 방출되는 특성 X선(121)은 콜리메이터(214) 및 X선 투과창(220a)으로부터 제2 검출기(210)에 입사한다. 입사한 특성 X선(121)은 X선 검출 소자(220)로 검출된다.
- [0194] 도 11에 도시된 장치에서는 제2 대물 렌즈(26)를 사용하여 일차 전자선(12)이 집속된다. 그 때문에, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 대해 입사하는 측에 대물 렌즈를 배치하지 않아도, 높은 분해능으로 시료(23)를 관찰할 수 있다. 이로써, 높은 분해능으로의 관찰을 가능하게 하면서, 제1 검출기(19, 20)를 시료(23)로부터 비교적 이격된 위치에 배치할 수 있다. 따라서, EDX 분석을 수행하는 것에 보다 바람직한 위치에, 제2 검출기(210)를 배치할 수 있다. 구체적으로는, 시료(23)에 가까운 위치에, 검출 입체각이 커지는 듯한 자세로 제2 검출기(210)를 배치할 수 있으며, 제2 검출기(210)의 검출 효율을 높게 할 수 있다.
- [0195] 또한, 도 11에 도시된 장치의 구성예에 있어서, 도 11에 이점 쇄선으로 나타난 바와 같이, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 대해 입사하는 측에도 대물 렌즈를 배치하여도 좋다. 이와 같이 상측 장치에 대물 렌즈가 배치되어 있어도, 제2 대물 렌즈(26)를 사용함으로써, 상기와 동일한 효과를 얻을 수 있다. 즉, 높은 해상도로 시료(23)을 관찰할 수 있도록 하면서, 보다 이상적인 위치에 제2 검출기(210)를 배치하여 EDX 분석을 할 수 있게 된다.
- [0196] 도 12는 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도이다
- [0197] 도 12에 도시된 SEM을 통해, 도 11에 도시된 것과 마찬가지로, 상부 장치(51)나 제2 대물 렌즈(26)나 제1 검출기(19, 20)가 설치되어 있다. 이 SEM에서는 상술한 EDX 분석 장치 대신에, 제2 검출기(310)가 부대 장치로서 장착되어 있다. 제2 검출기(310)는 캐소드 루미네센스(CL이라고 하는 일도 있다)를 검출한다. 이 SEM에서는 신호 전자(21)을 검출하는 것에 의한 시료(23)의 관찰과 동시에, CL을 이용한 시료(23) 분석을 수행할 수 있다. 즉, 제2 검출기(310)는 제1 검출기(19, 20)에 의한 신호 전자(21)의 검출을 방해하지 않도록 배치되어 있으며, 신호

전자(21)의 검출과 CL의 검출은 동시에(병행하여) 수행할 수 있는데, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0198] 제2 검출기(310)는 타원경(광학소자의 일 예)(320)과, 검출기 본체(310a)에 장착된 광섬유(311)를 가지고 있다. 타원경(320)은 검출기(20)와 제2 대물 렌즈(26) 사이의 위치이며, 일차 전자선(12)의 통과 경로상에 배치되어 있다. 즉, 타원경(320)은 제1 검출기(19, 20)보다도 시료(23) 근처에 배치되어 있다. 타원경(320)에는 일차 전자선(12)이나 신호 전자(21)가 통과하는 구멍부가 형성되어 있다. 시료(23)로부터 방출되거나 반사되거나 한 신호 전자(21)는 구멍부를 통해 빠져나와 제1 검출기(19, 20)에 입사한다.
- [0199] 일차 전자선(12)이 입사함으로써 시료(23)로부터 방출된 CL(321)은 제2 검출기(310)의 일부인 타원경(320)에 입사한다. 즉, 제2 검출기(310)의 일부에 CL(321)이 입사하는 위치는 제1 검출기(19, 20)에 신호 전자(21)가 입사하는 위치보다도, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 입사하는 입사 위치에 가깝게 되어 있다.
- [0200] 타원경(320)의 경면(320b)은 시료(23)로부터 방출된 빛을 광섬유(311)의 선단부에 집광하는 듯한 형상을 가지고 있다. 제2 검출기(310)에 입사한 CL(321)은 경면(320b)에서 반사되어 광섬유(311)에 집광되어, 광섬유(311)에 의해 검출기 본체(310a)로 인도된다. 이로써, 제2 검출기(310)에 의해 CL(321)이 검출되어, 제2 검출기(310)를 이용한 CL에 의한 분석이 이루어진다.
- [0201] 이와 같이, 도 12에 도시된 장치에서는 검출기(20)와 제2 대물 렌즈(26) 사이의 일차 전자선(12)의 통과 경로상에 타원경(320)을 배치할 수 있다. 그 때문에, 캐소드 루미네센스(321)의 집광을 효율적으로 수행할 수 있다. 따라서, 높은 분해능으로의 시료(23) 관찰을 가능하게 하면서, 높은 감도로의 CL에 의한 분석을 수행할 수 있다. 또한, 여유를 가지고, 타원경(320)을 배치가능한, 시료(23)와 검출기(20) 사이의 공간을 취할 수 있다. 따라서, 타원경(320)과 시료(23)간의 간격을 충분히 확보할 수 있어, 시료(23)가 타원경(320)에 접촉하는 것을 방지할 수 있다.
- [0202] 도 13은 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도이다.
- [0203] 도 13에는 도 12에 도시된 SEM의 변형예가 나타나 있다. 즉, 도 13에 도시된 SEM에서는 도 12에 도시된 것과 마찬가지로, 상부 장치(51)나 제2 대물 렌즈(26)나 제1 검출기(19, 20)가 마련되어 있다. 이 SEM에서는 상기 제2 검출기(310)와 마찬가지로, CL(321)을 검출하는 제2 검출기(410)가 부대 장치로서 장착되어 있다. 이 SEM에서는 리타딩이 이루어진다.
- [0204] 제2 검출기(410)는 포물면경(광학소자의 일 예)(420)과 검출기 본체(310a)와 광학 렌즈(411)를 가지고 있다. 포물면경(420)의 경면(420b)은 시료(23)로부터 CL(321)이 방출되는 점을 초점으로 하는 곡면 형상을 가지고 있다. 경면(420b)에 입사한 CL(321)은 평행광이 되어 광학 렌즈(411)에 입사한다. CL(321)은 광학 렌즈(411)에서 굴절하여 집광되며, 검출기 본체(310a)에 입사한다. 이로써, 검출기 본체(310a)에 의해 CL(321)이 효율적으로 검출된다.
- [0205] 포물면경(420)의 하부에는 도전성 판인 전위판(422)이 장착되어 있다. 전위판(422)은 일차 전자선(12)나 신호 전자(21) 등이 통과하는 구멍부를 가지고 있으며, 시료(23)의 근방에 위치하도록 배치되어 있다. 또한, 제2 대물 렌즈(26)의 상부에는 절연판(25), 시료대(24), 절연체(31) 등이 배치되어 있다. 시료대(24)는 리타딩 전원(27)에 접속되어 있으며, 전위판(422)은 전위판 전원(28)에 접속되어 있다. 이러한 구성을 가지고 있음으로써, 이 SEM에서는 상술한 제1 실시형태와 마찬가지로 리타딩이 이루어진다.
- [0206] 이와 같이, 도 13에 도시된 장치에서는 도 12에 도시된 장치에서 얻어지는 효과 이외에, 또한 리타딩이 이루어짐에 따른 효과가 얻어진다. 즉, 조사 전자 에너지를 작게 하여, 1차 전자선(12)의 전자가 시료(23) 안에 파고드는 깊이를 얇게 할 수 있다. 이에 따라, 시료의 표면 형상의 고분해능 관찰이 가능하게 된다. 또한, 전위판(422)을 시료(23)에 근접시킴으로써 수차를 작게 할 수 있으므로, 고분해능이면서 낮은 가속의 SEM을 실현할 수 있다. 제2 대물 렌즈(26)와 시료대(24) 사이에 절연판(25)이 설치되어 있기 때문에, 내전압이 상승하여, 제2 대물 렌즈(26)에 의한 자기장을 강하게 하면서 안정적으로 사용할 수 있다.
- [0207] 도 12 및 도 13에 도시된 SEM에서, 타원경(320)이나 포물면경(420), 및 CL(321)이 입사하는 광학 부품 등의 위치는 미세조정 가능하다. 예를 들면, 도 9에 도시된 바와 같이, 타원경(320)이나 포물면경(420) 등이 대기부로부터 지지홀딩되어 있어, 대기부로부터 타원경(320)이나 포물면경(420) 등의 위치를 변경할 수 있다.
- [0208] 또한, 타원경(320)이나 포물면경(420)에 형성되어 있는 일차 전자선(12) 등이 통과하는 구멍부의 크기는 적절하게 설정된다. 즉, 구멍부가 비교적 작으면, 반사 전자(21b)의 통과량은 적게 되지만, CL(321)의 광량은 증가한다. 한편, 구멍부가 비교적 크면, CL(321)의 광량은 적어지지만, 반사 전자(21b)의 통과량은 많아진다.

- [0209] 도 14는 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도이다.
- [0210] 도 14에 도시된 SEM에서는 도 11에 도시된 것과 마찬가지로, 상부 장치(51)나 제2 대물 렌즈(26)나 제1 검출기(19, 20)가 마련되어 있다. 이 SEM에서는 상술한 EDX 분석 장치 대신에, 제2 검출기(510)가 부대장치로서 장착되어 있다. 제2 검출기(510)는 광학 현미경으로서의 기능을 실현하는 것이다. 이 SEM에서는 신호 전자(21)를 검출하는 것에 의한 시료(23)의 관찰에 따라, 광학적으로 시료(23)을 관찰할 수 있다. 제2 검출기(510)는 제1 검출기(19, 20)에 의한 신호 전자(21)의 검출을 방해하지 않도록 배치되어 있어, 신호 전자(21)을 검출하는 것에 의한 시료(23)의 관찰과 광학적인 관찰은 동시에 수행할 수 있는데, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0211] 제2 검출기(510)는 광학 현미경의 일 예로, 형광 관찰용 구성이다. 제2 검출기(510)는 광학 검출부(510a), 광원(511), 조사 렌즈(512), 여기 필터(513), 광학 대물 렌즈(514), 다이크로익 미러(515), 흡수 필터(516), 및 결상 렌즈(517)를 가지고 있다. 또한, 제2 검출기(510)는 반사 미러(광학소자의 일 예)(520)를 가지고 있다. 반사 미러(520)는 검출기(20)와 제2 대물 렌즈(26) 사이의 일차 전자선(12)의 통과 경로상에 배치되어 있다. 즉, 반사 미러(520)는 제1 검출기(19, 20)보다 시료(23) 근처에 배치되어 있다. 반사 미러(520)에는, 일차 전자선(12)이나 신호 전자(21)가 통과하는 구멍부가 형성되어 있다. 시료(23)로부터 방출되거나 반사되거나 한 신호 전자(21)는 구멍부를 통해 빠져 나와 제1 검출기(19, 20)에 입사한다.
- [0212] 광원(511)으로부터 출사된 빛은 조사 렌즈(512) 및 여기 필터(513)를 통과하여, 다이크로익 미러(515)에 의해 반사된다. 그리고, 광학 렌즈(514)를 통해 반사 미러(520)보다 시료(23)에 조사된다. 시료(23)로부터 방출(발광, 형광 또는 반사)된 방출광(521)은 제2 검출기(510)의 일부인 반사 미러(520)에 입사한다. 즉, 제2 검출기(510)의 일부에 방출광(521)이 입사하는 위치는 제1 검출기(19, 20)에 신호 전자(21)가 입사하는 위치보다도, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 입사하는 입사 위치에 가깝게 되어 있다. 또한, 방출광(521)은 형광 현상 등에 의해 시료(23)로부터 발광된 방출광 외(형광 관찰이 이루어지는 경우), 가시광선 등이 시료(23)에서 반사된 반사광이어도 좋으며(일반적인 가시광 등을 이용한 관찰이 이루어지는 경우), 이하에서는 그들을 구별하지 않고 방출광(521)이라고 부른다.
- [0213] 반사 미러(520)에 입사한 방출광(521)이 반사되면, 방출광(521)이 광학 렌즈(514), 다이크로익 미러(515) 및 흡수 필터(516)를 이 순서대로 투과한다. 그리고, 방출광(521)은 결상 렌즈(517)를 통해 광학 검출부(510a)에 결상된다. 이로써, 광학 검출부(510a)에 의해 방출광(521)이 검출된다.
- [0214] 이와 같이, 이 SEM에서는 검출기(20)와 제2 대물 렌즈(26) 사이의 일차 전자선(12)의 통과 경로상에, 제2 검출기(510)의 반사 미러(520)를 배치할 수 있다. 따라서, 높은 분해능으로의 시료(23)의 관찰을 가능하게 하면서, 광학 현미경을 이용한 관찰을 효율적으로 수행할 수 있게 된다. 또한, 반사 미러(520)를 배치하기 위한, 시료(23)와 검출기(20) 사이의 공간을 여유를 가지고 취할 수 있다. 따라서, 반사 미러(520)와 시료(23)의 간격을 충분히 확보할 수 있어, 시료(23)가 반사 미러(520)에 접촉하는 것을 방지할 수 있다. 또한, 도 13에 도시된 것과 마찬가지로, 리타딩을 수행할 수도 있다.
- [0215] 또한, 제2 검출기(510)는 광학 현미경의 일 예인 형광 관찰용 구성에 한정되는 것이 아니라, 공초점 레이저 현미경 등의 다양한 광학계를 사용할 수도 있다. 또한, 이러한 반사 광학계를 사용하지 않고, 시료(23)의 위쪽에 직접 마이크로스코프 등을 배치하여, 시료(23)를 광학적으로 관찰하도록 하여도 좋다. 이 경우에도, 시료(23)와 검출기(20) 사이의 공간에, 마이크로스코프 등을, 높은 감도로 관찰하기 위해 보다 이상적인 자세로 시료(23)에 대해 배치할 수 있다. 따라서, 높은 분해능으로의 시료(23) 관찰을 가능하게 하면서, 광학적인 관찰을 효율적으로 수행할 수 있게 된다.
- [0216] 또한, 제2 대물 렌즈(26)측의 시료(23)의 하방에 광원을 배치하여도 좋다. 이 경우, 아래쪽으로부터 조사되어 시료(23)를 투과한(시료(23)로부터 방출된) 빛이 반사 미러(520)에 입사하여, 광학 검출부(510a)에 의해 검출되도록 하면 된다.
- [0217] 도 14에 도시된 SEM에서, 반사 미러(520)나 빛이 통과하는 광학 부품 등의 위치는 미세조정 가능하다. 예를 들면, 도 9에 도시된 바와 같이 반사 미러(520)나 광학 부품 등이 대기부로부터 지지홀딩되어 있으며, 대기부로부터 그들의 위치를 변경할 수 있다.
- [0218] 또한, 반사 미러(520)에 형성되어 있는 일차 전자선(12) 등이 통과하는 구멍부의 크기는 적절하게 설정된다. 즉, 구멍부가 비교적 작으면, 반사 전자(21b)의 통과량은 적게 되지만, 방출광(521)의 광량은 증가한다. 다른 한편, 구멍부가 비교적 크면, 방출광(521)의 광량은 적어지지만, 반사 전자(21b)의 통과량은 많아진다.

- [0219] 도 15는 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도이다.
- [0220] 도 15에 도시된 SEM에서는 도 11에 도시된 것과 마찬가지로, 상부 장치(51)나 제2 대물 렌즈(26)나 제1 검출기(19, 20)가 마련되어 있다. 이 SEM에서는 상술한 EDX 분석장치 대신에, 제2 검출기(610)가 부대장치로서 장착되어 있다. 제2 검출기(610)는 파장 분산 X선 분광기(WDX)이다. 이 SEM에서는 신호 전자(21)를 검출하는 것에 의한 시료(23)의 관찰에 따라, WDX에 의한 시료(23) 분석을 수행할 수 있다. 제2 검출기(610)는 제1 검출기(19, 20)에 의한 신호 전자(21)의 검출을 방해하지 않도록 배치되어 있으며, 신호 전자(21)를 검출하는 것에 의한 시료(23)의 관찰과, WDX에 의한 시료(23) 분석은 동시에 수행할 수 있는데, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0221] 제2 검출기(610)는 X선 검출기(610a)와, 시료(23)로부터 방출되는 X선(621)이 입사하는 분광 결정(620)을 가지고 있다. X선 검출기(610a)는 분광 결정(620)에 의해 회절된 X선(621)이 입사하도록, 롤런드 원(Roland circle)(618)을 따라 이동한다. 분광 결정(620)의 시료(23)로부터의 거리는 X선(621)의 일정한 테이크오프각( $\alpha$ )를 유지한 채 변경된다. 분광 결정(620)은 제1 검출기(19, 20)보다도 시료(23) 근처에 위치할 수 있다. 분광 결정(620)은 제1 검출기(19, 20)보다도 시료(23)로부터 떨어뜨려 위치할 수도 있다. 또한, X선 검출기(610a)는 분광 결정(620)에 의해 회절된 X선(621)이 입사하도록 롤런드 원(618)을 따라 이동하는 것에 한정되는 것은 아니다. 또한, 제2 검출기(610)의 일부인 분광 결정(620)에 X선(621)이 입사하는 위치는 제1 검출기(19, 20)에 신호 전자(21)가 입사하는 위치보다도, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 입사되는 입사 위치로부터 떨어져 있어도 좋다.
- [0222] 도 15에 도시된 SEM에서도, 제2 대물 렌즈(26)가 사용되고 있으므로, 높은 분해능으로의 시료(23) 관찰을 가능하게 하면서, WDX에 의한 분석을 수행할 수 있다. 또한, 분광 결정(620)을 배치할 수 있는, 시료(23)와 검출기(20) 사이의 공간을 여유 있게 취할 수 있다. 그 때문에, X선(621) 테이크오프각( $\alpha$ )를 수평면에 대해 크게 취할 수 있다. 따라서, 시료(23) 상의 미세한 영역에서 나온 X선(521)을 효율적으로 도입할 수 있으며, WDX에 의한 분석을 고감도, 고분해능으로 수행할 수 있다.
- [0223] 또한, 도 15에 도시된 SEM에서, 제2 검출기(610)에, X선(621)을 도입하여 평행빔 형태로 꺼내는 폴리모세관(Polycapillary)(광학소자의 일 예; 도 15에 도시되어 있다)(617)이 마련되어 있어도 좋다. 이 때, X선(621)은 폴리모세관(617)에 입사하고, 평행빔이 되어 폴리모세관(617)으로부터 분광 결정(620)으로 출사된다. 폴리모세관(617)의 선단부를 시료(23) 근처에 배치할 수 있기 때문에, 많은 X선(621)을 평행빔 형태로 꺼내어, 분광 결정(620)에 입사되는 X선(621)의 강도를 크게 할 수 있다. 따라서, WDX에 의한 분석을 보다 고감도로 수행할 수 있다.
- [0224] 또한, 도 15의 SEM에서는 폴리모세관(617)을 마련하고 있는데, 폴리모세관(617) 대신에, 집광 미러, 회절 격자 등의 다양한 타입의 광학소자를 설치하여도 좋다. 제2 검출기(610)는 세로형 WDX 또는 가로형 WDX 중 어느 것이어도 좋다. 시료(23), 폴리모세관(617) 및 X선 검출기(610a)는 롤런드 원(618)을 따라 이동하는 것에 한정되는 것은 아니다. X선 검출기(610a)는 CCD 카메라와 같이 2차원적인 것으로 분광된 것을 검출하는 것이어도 좋다.
- [0225] 도 15에 도시된 SEM에서, 제2 검출기(610)의 위치는 미세조정 가능하다. 예를 들면, 도 9에 도시된 바와 같이 제2 검출기(610)를 구성하는 부재가 대기부로부터 지지홀딩되어 있어, 대기부로부터 제2 검출기(610)의 위치를 변경할 수 있다.
- [0226] 도 16은 제 4 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 다른 변형예를 나타낸 단면도이다.
- [0227] 도 16에는 EDX 분석용 제2 검출기(210)와 함께, WDX 분석용 제2 검출기(610)가 부대장치로서 마련되어 있는 SEM의 변형예가 나타나 있다. 또한, SEM에서는 리타딩이 이루어진다. 도 16에 도시된 SEM에서는 도 11에 도시된 것과 마찬가지로, 상부 장치(51)나 제2 대물 렌즈(26)나 제1 검출기(19, 20)가 마련되어 있다.
- [0228] WDX 분석용 제2 검출기(610)는 상술한 도 15에 도시된 것과 마찬가지로 구성되어 있다. 제2 검출기(610)는 폴리모세관(617)을 사용한 것으로, WDX에 의한 분석을 보다 고감도로 수행할 수 있다.
- [0229] EDX 분석용 제2 검출기(210)는 상술한 도 11에 도시된 것과 마찬가지로 구성되어 있다. 도 16에 도시된 예에서, 제2 검출기(210)의 선단부에는, 리타딩에 사용되는 전위판(422)이 마련되어 있다. 전위판(422)은 제2 검출기(210)의 케이스에 장착된 전위판 고정부(218)를 통해 시료(23) 근방에 위치하도록 배치되어 있다.
- [0230] 전위판(422)은 일차 전자선(12)이나 신호 전자(21) 등이 통과하는 구멍부를 가지고 있으며, 시료(23)의 근방에 위치하도록 배치되어 있다. 구멍부는 시료(23)로부터 출사되는 특성 X선(121)이 제2 검출기(210)의 폴리메이터(214) 및 X선 투과창(220a)에 입사할 만한 위치에 배치되어 있다. 또한, 제2 대물 렌즈(26)의 상부에는 절연판



(25), 시료대(24), 절연재(31) 등이 배치되어 있다. 시료대(24)는 리타딩 전원(27)에 접속되어 있으며, 전위판(422)은 전위판 전원(28)에 접속되어 있다. 이러한 구성을 가지고 있으므로, 이 SEM에서는 상술한 제1 실시형태와 마찬가지로 리타딩이 이루어진다.

- [0231] 이와 같이, 도 16에 도시된 장치에서는 각 제2 검출기(210, 610)를 시료(23)에 근접시킬 수 있기 때문에, EDX 분석 및 WDX 분석의 검출 효율을 높이면서, 높은 해상도로 시료(23)를 관찰할 수 있다. 또한, 리타딩이 이루어짐에 따른 효과가 얻어지며, 조사 전자 에너지를 작게 하여, 일차 전자선(12)의 전자가 시료(23) 속으로 파고드는 깊이를 알게 할 수 있다. 이로써, 시료의 표면 형상의 고분해능 관찰이 가능하게 된다. 또한, 전위판(422)을 시료(23)에 근접시킴으로써 수차를 작게 할 수 있으므로, 고해상도이면서 가속이 낮은 SEM을 실현할 수 있다.
- [0232] 도 16에 도시된 SEM에서, EDX 분석용 제2 검출기(210)나 WDX 분석용 제2 검출기(610)를 구성하는 부재 등의 위치는 미세조정 가능하다. 전위판(422)은 EDX 분석용 제2 검출기(210)와는 접속되지 않고 독립적으로 움직일 수 있게 하여도 좋다.
- [0233] 또한, 전위판(422)은 WDX 분석용 제2 검출기(610)측에 장착되어 있어도 좋다. 예를 들면, 폴리모세관(617)의 선단부 근방에 전위판(422)이 장착되어 있어도 좋다. 또한, 전위판(422)은 폴리모세관(617)과는 접속되지 않고 독립적으로 움직일 수 있게 하여도 좋다.
- [0234] 여기에서, 전위판(422)에 전자나 X선이 닿으면, 형광 X선이 출사된다. 그러면, EDX 분석이나 WDX 분석을 수행할 때, 시료(23)로부터 출사된 X선과 전위판(422)으로부터 출사된 X선이 함께 분석된다. 이 전위판(422)으로부터 출사되는 X선이 분석 결과에 미치는 영향을 줄이기 위해, 전위판(422)은 경(輕)원소의 박막(예를 들면, 베릴륨 박막, 유기 박막, 실리콘 나이트라이드 박막 등인데, 이에 제한되지 않는다)인 것이 바람직하다. 전위판(422)이 경원소의 박막으로 구성될 경우에는 X선이 전위판(422)을 통과하기 쉬워진다. 또한, 전위판(422)이 경원소의 박막으로 구성되는 경우에는 전위판(422)의 구멍부가 작은 경우일지라도, X선이 전위판(422)을 통과하여 검출기에 입사하기 쉬워진다.
- [0235] 또한, 전위판(422)으로부터 출사되는 X선이 분석 결과에 미치는 영향을 줄이기 위해, 전위판(422)의 재료로서, 예를 들면 분석 대상의 시료(23)와는 검출 피크가 다른 조성의 재료가 사용되게 하여도 좋다. 이로써, 분석 결과에서 전위판(422)의 영향을 제거하기 쉬워진다.
- [0236] 또한, 도 12 내지 도 16에 도시된 장치에 있어서도, 도 11에 도시된 장치에 대해 서술한 것과 마찬가지로, 일차 전자선(12)이 시료(23)에 대해 입사하는 측의 대물 렌즈가 설치되어 있어도 좋다. 또한, 도 14에 도시된 바와 같이 SEM에서, 다른 예와 마찬가지로 전위판(422)이 마련되어, 리타딩이 이루어지고 있어도 좋다.
- [0237] 또한, 제 4 실시형태에서는 도 16에 도시된 바와 같은 예에 한정되지 않고, 이상과 같은 구체적인 예 각각에 사용되는 검출기를 적절히 조합하여 하나의 장치로 배치하도록 하여도 좋다. 예를 들면, 도 11에 도시된 바와 같은 X선 검출기인 제2 검출기(210)와, 도 14에 도시된 바와 같은 광학 현미경인 제2 검출기(510)가 양쪽 모두 설치되어 있어도 좋다. 이로써, 다양한 관찰, 분석을 수행할 수 있으며, 또한 신호 전자(21)를 검출하는 것에 의한 관찰을 높은 분해능으로 수행할 수 있다.
- [0238] [제5 실시형태]
- [0239] 이어, 제5 실시형태에서의 SEM(하전 입자 장치의 일 예)의 장치 구성에 대해 설명한다. 이하의 설명에서, 상술한 실시형태와 동일한 구성(각 구성의 변형예도 포함한다)은 상기와 동일한 부호를 붙이고, 그들 구성에 대한 상세한 설명에 대해서는 생략한다.
- [0240] 상기의 제1 실시 형태의 대략적인 구성은 다음과 같이 제5 실시형태에서도 마찬가지이다. 상부 장치(51)에는 전자원(11)으로부터 제1 대물 렌즈(18)까지의 구성이 배치되어 있다. 상부 장치(51)로부터 시료(23)을 향해 일차 전자선(12)이 사출된다. 하부 장치(52)에는 제2 대물 렌즈(26)가 배치되어 있다. 하부 장치(52)에 시료(23)가 지지홀딩된다. 이차 전자 검출기(19) 및 검출기(20)도 마찬가지로 설치된다. 이차 전자 검출기(19)는 이차 전자(21a)를 검출하기 위해 마련된다.
- [0241] 도 17은 본 발명의 제 5 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 일 예를 나타낸 단면도이다.
- [0242] 도 17에 도시된 SEM에서는 도 1에 도시된 것과 마찬가지로, 상부 장치(51)나 제2 대물 렌즈(26)나 이차 전자 검출기(19)나 전위판(22) 등이 마련되어 있다. 이 SEM에서는 리타딩이 이루어진다. 이와 같이, 제 5 실시형태에 있어, SEM은 기본적으로는 도 1에 도시된 것과 동일한 구성을 가지고 있다. 제 5 실시형태에서, 전위판(22)의 하면(시료(23)측 면)에, 반사 전자(21b)를 검출하는 제1 검출기(720)가 배치되어 있는 점에서 도 1에 도시된 것

과는 다르다.

- [0243] 제1 검출기(720)는 일차 전자선(12)이나 이차 전자(21a)가 통과하는 구멍부(720a)가 형성되어 있다. 제1 검출기(720)로서는 예를 들면, 마이크로 채널 플레이트나 로빈슨 검출기나 반도체 검출기 등이 사용된다.
- [0244] 이와 같이, 도 17에 도시된 장치에서는 비교적 시료(23)에 가까운 위치에 제1 검출기(720)가 배치된다. 입사하는 반사 전자(21b)의 입체각이 크고, 반사 전자(21b)의 검출 감도가 향상되므로, 보다 높은 감도로 시료(23)를 관찰할 수 있다.
- [0245] 도 18은 제 5 실시형태에 따른 SEM의 장치 구성의 일 변형예를 나타낸 단면도이다.
- [0246] 도 18에 도시된 SEM은 도 17에 도시된 것과 기본적으로 동일한 구성을 가지고 있다. 이 SEM에서는 전위판(22)의 하면에, 제1 검출기(720) 외에, 특성 X선(121)을 검출하는 제2 검출기(820)가 마련되어 있다.
- [0247] 제1 검출기(720) 및 제2 검출기(820)는 서로 조합되어 구성된 검출 유닛 형태로 구성되어 있다. 검출 유닛은 예를 들면, 제2 대물 렌즈(26)측에서 본 일부 영역에 제1 검출기(720)가 배치되고, 다른 영역에 제2 검출기(820)가 배치된 것이다. 검출 유닛에는 일차 전자선(12)이나 이차 전자(21a)가 통과하는 구멍부가 형성되어 있다. 또한, 제1 검출기(720)와 제2 검출기(820)는 따로따로 전위판(22)의 하면에 장착되어 있어도 좋다.
- [0248] 따라서, 도 18에 도시된 SEM에서는 비교적 시료(23)에 가까운 위치에 제1 검출기(720)와 제2 검출기(820)가 배치된다. 즉, 제1 검출기(720)에 신호 전자(21)가 입사하는 위치와, 제2 검출기(820)에 특성 X선(121)이 입사하는 위치는 일차 전자선(12)이 시료(23)에 입사하는 입사 위치로부터 동일한 정도로 떨어져 있다. 그 때문에, 각 검출기(720, 820)에 입사하는 반사 전자(21b)나 특성 X선(121)의 입체각이 커진다. 따라서, 제1 검출기(720)에서는 반사 전자(21b)의 검출 감도가 향상되므로, 보다 높은 감도로 시료(23)를 관찰할 수 있다. 또한, 높은 분해능으로 시료(23)를 관찰할 수 있도록 하면서, 제2 검출기(820)에 의해 EDX 분석을 효율적으로 수행할 수 있다. 제2 검출기(820)는 제1 검출기(720)에 의한 반사 전자(21b)의 검출을 방해하지 않도록 배치되어 있으며, 반사 전자(21b)를 검출하는 것에 의한 시료(23)의 관찰 및 EDX 분석은 동시에 수행할 수 있다.
- [0249] 또한, 제2 검출기(820)로서, 다른 종류의 검출기가 마련되어 있어도 좋다. 제 4 실시형태에서 구체적인 예로서 나타나 있는 검출기를 적절히 조합하여 전위판(22)의 상방에 배치하도록 하여도 좋다. 이로써, 다양한 관찰, 분석을 수행할 수 있으며, 또한 신호 전자(21)를 검출하는 것에 의한 관찰을 높은 분해능으로 수행할 수 있다. 또한, 전위판(22)의 상방에 제1 검출기(20)가 배치되어 있어도 좋다.
- [0250] 또한, 제5 실시형태에 있어, 제1 검출기(720)의 구멍부(720a)의 치수는 일차 전자선(12)이 통과할 정도로 작아도 된다. 예를 들면, 구멍부(720a)는 원형의 관통홀로서, 그 직경이 예를 들면 1밀리미터 내지 2밀리미터 정도가 바람직하다. 이와 같이 구멍부(720a)를 작게 함으로써, 반사 전자(21b)의 대부분은 전위판(22)보다 상방으로 통과할 수 없게 된다. 따라서, 이차 전자 검출기(19) 또는 검출기(20)에 입사하는 신호 전자(21)의 대부분이 이차 전자(21a)가 되기 때문에, 반사 전자상(像)과의 혼합이 아닌, 선명한 이차 전자상(像)을 얻을 수 있다.
- [0251] [기타]
- [0252] 본 발명은 상기 실시형태에 따라 기재하였는데, 이 개시의 기술 및 도면은 본 발명을 한정하는 것이라고 이해해서는 안된다. 예를 들어 하전 입자원에서 시료(23)까지의 하전 입자선의 궤도가 도면에서는 직선으로 그려져 있다. 그러나, 에너지 필터 등을 넣으면 궤도가 구부러진다. 하전 입자선의 궤도가 휘어 있는 경우도 있다. 이러한 경우에도, 특허 청구 범위에 기재된 기술적 범위 내에 포함된다. 또한, 제2 검출기(110)(또는 210, 310, 410, 510, 610, 820)를 사용할 경우, 제1 검출기(20)를 제1의 대물 렌즈(18)의 내부에 배치하거나, 제1 대물 렌즈(18)보다도 전자원(11)에 가까운 위치에 배치하는 것도 가능하다. 또한, 이온 빔 현미경으로는 음이온 하전 입자의 경우, 전자와 마찬가지로의 사고방식을 취할 수 있고, 제1 실시형태, 제4 실시형태 또는 제5 실시형태와 동일하게 적용할 수 있음을 알 수 있다. 이온의 경우, 전자에 비해 질량이 무겁기 때문에, 콘덴서 렌즈(15)를 정전기 렌즈로, 편향 코일(17)을 정전 편향으로, 제1 대물 렌즈(18)를 정전 렌즈로 하여도 좋다. 또한, 대물 렌즈(26)는 자기 렌즈를 사용한다.
- [0253] 또한, He<sup>+</sup> 이온원과 같이 플러스 이온의 하전입자를 사용할 경우에는 이온원의 가속 전원으로서 양의 가속전원(14)을 사용한다. 리타딩을 수행하지 않는 경우에는 제1 실시형태, 제 4 실시형태 또는 제 5 실시형태와 마찬가지로 장치를 구성할 수 있다. 리타딩을 수행할 경우에는 리타딩 전원(27)을 플러스 전원으로 전환하는 것 외에도, 상술한 실시형태와 마찬가지로 장치를 구성할 수 있다. 이 때, 전위판(22) 또는 전위판(422)이 접지 전위이면, 시료(23)로부터 방출된 신호 전자(21)은 음전하이기 때문에, 시료(23)로 되돌아가 버린다. 이 경우, 전위판

(22) 또는 전위판(422)의 전위가 시료(23)의 전위보다도 높아지도록 전위판 전원(28)을 조정하면 된다. 예를 들면, 하전 입자선의 가속 전원(14)을 +7kV으로 하며, 상부 장치(51)를 접지 전위로 하고, 전위판(22) 또는 전위판(422)을 +6kV로 하며, 시료(23)를 +5kV로 하면 된다. 그러면, 전위판(22) 또는 전위판(422)의 위치에 둔 제1 검출기(720)에 의해 신호 전자(21)를 검출할 수가 있다. 또한, 제1 검출기(720)는 전위판(22)의 He<sup>+</sup> 이온원측면에 배치하여도 좋다. 즉, 도 17에 있어서, 제1 검출기(720)의 전위판(22)을 사이에 끼운 전위판(22)의 이면측의 위치이다. 이 경우, 신호 전자(21)가 시료(23)로부터 전위판(22)의 개구부를 통과하여 상부 장치(51)에 접근하는 방향으로 비행한 경우, 상부 장치(51)의 전위가 접지 전위이면, 신호 전자(21)는 전위판(22)의 양 전위로 되돌아간다. 또한, 이차 전자 검출기(19)의 양 전위에 끌리어 검출되는 경우도 있다. 전위판(22)의 양 전위로 되돌아가는 신호 전자를 전위판(22)의 He<sup>+</sup> 이온원측면에 배치된 제1 검출기(720)에 의해 검출하는 것도 가능하다. 또한, 신호 전자 검출과 동시에, 제2 검출기(110)(또는 210, 310, 410, 510, 610, 820)에 의해 전자파를 검출하는 것도 가능하게 된다.

[0254] 또한, 대물 렌즈(제1 대물 렌즈(18) 또는 제2 대물 렌즈(26))가 강한 렌즈(초점거리가 짧은 렌즈)이면, 대물 렌즈의 초점 심도는 얇고, 그로써 초점을 맞출 수 있는 시료(23)의 높이 범위는 좁아진다. 예를 들면, 시료(23)의 표면(관찰되는 면)에 요철 또는 고저차가 있을 경우, 시료(23)의 표면 전체를 초점이 맞는 상태에서 관찰하는 것은 곤란하게 된다. 이는 제2 대물 렌즈(26)를 사용하여 리타딩을 수행할 경우에, 대물 렌즈가 강한 렌즈가 되면 될수록(초점 거리가 짧아지면 질수록) 현저하게 된다.

[0255] 그래서, 화상 전체에 초점이 맞는 화상을 촬영하기 위해, 제어 장치(45) 및 제2 대물 렌즈 전원(42)을 사용하여 제2 대물 렌즈(26)의 강도를 변화시키면 된다. 제2 대물 렌즈(26)의 강도를 변화시킴으로써, 초점 거리를 광축 방향으로 변화시켜, 초점거리 당 화상을 촬영한다. 그리고, 제어 장치(45)를 사용하여, 각 화상에서의 초점이 맞는 부분을 각각 추출하고, 추출된 부분을 합성함으로써, 초점 심도가 깊은 화상을 만들 수 있다(초점 심도 합성 EDF; Extended Depth of Focus).

[0256] 또한, 초점 거리마다 화상을 촬영할 때, 제2 대물 렌즈(26)의 강도로부터 초점 거리를 구할 수 있으므로, 추출된 각 부분의 상대적인 높이를 파악할 수 있다. 이에 따라, 복수의 화상으로부터 3차원 데이터를 구축할 수 있기 때문에, 표시 장치를 이용하여 3차원 화상을 표시하는 것이 가능하게 된다.

[0257] 또한, 신호 전자(21)(이차 전자(21a), 반사 전자(21b))를 검출하는 제1 검출기(19)(또는 20)와는 별개의 제2 검출기(110)(또는, 210, 310, 410, 510, 610, 820)를 사용하여, 시료(23)로부터 방출된 전자파(특성 X선(121), X선(621) 및 CL(321))의 신호도 검출할 수 있다. 제2 대물 렌즈(26)의 강도를 변화시킴으로써, 초점 거리를 광축 방향으로 변화시키고, 그에 따라, 신호 전자(21)(이차 전자(21a), 반사 전자(21b)) 및 전자파의 신호를 초점 거리마다 검출함으로써, 초점 거리마다의 화상을 촬영하는 것이 가능하게 된다. 신호 전자(21)를 이용한 촬영 범위와 전자파 신호를 이용한 촬영 범위는 같은 범위가 된다. 신호 전자(21)를 이용하여 촬영한 화상(제1 화상)의 초점이 맞는 부분(제1 부분)과, 전자파 신호를 이용하여 촬영한 화상(제2 화상)의 초점이 맞는 부분(제2 부분)을 동일 촬영 장소별로 대응시킴으로써, 전자파 신호를 이용한 초점 심도가 깊은 화상을 만들 수 있다.

[0258] 또한, 전자파의 신호 데이터를 기초로 3차원 데이터를 작성하고, 3차원 화상을 표시장치에 재현하는 것이 가능하게 된다. 3차원 데이터로부터 3차원 화상을 표시장치에 재현함으로써, 다양한 관점이나 각도로부터 입체적으로 화상을 관찰, 평가가능하게 됨과 동시에, 원소나 형광 등의 표면의 3차원 관찰이 높은 분해능으로 가능하게 된다. 또한, 신호 전자(21)를 이용한 화상과 전자파 신호를 이용한 화상을 합성하여, 합성 화상을 표시장치에 표시함으로써, 관찰자가 이해하기 쉬운 화상을 만드는 것이 가능하게 된다. 또한, 광학 현미경을 사용하여 촬영된 화상과 신호 전자(21)를 이용한 화상을 합성하여도 좋다.

[0259] 상술한 각 실시형태에서의 각각의 특징점을 적절히 조합하여도 좋다.

[0260] 상기 설명에 의해 본 발명은 하전 입자선 장치인 EPMA, 전자선 묘화 장치 등의 전자 빔 장치, 또는 이온 빔 현미경 등의 이온빔 장치에 용이하게 적용될 수 있음을 이해할 수 있다.

[0261] 상술한 실시형태 및 변형예는, 모든 점에서 예시로서 제한적인 것이 아니라고 이해해야 한다. 본 발명의 범위는 상기한 설명이 아니라 특허 청구 범위에 의해 나타나고, 특허 청구 범위와 균등한 의미 및 범위 내의 모든 변경이 포함되는 것이 의도된다.

[0262] 본 발명의 일 국면에 따르면, 하전 입자선 장치는 하전 입자선을 방출하는 하전 입자원과, 하전 입자원에 접속되어, 하전 입자원으로부터 방출된 하전 입자선을 가속하는 가속 전원과, 하전 입자선을 시료에 집속시키는 대

물 렌즈와, 하전 입자선의 입사에 따라 시료로부터 방출된 전자파 및 시료에서 반사된 전자파 중 적어도 하나가 입사하며, 입사한 전자파를 검출하는 제2 검출기를 구비하고, 대물 렌즈는 시료에 대하여 하전 입자선이 입사하는 측의 반대측에 설치되어 있다.

- [0263] 바람직하게는, 하전 입자선 장치는, 하전 입자선의 입사에 따라 시료로부터 방출된 반사 전자 및 이차 전자의 적어도 하나가 입사하며, 입사한 반사 전자 또는 이차 전자를 검출하는 제1 검출기를 더 포함한다.
- [0264] 바람직하게는, 제2 검출기는, 제1 검출기에 의한 반사 전자 또는 이차 전자의 검출을 방해하지 않도록 배치되어 있으며, 제1 검출기에 의한 반사 전자 또는 이차 전자의 검출과, 제2 검출기에 의한 전자파의 검출은 동시에 수행할 수 있다.
- [0265] 바람직하게는, 제2 검출기의 일부에 전자파가 입사하는 위치는, 제1 검출기에 반사 전자 또는 이차 전자가 입사하는 위치에 비해, 하전 입자선이 시료에 입사하는 입사 위치에 가깝거나, 입사 위치로부터 동일한 정도로 떨어져 있다.
- [0266] 바람직하게는, 하전 입자선은, 하전 입자원을 갖는 상부 장치의 내부를 지나, 최종적으로 상부 장치에 형성된 구멍부를 통해 시료를 향해 방출되며, 제1 검출기는 구멍부의 가장 하부에 장착되어 있다.
- [0267] 바람직하게는, 제1 검출기는, 하전 입자선에 의해 시료로부터 방출되는 이차 전자를 끌어당기는 전계를 생성하고, 이차 전자를 검출하는 이차 전자 검출기이며, 하전 입자원을 가지며 하전 입자선을 방출하는 상부 장치의 측부에 배치되어 있다.
- [0268] 바람직하게는, 하전 입자선은, 하전 입자원을 갖는 상부 장치의 내부를 지나, 최종적으로 상부 장치에 형성된 구멍부를 통해 시료를 향해 방출되며, 제1 검출기는 구멍부보다도 하전 입자원측에 배치되어 있다.
- [0269] 바람직하게는, 하전 입자선 장치는, 시료에 음 전위를 부여하는, 하전 입자선을 감속하기 위한 리타딩 전원을 더 구비한다.
- [0270] 바람직하게는, 시료와 대물 렌즈 사이에는, 시료와 대물 렌즈를 절연하는 절연판이 배치되어 있다.
- [0271] 바람직하게는, 하전 입자선 장치는 시료의 상부에, 구멍부가 있는 전위판을 더 구비하며, 전위판에는 접지 전위, 양 전위, 또는 음 전위가 부여된다.
- [0272] 바람직하게는, 하전 입자선은 양 이온이며, 시료에는 접지 전위 이상의 양 전위가 부여되고 있으며, 전위판에는 시료의 전위와 비교하여 동(同) 전위 또는 높은 전위가 부여되고 있다.
- [0273] 바람직하게는, 제2 검출기는 전위판의 시료측 면에 배치되어 있다.
- [0274] 바람직하게는, 하전 입자선 장치는, 시료의 상부에 배치되며, 구멍부가 있는 전위판을 추가로 구비하고, 제1 검출기는 복수개가 마련되어 있으며, 복수의 제1 검출기 중 하나가 전위판의 시료측 면에 배치되어 있다.
- [0275] 바람직하게는, 제2 검출기는 하전 입자선의 입사에 따라 시료로부터 방출된 X선을 검출한다.
- [0276] 바람직하게는, 제2 검출기는, 시료 근처에 배치된 광학소자를 가지며, 하전 입자선의 입사에 따라 시료로부터 방출되고, 광학소자에 입사한 캐소드 루미네센스를 검출한다.
- [0277] 바람직하게는, 제2 검출기는, 시료 근처에 배치된 광학소자를 가지며, 시료의 표면에 조사되고, 시료의 표면에서 반사 또는 발광되어 광학소자에 입사한 광을 검출한다.
- [0278] 바람직하게는, 광학소자는 타원경, 포물면경, 및 반사경 중 어느 하나이다.
- [0279] 바람직하게는, 제2 검출기는, 하전 입자선의 입사에 따라 시료로부터 방출된 X선을 검출하고, 제2 검출기는, X선이 입사하는 입사부가, 도전성 아암부에 형성된 판상부에 장착되어 있으며, 판상부는, 하전 입자선이 통과하는 개구부를 가지고, 시료의 근방으로서 시료에 대해 하전 입자선이 입사하는 측에 배치되어 있으며, 판상부에는 접지 전위, 양 전위, 또는 음 전위가 부여된다.
- [0280] 바람직하게는, 하전 입자선 장치는, 시료에 대해 하전 입자선이 입사하는 측에 설치된, 대물 렌즈와는 상이한 다른 대물 렌즈를 더 구비하며, 제2 검출기는 대물 렌즈에 의해 하전 입자선을 시료에 집속시키는 경우와, 대물 렌즈와는 상이한 다른 대물 렌즈에 의해 하전 입자선을 시료에 집속시키는 경우의 양쪽 모두에서 검출을 수행할 수 있다.
- [0281] 바람직하게는, 하전 입자선 장치는, 시료에 대해 하전 입자선이 입사하는 측에 설치되어, 시료에 입사하는 하전

입자선의 개방각을 변경하는, 대물 렌즈와는 상이한 다른 대물 렌즈를 더 구비한다.

[0282] 바람직하게는, 제2 검출기의 시료에 대한 위치를 조정할 수 있도록 구성되어 있다.

[0283] 바람직하게는 (i) 상기 대물 렌즈의 초점 거리를 변화시킴으로써, 초점 거리마다, 상기 하전 입자선의 입사에 따라 상기 시료로부터 방출된 반사 전자 또는 이차 전자 신호를 사용한 제1 화상 및 상기 전자파를 이용한 제2 화상을 촬영하며, (ii) 초점 거리마다 촬영된, 각 제1 화상에서 초점이 맞는 제1 부분, 및 그 제1 부분에 대응하는, 각 제2 화상에서 초점이 맞는 제2 부분을, 각 제1 화상 및 각 제2 화상으로부터 각각 추출하고, (iii) 추출된 복수의 제1 부분 및 복수의 제2 부분을 합성하여, 그 합성된 화상을 표시장치에 표시시키는 제어장치를 더 구비한다.

[0284] 본 발명의 다른 국면에 따르면, 주사 전자 현미경은 상술한 어느 하나에 기재된 하전 입자선 장치를 구비한다.

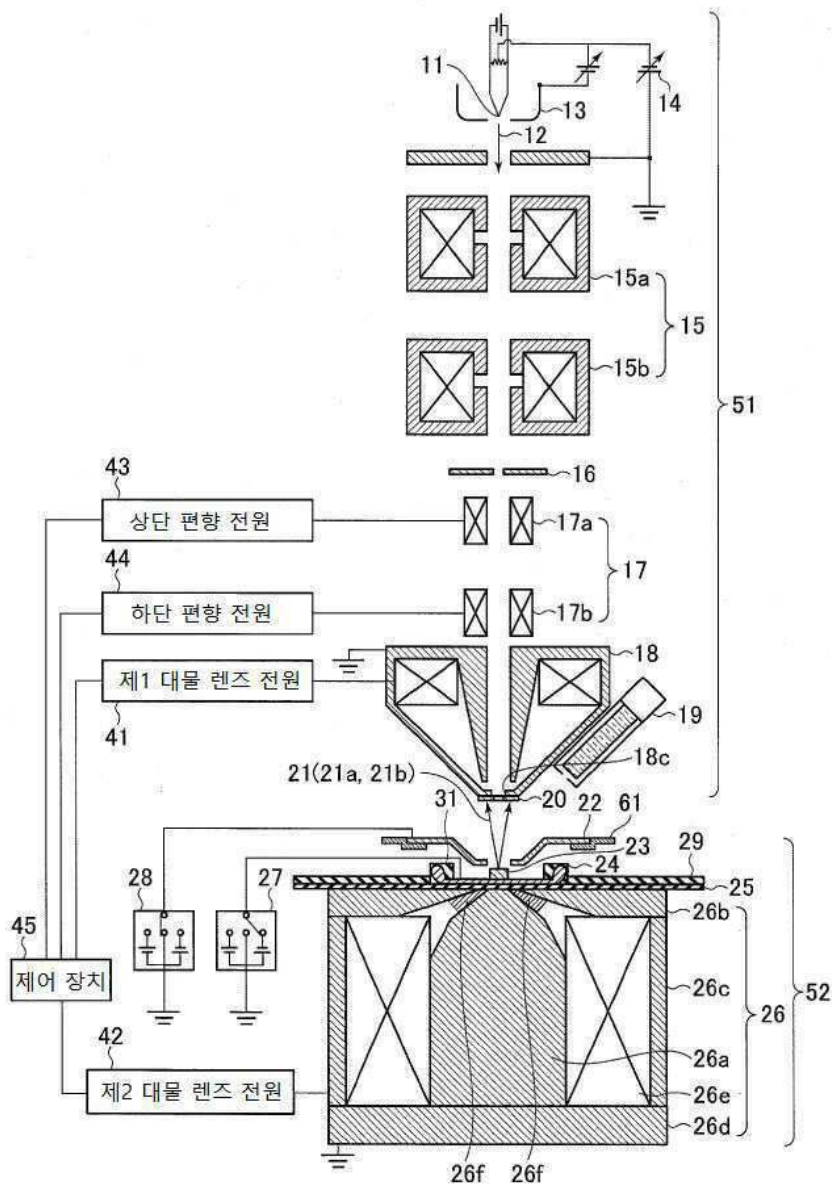
**부호의 설명**

- [0285] 11 : 하전 입자원(전자원)
- 12 : 하전 입자선(1차 전자선)
- 13 : 웨넬트 전극
- 14 : 가속 전원
- 15 : 콘덴서 렌즈
- 15a : 1단계 콘덴서 렌즈
- 15b : 2단계 콘덴서 렌즈
- 16 : 대물 렌즈 조리개
- 17 : 2단 편향 코일
- 17a : 상단 편향 코일
- 17b : 하단 편향 코일
- 18 : 제1 대물 렌즈
- 18a : 내측 자극
- 18b : 외측 자극
- 18c : 구멍부
- 19 : 제1 검출기(이차 전자 검출기)
- 20 : 제1 검출기(반도체 검출기, 로빈슨 검출기 또는 MCP 검출기)
- 21 : 신호 전자
- 21a : 2차 전자
- 21b : 반사 전자
- 22, 422 : 전위판
- 23 : 시료
- 24 : 시료대
- 25 : 절연판
- 26 : 제2 대물 렌즈
- 26a : 중심 자극
- 26b : 상부 자극

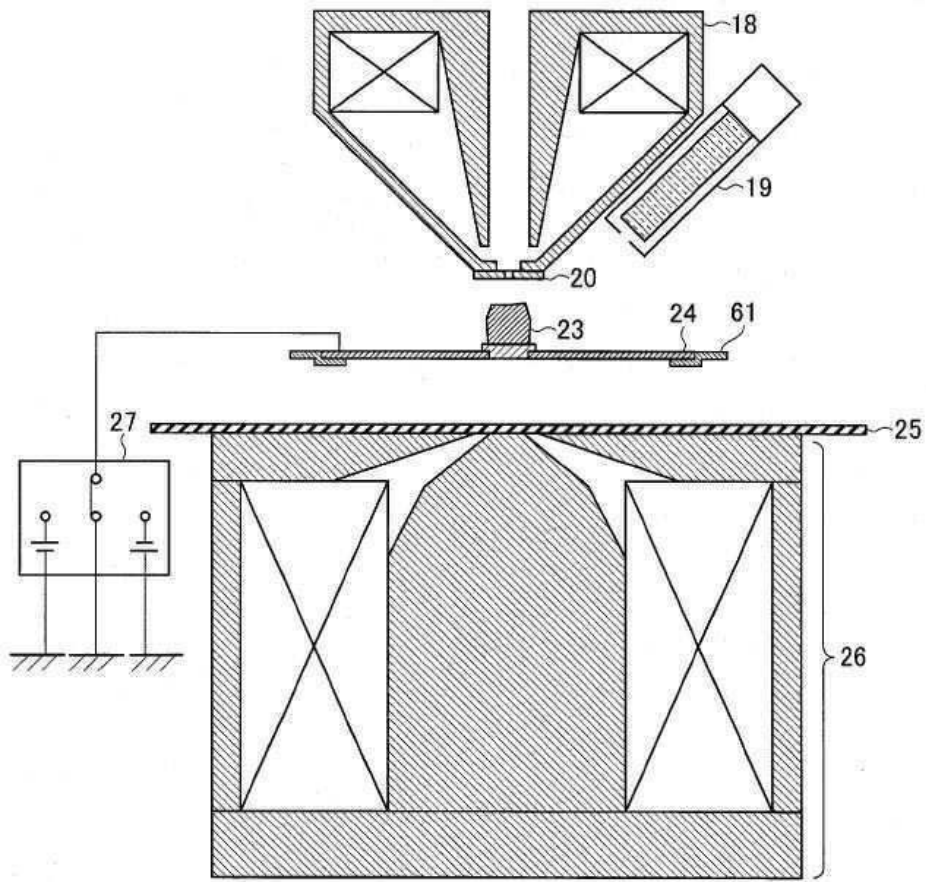
- 26c : 측면 자극
- 26d : 하부 자극
- 26e : 코일부
- 26f : 실링부
- 27 : 리타딩 전원
- 28 : 전위판 전원
- 29 : 시료대 스테이지판
- 30 : 원통 방전방지전극
- 31 : 절연재
- 41 : 제1 대물 렌즈 전원
- 42 : 제2 대물 렌즈 전원
- 43 : 상단 편향 전원
- 44 : 하단 편향 전원
- 45 : 제어 장치
- 51 : 상부 장치
- 52 : 하부 장치
- 61 : XYZ 스테이지
- 110, 210, 310, 410, 510, 610, 820 : 제2 검출기
- 113 : 아암부
- 114 : 관상부
- 121 : 특성 X선(전자파의 일 예)
- 320 : 타원경(광학소자의 일 예)
- 321 : 캐소드 루미네센스(CL; 전자파의 일 예)
- 420 : 포물면경(광학소자의 일 예)
- 520 : 반사 미러(광학소자의 일 예)
- 521 : 방출광(전자파의 일 예)
- 617 : 폴리모세관(광학소자의 일 예)
- 620 : 분광 결정
- 621 : X선(전자파의 일 예)
- 720 : 전위판부에 있는 제1 검출기(반도체 검출기, 로빈슨 검출기 또는 MCP 검출기)
- a1 : X선의 테이크오프각

도면

도면1

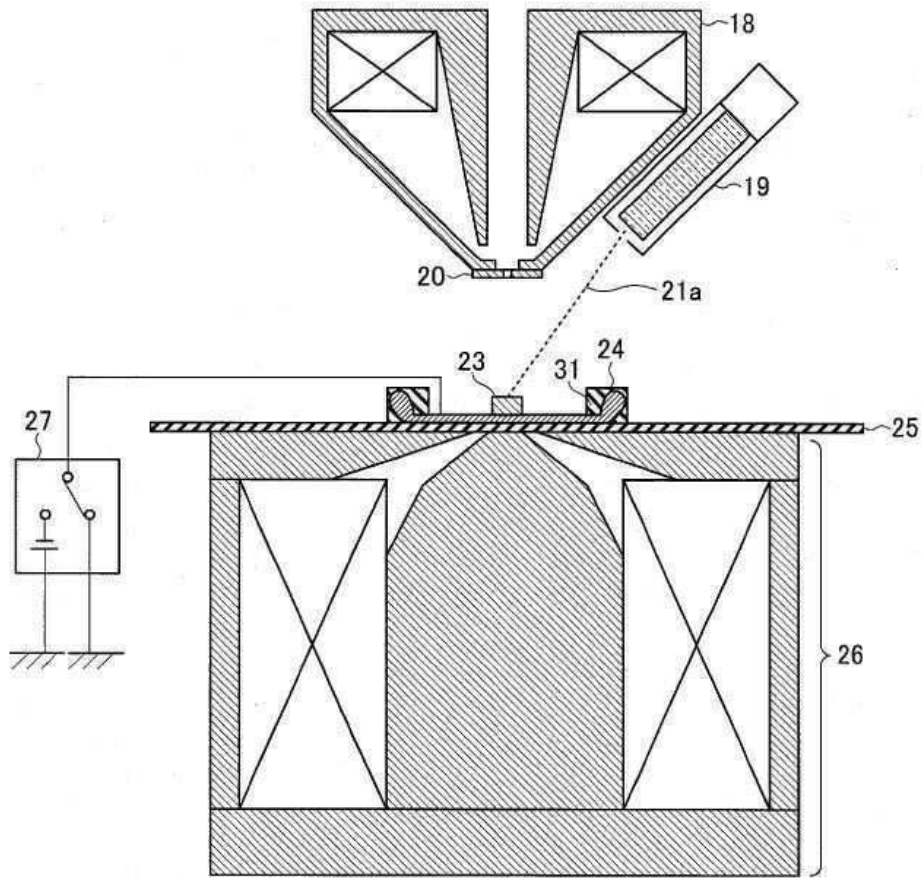


도면2

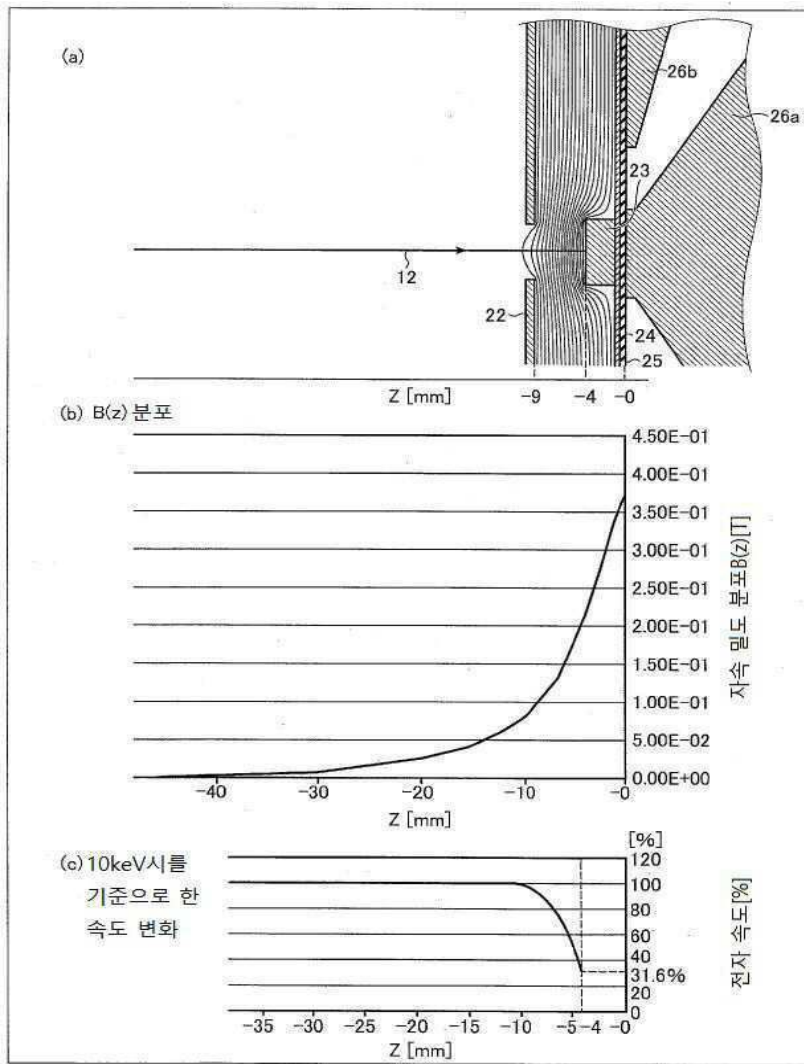




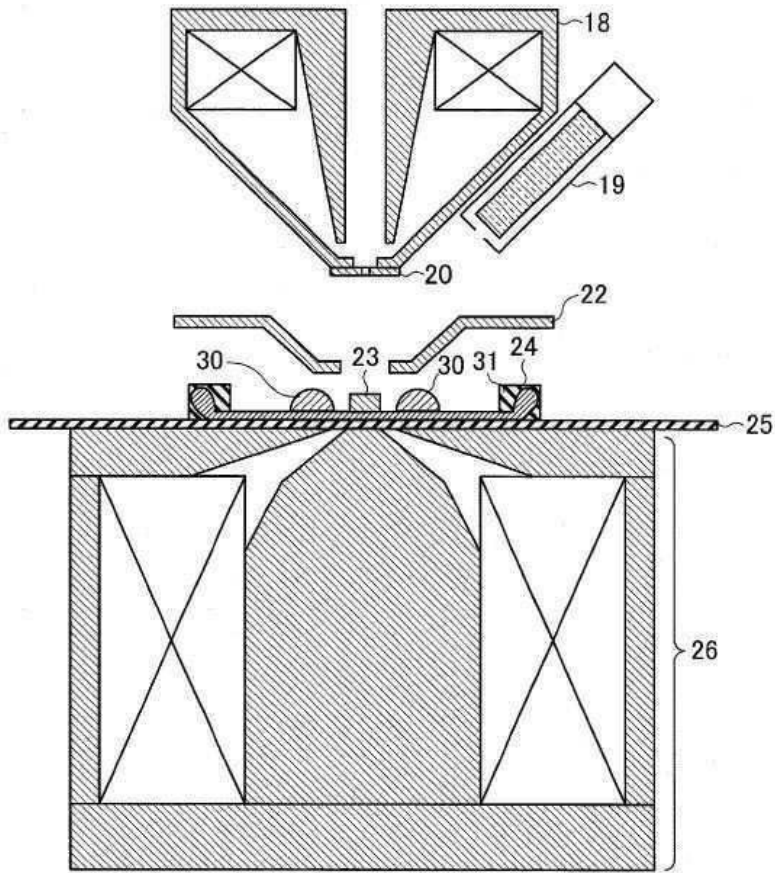
도면3



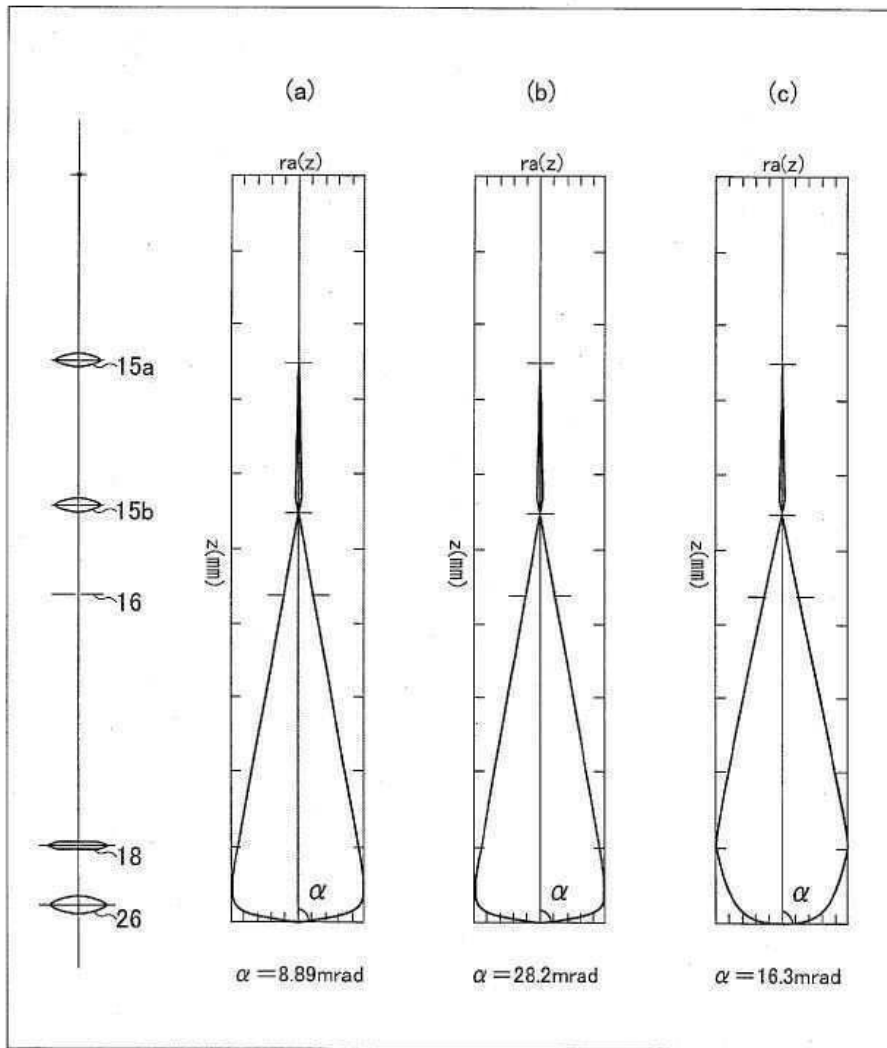
도면4



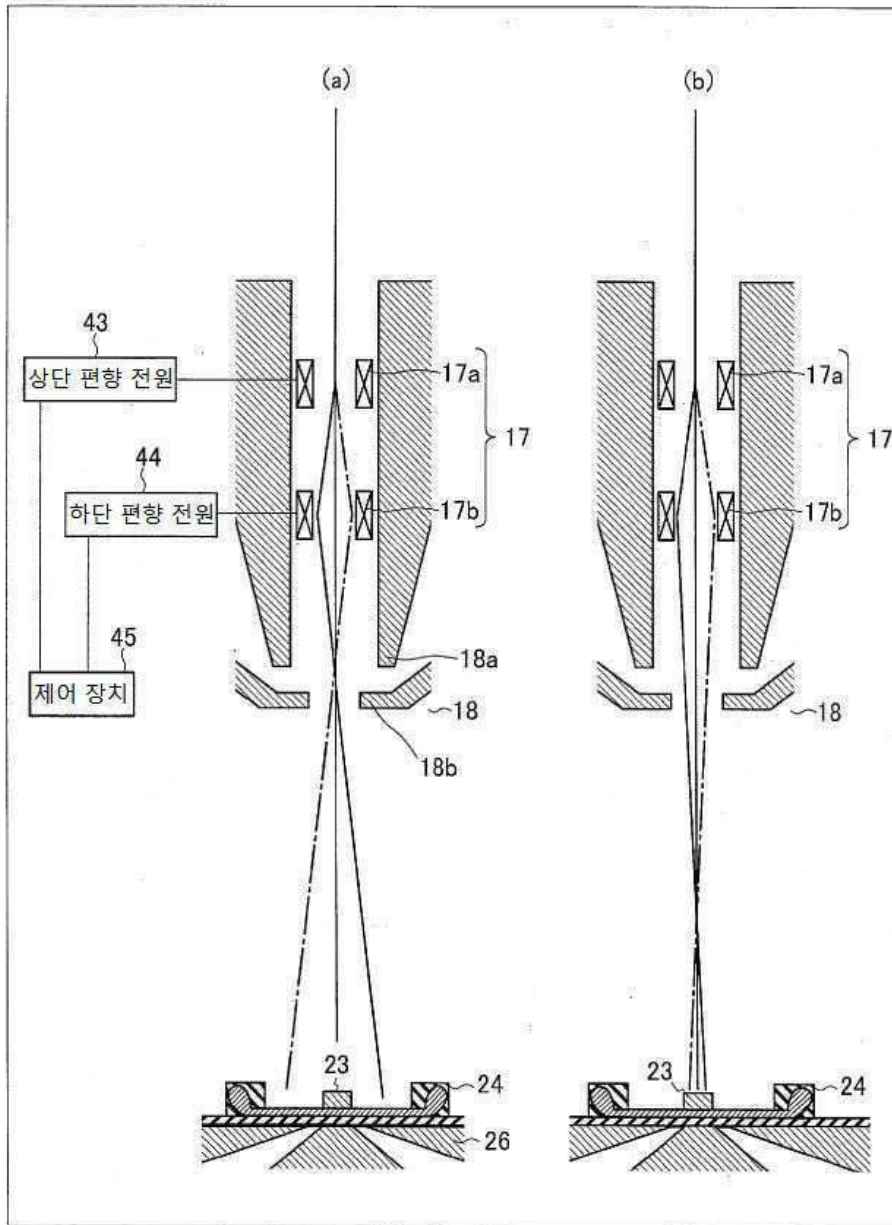
도면5



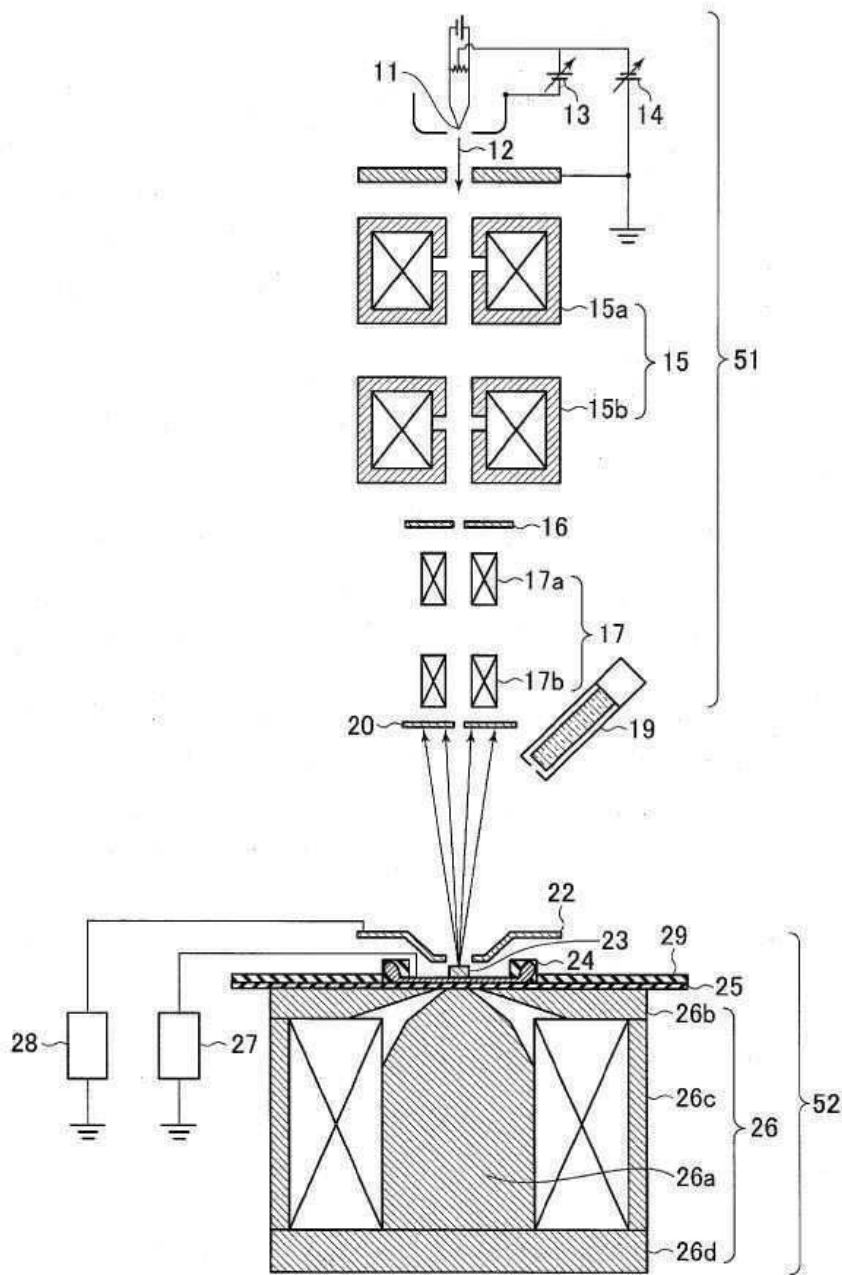
도면6



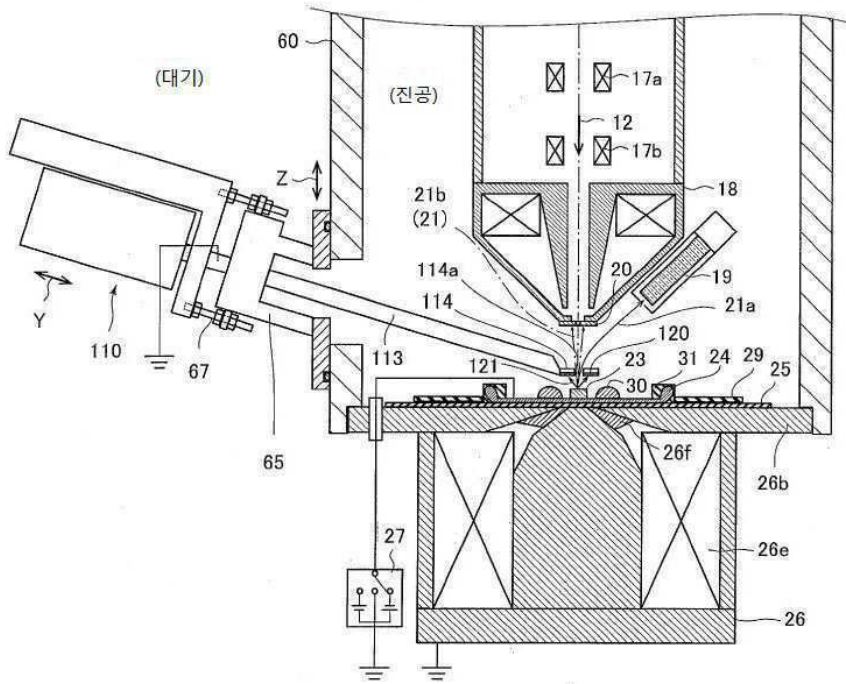
도면7



도면8

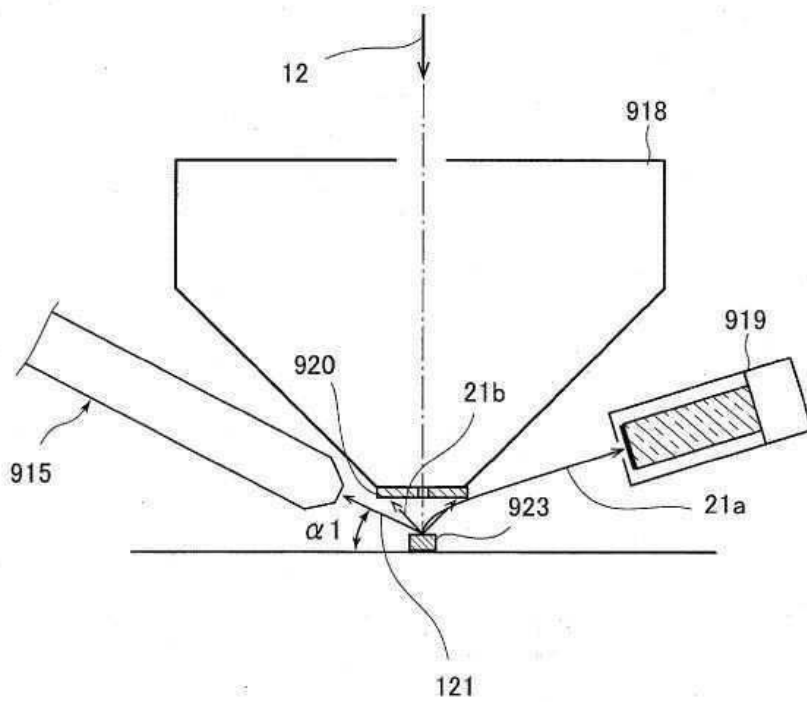


도면9

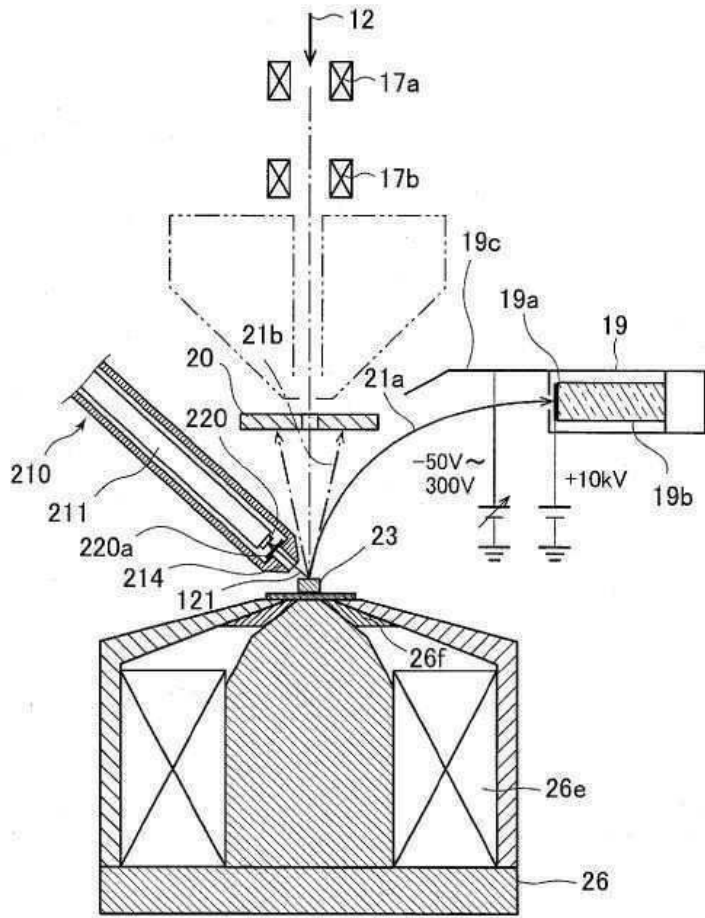


도면10

Prior Art

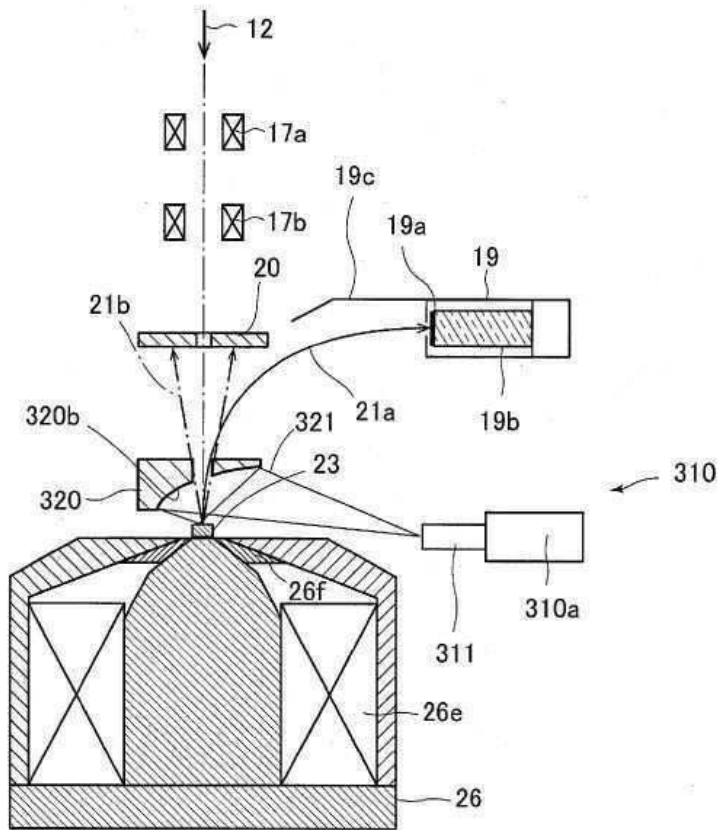


도면11

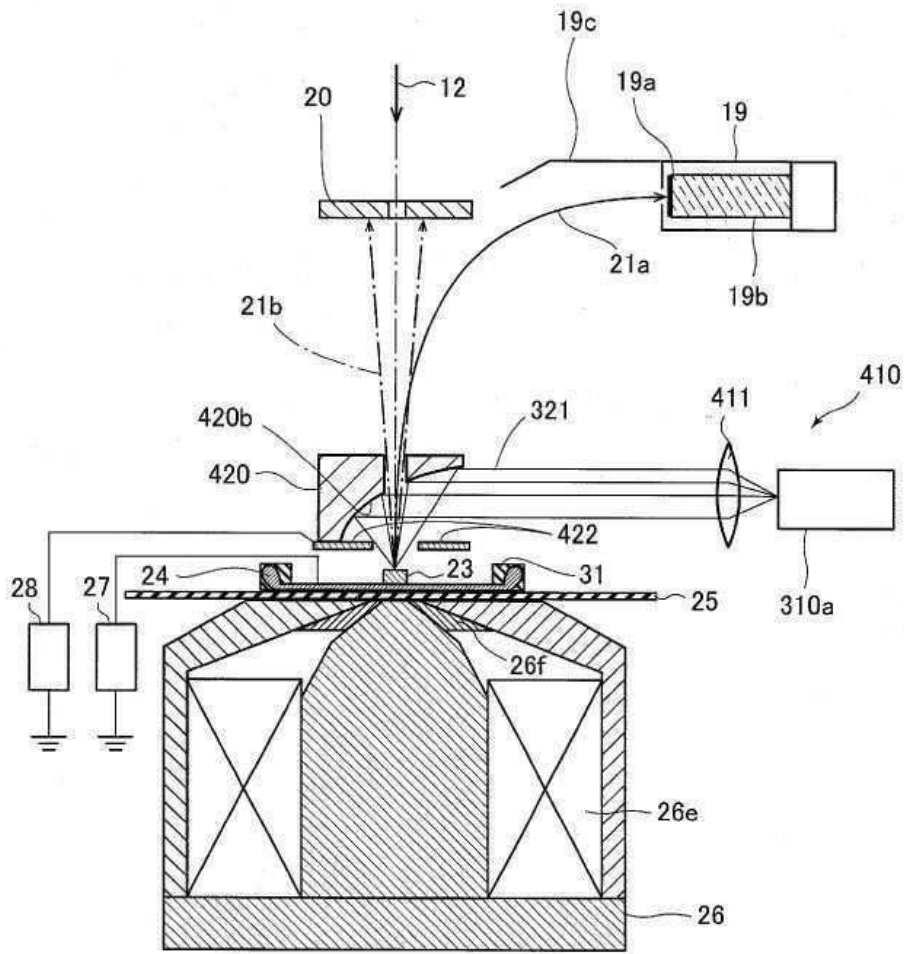




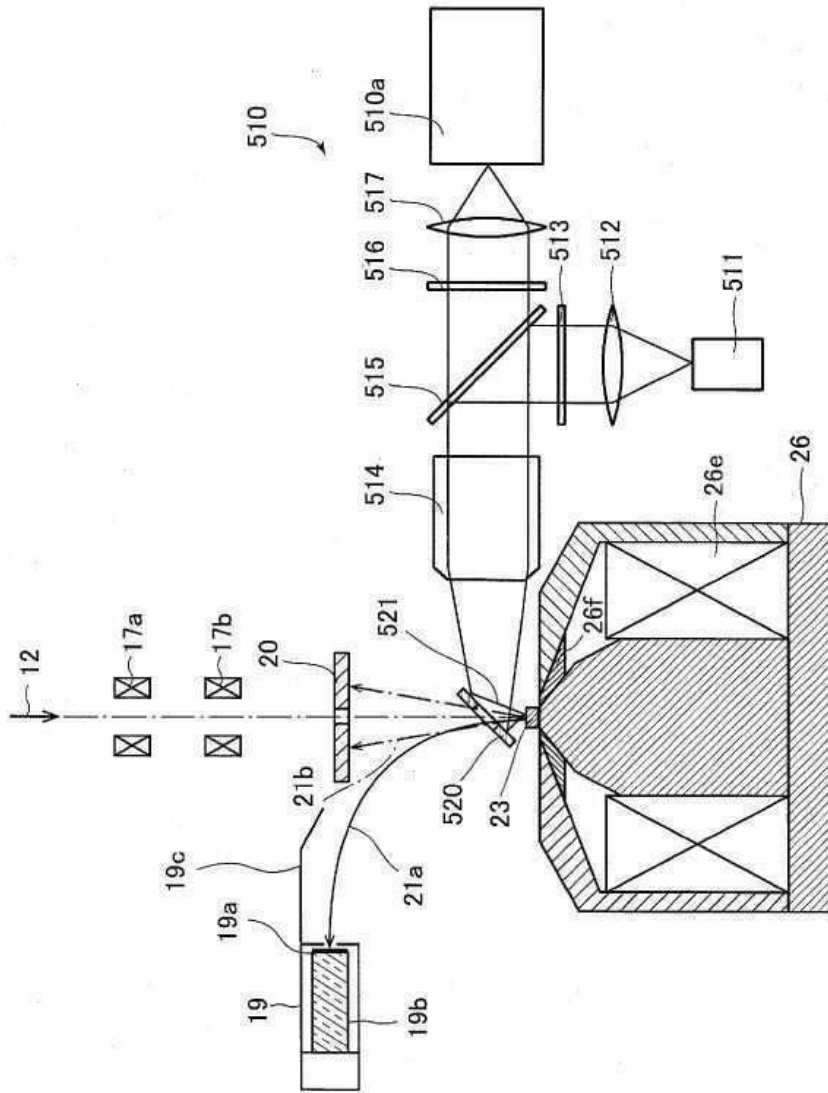
도면12



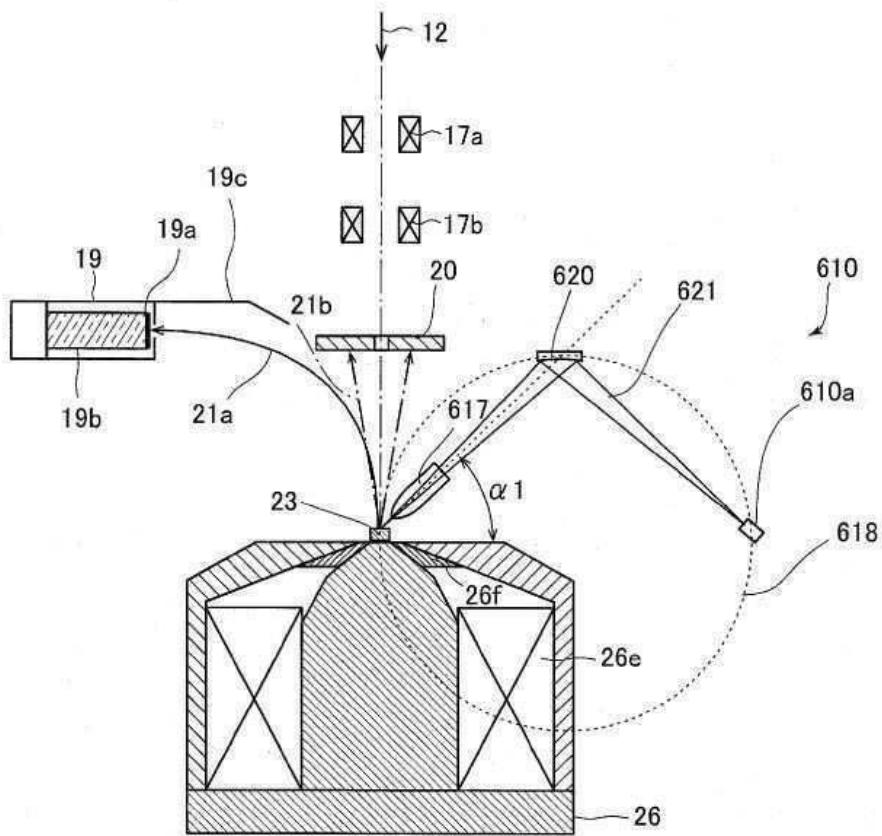
도면13



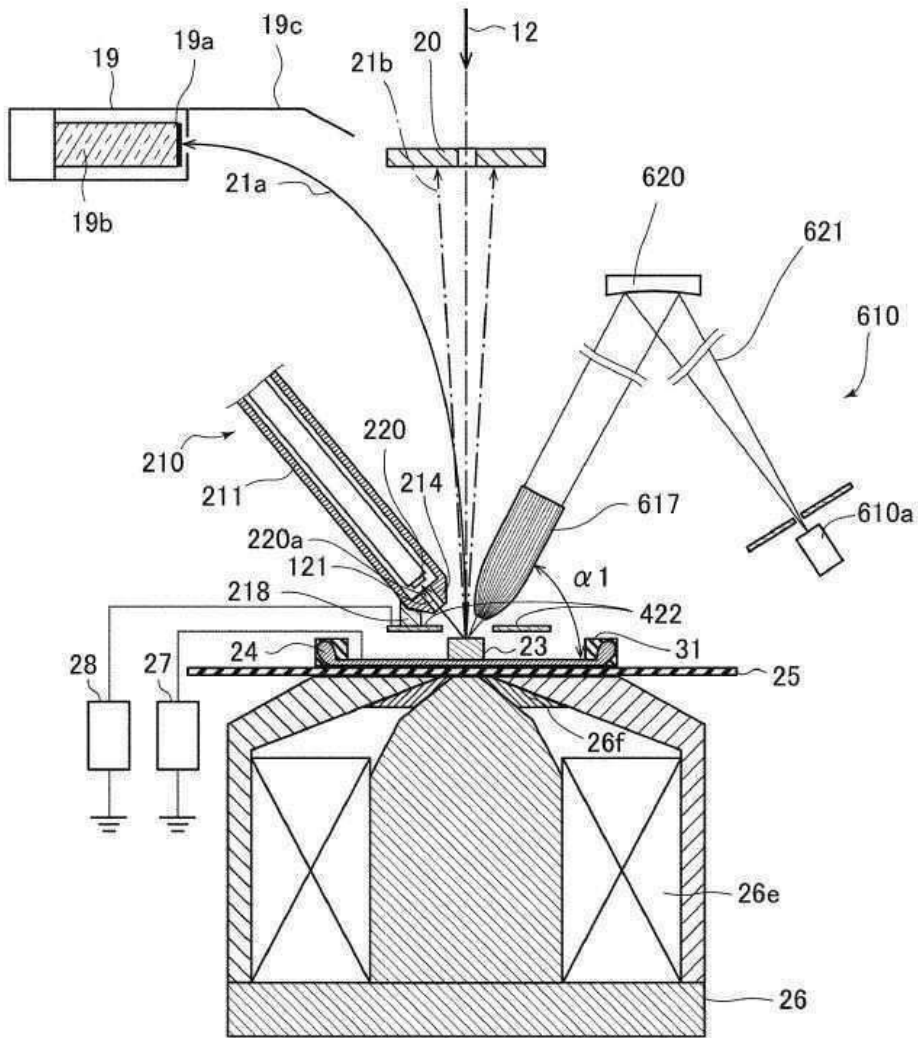
도면14



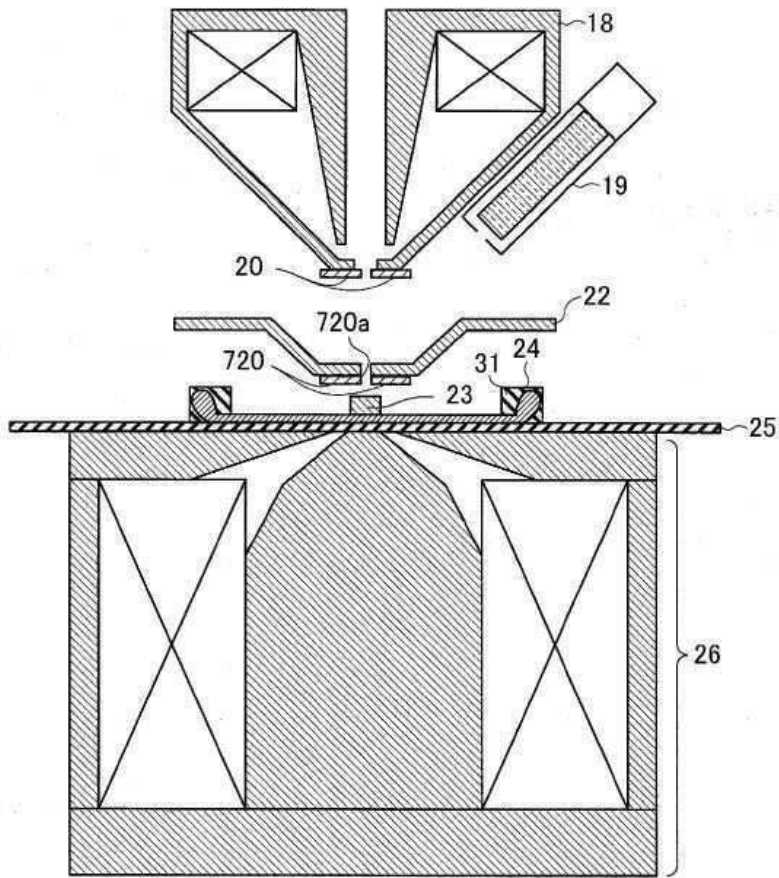
도면15



도면16



도면17



도면18

