

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁶
H01L 21/66

(45) 공고일자 1998년12월01일

(11) 등록번호 특0155242

(24) 등록일자 1998년07월14일

(21) 출원번호	특1995-015369	(65) 공개번호	특1996-002723
(22) 출원일자	1995년06월12일	(43) 공개일자	1996년01월26일

(30) 우선권 주장 94-132241 1994년06월14일 일본(JP)

(73) 특허권자 가부시끼가이샤 히다찌세이사꾸쇼 가나이 쓰토무

일본국 도쿄도 지요다구 간다 스루가다이 4-6

(72) 발명자 이또 후미카즈

일본국 가나가와켄 후지사와시 구게누마까이간 2-13-22

나카따 도시히코

일본국 가나가와켄 히라쓰까시 히나따오까 1-4-12

이시따니 도오루

일본국 이바라끼켄 히다찌나까시 아오바초 11-1 히다찌왕 230

시마세 아끼라

일본국 가나가와켄 요코쓰까시 구리하마 7-4-11-301

야마구찌 히로시

일본국 가나가와켄 후지사와시 가메이노 3-24-24

가미무라 다까시

일본국 가나가와켄 요코쓰까시 하이랜드 5-27-3

(74) 대리인 백남기

심사관 : 김중찬

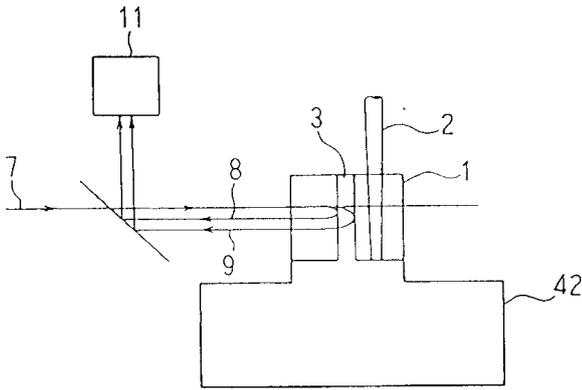
(54) 시료작성방법 및 그 장치

요약

반도체소자 등의 특정장소를 투과전자 현미경으로 관찰하기 위한 시료작성방법에 관한 것으로, 특히 접속 이온빔가공에 의한 시료작성방법 및 그 장치에 관한 것으로서, 접속이온빔의 가공에 의해 TEM시료를 실패하는 일없이 적절한 두께로 확실하게 마무리할 수 있는 방법과 실용성이 있는 경제적인 장치를 제공하기 위해, 고휘도 이온빔을 발생시키는 고휘도이온원, 발생시킨 고휘도 이온빔을 미세한 스폿형상으로 집속시켜서 시료상에 주사해서 조사하는 이온빔 조사수단, 집속한 이온빔의 조사에 의해 시료에서 발생하는 2차 하전입자를 검출하는 2차하전입자 검출수단, 검출한 2차하전입자의 검출신호에 따라서 2차하전입자상을 표시하는 2차하전입자상 표시수단, 집속한 이온빔을 조사해서 시료의 일부를 박막형상으로 가공하는 도중에 시료의 가공의 위치검출용 마크가 형성된 표면의 2차하전입자상을 표시할 때 이 2차하전입자상에 박막형상으로 가공하는 가공면이 포함되지 않도록 집속한 이온빔의 시료상에서의 조사영역을 제어하는 조사영역 제어수단 및 2차하전입자상 표시수단에 의해 표시된 시료표면의 가공의 위치검출용 마크에 따라서 가공의 도중에 집속이온빔의 위치드리프트를 보정하는 수단을 구비한 시료작성장치를 사용해서, 시료에 집속이온빔을 주사해서 조사하는 것에 의해 시료의 일부를 투과전자 현미경으로 관찰할 수 있는 박막형상으로 가공하는 스텝, 가공하는 스텝의 도중에 하전입자빔을 박막형상으로 가공하는 부분에 조사하는 일없이 시료상에 주사해서 조사하고, 시료에 마련한 위치검출용 마크를 2차하전입자상으로써 관찰하는 스텝 및 관찰한 결과에 따라서 가공하는 스텝의 도중에 집속이온빔의 위치드리프트를 보정하는 스텝을 포함한다.

이와 같은 장치와 방법을 이용하는 것에 의해, 집속이온빔의 위치드리프트가 있어도 정밀도 좋게 박막부를 가공해서 TEM시료를 작성할 수 있으므로, TEM관찰의 능률을 비약적으로 향상시킬 수 있다.

대표도



명세서

[발명의 명칭]

시료작성방법 및 그 장치

[도면의 간단한 설명]

제1도는 본 발명의 1실시예로 되는 박막부 두께의 모니터방법의 1예를 도시한 시료의 단면도.

제2도는 시료의 사시도.

제3도는 종래의 시료작성방법의 1예를 도시한 사시도.

제4도는 종래 방법에 의한 시료상면의 주사 2차하전입자상(SEM상)의 포착방법을 도시한 시료평면도.

제5도는 본 발명에 의한 시료상면의 SEM상의 포착방법을 도시한 시료평면도.

제6도는 본 발명에 의한 가공초기에 있어서의 시료상면의 SEM상을 도시한 도면.

제7도는 마찬가지로 가공이 더욱 진행된 상태의 시료상면의 SEM상을 도시한 도면.

제8도는 마찬가지로 다른 실시예로 되는 박막부두께의 모니터방법의 1예를 도시한 시료의 단면도.

제9도는 마찬가지로 다른 실시예로 되는 박막부두께의 모니터방법의 1예를 도시한 시료의 단면도.

제10도는 마찬가지로 다른 실시예로 되는 박막부두께의 모니터방법의 1예를 도시한 시료의 단면도.

제11도는 마찬가지로 다른 실시예로 되는 박막부두께의 모니터방법의 1예를 도시한 시료의 단면도.

제12도는 마찬가지로 다른 실시예로 되는 박막부두께의 모니터방법의 1예를 도시한 시료의 단면도.

제13도는 마찬가지로 다른 실시예로 되는 박막부두께의 모니터방법의 1예를 도시한 시료의 단면도.

제14도는 시료를 가공한 박막부의 변형을 도시한 확대사시도.

제15도는 마찬가지로 시료를 가공한 박막부의 변형을 도시한 확대사시도.

제16도는 집속이온빔의 전류밀도분포와 그것에 의해 가공된 박막부의 단면형상을 도시한 설명도.

제17도는 본 발명의 다른 실시예로서 시료를 기울어지게 해서 가공하는 방법을 도시한 시료단면도.

제18도는 시료대에 설치한 광조사부와 수광부를 도시한 장치단면도.

제19도는 시료에 대해서 집속이온빔을 수직으로 조사해서 가공하는 다른 실시예를 도시한 단면도.

제20도는 막두께모니터를 구비하는 본 발명의 장치의 1실시예를 도시한 주요부 단면개략도.

제21도는 마찬가지로 다른 막두께모니터를 구비하는 본 발명의 장치의 1실시예를 도시한 주요부 단면개략도.

제22도는 마찬가지로 다른 막두께모니터를 구비하는 본 발명의 장치의 1실시예를 도시한 주요부 단면개략도.

제23도는 마찬가지로 다른 막두께모니터를 구비하는 본 발명의 장치의 1실시예를 도시한 주요부 단면개략도.

제24도는 마찬가지로 다른 막두께모니터를 구비하는 본 발명의 장치의 1실시예를 도시한 주요부 단면개략도.

제25도는 마찬가지로 다른 막두께모니터를 구비하는 본 발명의 장치의 1실시예를 도시한 주요부 단면개략도.

제26도는 2차전자신호의 시간에 대한 변화를 도시한 그래프.

제27도는 마찬가지로 다른 막두께모니터를 구비하는 본 발명의 장치의 1실시예를 도시한 주요부 단면개략도.

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 반도체소자 등의 특정장소를 투과전자 현미경으로 관찰하기 위한 시료작성방법에 관한 것으로서, 특히 집속이온빔가공에 의한 시료작성방법 및 그 장치에 관한 것이다.

반도체소자 등의 특정한 메모리셀의 게이트부분의 해석이나 특정한 콘택트홀부의 금속접합계면의 해석 등 특정장소의 투과전자 현미경(이하, TEM이라 한다)용 시료의 작성에는 근래 집속이온빔(이하, FIB라 한다)가공이 사용되게 되었다. 이 1예를 도면에 따라서 설명하면 예를 들면 제2도에 도시한 바와 같이 시료(42)의 표면을 연마기에 의해 깎고, 폭 $30\sim 100\mu\text{m}$ (전형적으로는 $50\mu\text{m}$), 높이 $10\sim 100\mu\text{m}$ (전형적으로는 $50\mu\text{m}$)의 돌기부(1)를 남기고 이 돌기부의 대략 중앙에 관찰하고자 하는 장소가 있도록 한다.

다음에 제3도에 도시한 바와 같이 집속이온빔(2)으로 돌기부(1)의 양측에 깊이 $d=3\sim 10\mu\text{m}$, 폭 $w=4\sim 15\mu\text{m}$ 의 가공을 실시하고, 중앙부에 두께 t 의 박막부(3)를 남긴다. 이 박막부(3)에 관찰하고자 하는 장소가 있도록 한다. 이 박막부(3)는 TEM관찰을 실행하기 위해 그 두께 t 는 100nm 정도 이하일 필요가 있다. 이 약간의 두께를 남기기 위해 처음에는 빔직경 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 정도의 집속이온빔에 의해 막두께 $1\mu\text{m}$ 정도를 남기도록 가공하고, 또 빔직경이 $0.1\mu\text{m}$ 정도 이하의 보다 가는 빔을 사용해서 박막부(3)의 두께 t 를 서서히 침투해 들어가 TEM의 관찰용 시료로서 필요하게 되는 최종적인 두께 100nm 정도 이하로 마무리하도록 한다.

또, 이것과 관련된 제1의 종래의 기술로써는 예를 들면 일본국 특허공개공보 평성 5-15981호를 들 수 있으며, 단면SEM관찰용의 시료의 가공방법으로써 최종적으로 얻고자 하는 단면의 위치를 규정할 수 있는 마크를 가공하고, 이것의 주사이온상(SEM상)을 이용해서 마무리가공위치를 설정하는 방법이 알려져 있다.

또, 제2의 종래 기술로써는 미국 진공학회발행의 「진공과학기술지」 B, 제11권, 제3호(5월/6월), pp.531~535, 1993년」에 TEM관찰용 시료의 가공방법으로서 FIB가공중에 전자빔을 조사하고, 이것에 의해 발생하는 2차전자 또는 반사전자를 관찰하는 것에 의해 가공되고 남은 막의 두께를 구하는 것이 개시되어 있다.

집속이온빔(2)의 위치의 드리프트는 $0.1\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}/10\text{분}$ 정도인 것이 많다. 이 때문에 제4도는 시료가공면의 주요부 평면도에 도시한 바와 같이, 가공중에 빔이 박막부(3)의 중앙방향으로 드리프트 하면 박막부(3)를 필요이상으로 지나치게 가공해서 관찰할 장소를 잘못 깎아버리는경우가 종종 있었다.

또, 박막부(3)의 두께 t 가 200nm 정도에 가까워지면 주사이온상에 의해 박막부(3)를 인식하기 어려워지고 가공영역(5)을 설정하는 것 자체가 곤란하게 되어 관찰할 장소를 가공해버릴 위험성이 높았다. 그래서, 제1의 종래 기술에서는 제4도에 도시한 바와 같이 박막부(3)의 관찰영역(4)으로 표시한 영역에 마크(6a), (6b)를 마련하고, 이것의 주사이온상(SEM상)을 관찰하는 것에 의해 이것을 기본으로 가공영역(5)을 결정하고 있었다.

그러나, 박막부(3)의 두께가 200nm 정도에 가까워지면 주사이온상을 취하는 것에 의해 박막부(3)의 정상부가 가공되어 박막부(3)가 너무 얇게 되어 버릴 위험성이 있었다.

또, 제2의 종래 기술에서는 SEM용의 전자총본체와 전원 및 제어계를 구비하면 고가인 것으로 되며, 또한 전자총본체를 피가공물의 근처에 배치하기 위해 집속이온빔 광학계의 작동거리와 전자빔 광학계의 작동거리를 모두 충분히 작게 하는 것이 공간적으로 어렵다.

이 때문에 실용적인 집속이온빔 가공장치에 SEM을 설치하는 것은 장치가가격이 높아지는 점과 빔을 충분히 미세하게 집속시키는 것이 곤란하게 되는 점의 2가지의 문제점이 있었다.

또, 상기 종래 기술에서는 박막부의 막두께 분포를 보기 위한 구체적인 수단이나 박막부를 투과하고자 하는 전자빔 그 자체를 검출하는 수단에 대해서는 전혀 배려되어 있지 않았다. 이 때문에 통상의 집속이온빔 가공장치에서는 TEM관찰용 시료를 작성하면 여러번 실패를 반복하는 경우가 많아 작업능률이 매우 나빠 TEM관찰 데이터를 얻는데에도 시간이 매우 길게 걸리는 문제점이 있었다. 또, 1개밖에 없는 시료의 경우는 이것이 파괴되어 버릴 것이 염려되어 충분히 얇게 가공할 수 없다는 문제점도 있었다.

본 발명의 목적은 상기 종래 기술의 문제점을 해소하는 것으로써, 그 제1의 목적은 집속이온빔가공에 의해 TEM시료를 실패하는 일없이 적절한 두께로 확실하게 마무리할 수 있는 시료작성방법을 제공하는 것이다. 본 발명의 제2의 목적은 실용성이 있는 경제적인 시료작성장치를 제공하는 것이다.

상기 목적을 달성하기 위해, 본 발명에서는 (1) 돌기부(1)에 집속이온빔의 위치드리프트 측정용 마크(6)를 미리 정해진 소정의 막두께로 가공되는 박막부(3)보다 바깥쪽에 마련하고, 가공도중에 적절한 빈도로 이 마크를 관찰영역(4)이 박막부(3)를 포함하지 않도록 해서 집속이온빔(2)에 의해 이것을 관찰하고, 빔의 위치의 드리프트를 측정하여 이것을 보정하는 것, (2) 박막부(3)의 두께를 전자빔에 비해서 저렴한 예를 들면 광등을 사용해서 가공 중에 모니터 하는 것에 의해 지나치게 가공되는 것을 방지하는 것, (3) 광이나 전자빔을 조사하는 것에 의해 박막부(3)의 막두께분포를 측정하는 것 등을 실행하는 것이다. 이하, 본 발명의 구체적인 목적달성수단에 대해서 상세하게 기술한다.

상기 제1의 목적은 집속이온빔가공에 의해 박막시료를 작성할 때 피가공물에 집속이온빔의 위치드리프트 측정용 마크를 마련하고, 소정의 빈도로 상기 마크를 주사 2차대전입자상으로 해서 관찰을 하는 것에 의해 이온빔의 위치드리프트를 보정하면서 상기 피가공물을 가공하는 방법으로써, 상기 마크를 미리 정해진 소정의 두께로 가공되는 박막부보다 바깥쪽에 마련하고, 상기 집속이온빔에 의한 가공영역과 관찰영역의 하나의 변이 모두 가공중의 박막의 가공면과 접하던가 또는 상기 관찰영역의 하나의 변이 가공면에 접촉하는 일없이 그 반대방향으로 떨어진 위치관계로 되도록 설정해서 상기 박막부를 형성하는 공정을 갖고 이루어지는 시료작성방법에 의해 달성된다.

그리고, 바람직하게는 상기 이온빔의 위치드리프트를 보정함과 동시에 집속이온빔에서의 가공중에 가공된 잔존 막두께를 모니터링하는 것이다. 즉, 막두께를 모니터 하면서 미리 정해진 소정의 막두께로 정확하게 가공하여 박막부를 형성하는 것이다.

이 막두께모니터방법으로써는 예를 들면 (1) 광의 간섭법, (2) 시트광의 투과량을 검출하는 방법, (3) 주사레이저빔광의 투과상을 검출하는 방법, (4) 전자빔의 투과량을 검출하는 방법, (5) 주사전자빔의 투과상을 검출하는 방법 및 (6) 펄스레이저빔의 조사에 의한 박막의 변형량을 검출하는 방법 등의 주지의 막두께측정방법이 사용된다. 그 중에서도 광학적 측정수단에 의한 막두께 측정방법이 실용적으로 바람직하다.

또, 집속이온빔에 의해 피가공물을 가공할 때에는 가공중에 피가공물의 가공면을 조금 기울어지게 하고, 이 기울기를 모니터 하도록 해도 좋다. 이것은 집속이온빔의 전류밀도분포가 테일을 가지므로 빔을 가늘게 미세하게 집속시켜도 테일의 영향으로 피가공물의 가공끝면이 약간 기울어지는 일이 있고, 이것을 보상하기 위한 것이다.

따라서, 이경우의 피가공물의 가공면의 경사각도는 사용하는 집속이온빔의 특성(전류밀도분포의 테일)에 맞는 것으로 한다. 이 가공면의 기울기를 모니터 하는 방법으로써는 예를 들면 가공면에 조사한 광의 반사각도를 계측하는 방법 등으로 용이하게 대응할 수 있다.

또, 본 발명의 제1의 목적은 상기 시료작성방법에 의해 시료를 가공할 때 한쪽에서는 집속이온빔을 시료에 조사하는 것에 의해 가공면을 형성하고, 다른쪽에서는 상기 가공면에 집속이온빔의 주사속도와는 크게 다른 주사속도로 전자빔을 주사시키고, 시료로부터의 2차대전입자를 검출하고, 검출된 2차대전입자신호를 고주파수 또는 저주파수의 필터를 통과시켜서 노이즈를 제거하고, 이 노이즈가 제거된 신호를 사용해서 주사전자상 또는 주사이온상을 표시하도록 한 집속이온빔 가공방법에 의해서도 달성된다. 이 경우도 가공면을 투과한 투과전자빔에서 가공막의 막두께를 계측할 수 있고, 막두께를 모니터하면서 미리 정해진 목적으로 하는 소정의 막두께로 정확하게 가공할 수 있다. 또, 집속이온빔에 의한 가공면을 광이나 전자빔을 주사하는 것에 의해 박막부의 막두께분포를 측정할 수 있다.

또, 집속이온빔에서의 시료 가공시와 빔을 주사해서 2차대전입자상을 얻을 때의 빔조사조건에 대해서 설명하면 통상은 빔강도를 고정하여 주사속도를 바꾸고, 가공시에는 주사속도를 느리게 해서 단위면적당의 조사량을 많게 하여 효율 좋게 가공하고, 2차대전입자상을 얻을 때에는 반대로 주사속도를 빠르게 해서 조사량을 적게 하여 시료에 손상을 주지 않도록 배려한다. 또, 주사속도를 고정하는 경우에는 이온원을 제어해서 조사량을 전환하게 되지만 장치구성의 용이성을 고려하면 전자의 주사속도를 제어하는 쪽이 실용적으로 바람직하다.

본 발명의 제2의 목적은 ① 고휘도 이온원, 이것을 미세한 스폿에 집속시키는 집속광학계, 시료상에서의 이온빔을 편향 주사시키기 위한 편향전극계를 갖는 집속이온빔 조사광학계, ② 시료로부터의 2차대전입자를 포착해서 주사 2차대전입자상을 얻기 위한 2차대전입자검출기, 주사 2차대전입자상 표시장치를 갖는 2차대전입자상 관찰계, ③ 시료실 진공챔버내에 배치된 시료를 지지하여 이동시키기 위한 스테이지, ④ 진공배기계를 적어도 구비해서 이루어지는 집속이온빔 가공장치에 있어서, 이온빔주사에 의한 관찰영역과 가공영역을 전환했을 때 관찰과 가공의 영역의 각각 지정한 하나의 번이 일치하던가 또는 관찰영역의 하나의 번이 가공영역의 하나의 번에서 시료가공면의 반대방향으로 후퇴한 위치관계로 되도록 전환하는 수단을 구비해서 이루어지는 시료작성장치에 의해 달성된다.

또, 상기 시료작성장치에 있어서 ⑤ 시료실 진공챔버내에 배치된 스테이지상에 탑재되어 있는 가공중의 박막형상 시료(피가공물)의 막두께를 모니터하는 수단을 마련해두는 것이 바람직하다.

상기 막두께를 모니터 하는 수단으로써는 예를 들면 (1)광의 조사장치와 공간섭 검출장치를 구비한 수단, (2)광의 조사장치와 광의 투과량 검출장치를 구비한 수단, (3)시트광 조사장치와 광의 투과량 검출장치를 구비한 수단, (4)주사레이저빔 광조사장치, 광투과량 검출장치와 주사투과상 표시장치를 구비한 수단, (5)전자빔총과 전자빔의 투과량 검출장치를 구비한 수단, (6)주사전자빔 조사장치, 전자투과량 검출장치와 주사전자투과상 표시장치를 구비한 수단 및 (7)펄스레이저 발신기와 펄스레이저조사에 의한 박막의 변형량을 검출하는 간섭검출기를 구비한 수단 등의 어느 하나가 사용된다.

또, 상기 어떤 박막을 모니터하는 수단에 있어서도 광이나 전자의 조사부와 검출부는 시료스테이지에 고정할 수 있다.

또, 상기 시료작성장치에 있어서 ③ 시료실 진공챔버내에 배치된 스테이지상에 탑재되어 있는 가공중의 박막형상 시료(피가공물)의 가공면의 기울기를 측정하는 모니터수단을 마련해 두는 것이 바람직하다. 이 모니터수단으로써는 예를 들면 광의 조사장치와 광의 반사위치를 검출하는 장치로 구성할 수 있다.

또, 상기 시료작성장치에 있어서 또 집속이온빔 가공 중에 박막형상 시료에 조사할 수 있도록 구성된 집속전자빔 조사장치, 집속이온빔의 주사속도와는 독립된 주사속도로 전자빔을 주사시키는 제어계, 시료로부터의 2차대전입자를 검출하는 2차대전입자 검출기, 검출된 2차대전입자신호를 고주파수 또는 저주파수로 필터하는 회로 및 필터한 후의 신호를 사용해서 주사전자상 또는 주사이온상을 표시하는 표시장치를 배치할 수도 있다. 이것에 의해, 가공되는 박막의 막두께 및 막두께분포를 알 수 있고, 이 막두께정보를 집속이온빔가공의 막두께제어로 피드백하면 막두께분포를 보다 균일화한 고정밀도의 가공을 가능하게 한다.

집속이온빔으로 빔위치드리프트를 측정하기 위해 마크를 관찰할 때 그 관찰영역이 박막부를 포함하지 않도록 하므로 관찰부를 가공해버리는 것을 방지할 수 있다. 또, 박막부의 두께를 모니터할 수 있으므로 집속이온빔의 가공위치의 설정을 정확하게 할 수 있다.

우선, 본 발명의 위치마크의 관찰원리를 도면을 사용해서 구체적으로 설명한다.

제4도에 도시한 바와 같이 여전히 박막부(3)의 두께가 미리 정해진 목적으로 하는 두께보다 충분히 두꺼운 동안은 종래 방법과 마찬가지로 관찰영역(4)을 박막부(3)가 중앙에 보이도록 설정한다. 그리고, 가공

영역(5)을 설정해서 가공을 실행한다.

그러나, 가공이 진행하여 박막부(3)가 충분히 얇게 되어 버리면 관찰영역(4)을 제4도에 도시한 바와 같이 취하면 박막부(3)의 정상부를 가공해버린다.

그래서, 본 발명에서는 제5도에 도시한 바와 같이, 박막부(3)의 예를 들면 우측을 가공하는 중에 빔의 위치드리프트를 측정하기 위해 주사이온상에 의해서 마크(6)를 관찰할 때에는 가공영역(5)의 좌측 끝에는 관찰영역(4)의 좌측 끝이 일치하도록 위치 결정하던가 또는 좌측 끝을 가공면과는 반대방향으로 어긋나게 해서 관찰영역(4)의 위치를 정한다. 물론, 박막부의 좌측을 가공하고 있는 경우는 이와 반대의 관계로 되며, 가공영역의 우측 끝에 관찰영역(4)의 우측 끝을 일치시키던가 또는 가공영역의 우측 끝에서 어긋나게 해서 관찰영역(4)의 위치를 정한다. 여기에서 중요한 것은 박막부(3)를 가공하고 있는 쪽의 관찰영역(4)의 위치결정이며, 가공영역(5)의 박막부(3)의 가공면에 접하고 있는 위치보다도 관찰영역(4)을 박막부(3)측으로는 절대로 빠져나오지 않게 하는 것이다. 이 도면의 경우는 가공영역(5)과 관찰영역(4)의 좌측 끝을 일치시키고 있다.

하나의 박막부의 가공의 초기에 관찰한 주사이온상을 제6도에 도시한다. 이 관찰영역(4)중에 들어가는 위치에 마크(6)를 집속이온빔에 의해 미리 가공해준다. 이 마크(6)는 관찰영역(4) 밖으로는 빠져나오지 않고 반드시 관찰영역(4)내에 위치하도록 마련하고, 박막부(3)의 영역내와 관계없이 바깥쪽에 위치하도록 마련하는 것이 중요하다. 이 마크(6)의 +자의 폭은 통상 $0.1\mu\text{m}$ 정도로 해두는 것이 바람직하다.

더욱 진행된 가공의 도중에 관찰한 주사이온상의 예를 제7도에 도시한다. 제6도에 있어서의 기준축 x, y 에서의 마크(6)의 위치 x_1, y_1 , 제7도에 있어서의 x_2, y_2 를 리드하고, $dx=x_2-x_1, dy=y_2-y_1$ 이 빔위치드리프트이다.

이 빔을 편향하는 것에 의해 dx, dy 만큼 빔의 위치를 되돌린다. 관찰을 하는 빈도는 빔의 안정성에도 기인하지만 1분에서 5분마다 하는 것이 바람직하다.

이상의 구성으로 하는 것에 의해 본 발명의 소기의 목적을 달성할 수 있다. 즉, 시료상에 마크를 형성하고 이것을 SEM상으로 관찰할 때 박막부에 집속이온빔을 조사하지 않도록 하는 것에 의해 집속이온빔의 위치드리프트가 있어도 정밀도 좋게 박막부를 가공할 수 있다. 또, 박막부의 두께를 가공 중에 모니터 하는 방법으로서 광을 사용하는 것에 의해 저렴한 장치에 의해 적절한 베어들어감량을 설정할 수 있다. 또, 광이나 전자빔에 의한 박막부의 막두께분포를 측정할 수 있으므로 이것에 의해 TEM시료를 높은 성공률로 단 시간에 적절한 두께로 마무리 할 수 있어 TEM관찰의 능력을 비약적으로 향상시키는 효과가 얻어진다.

상기한 원리에 따른 본 발명의 실시예를 다음에 설명한다.

우선, 본 발명에 관한 이온빔가공에 의한 시료작성방법의 1예를 이하, 제5도~제7도를 사용해서 이온빔의 위치의 드리프트를 측정하기 위한 마크관찰방법 및 빔위치의 드리프트보정을 포함해서 피가공물의 가공의 진행방법에 입각해서 구체적으로 상세하게 설명한다.

제5도에 있어서, 시료(42)의 돌기부(1)에 형성하는 박막부(3)가 $2\mu\text{m}$ 전후와 최종가공마무리두께인 $100\sim 200\text{nm}$ 에 비하면 충분히 두꺼운 두께로 되도록 거칠은 가공을 실행한다. 마무리 가공에 들어가기 전에 제5도에 도시한 관찰영역(4)의 SEM상을 그 좌측 끝이 박막부(3)의 목표로 하는 마무리면과 일치하도록 취한다. 그리고, 제6도에 도시한 SEM상을 취하고, 화면의 좌측 끝(즉, 목표로 하는 마무리가공면)과 마크(6)의 x 방향의 거리 x_0 를 측정해준다. 동시에 화면의 중심선과 각각의 마크의 거리 x_1, y_1 도 각각의 마크에 대해서 측정해준다.

다음에 제6도에 도시한 SEM상위에서 베어들어감을 $1\mu\text{m}$ 정도로 한 가공영역을 설정하여 가공을 실행한다. 가공이 종료하면 재차 SEM상을 관찰한다. 이때, 제7도에 도시한 바와 같이 마크(6)의 위치가 x_2, y_2 (단, $x_2 \neq x_1, y_2 \neq y_1$)로 되어 있는 경우에는 x_2-x_1, y_2-y_1 이 빔의 위치 어긋남(드리프트)이므로 관찰영역(4)을 각각 x_2-x_1 과 y_2-y_1 만큼 x 방향, y 방향으로 평행하게 이동한다. 그러면, 화면의 좌측 끝이 목표로 하는 마무리가공면과 일치한다. 그리고, 그 마무리가공면과 마크의 거리가 x_0 인 것을 재확인한다.

그리고, 베어들어감을 또 $0.5\mu\text{m}$ 로 설정한다. 즉, 남은 막두께로 하면 $2\mu\text{m}-1\mu\text{m}-0.5\mu\text{m}=0.5\mu\text{m}$ 으로 된다. 그리고 가공을 실행한다. 이 조작을 반복하는 것에 의해 점차 베어들어감을 작게해서 목표로 하는 마무리가공면에 도달한다. 이와 같이 관찰영역(4)을 박막부(3)에 걸리지 않게 하는 것에 의해 박막부(3)가 깎여질 염려도 없으며, 또한 가공도중에 마크의 어긋남을 측정하는 것에 의해 빔의 드리프트를 보정하면서 고정밀도의 가공을 할 수 있다.

다음에 박막부(3)의 두께, 더 나아가서는 두께분포를 모니터 하는 방법에 관해서 제1도와 제8도~제19도를 사용해서 설명한다.

제1도는 집속이온빔(2)에 의해 가공중의 박막부(3)의 막두께를 측정하는 광학계의 개략 단면도를 도시한 것이다. 도시한 바와 같이, 시료(42)의 박막부(3)의 두께를 측정하기 위해 가공면에 관찰광(7)을 조사하고 박막부(3)의 표면에서 반사한 광(8)과 반대측의 표면에서 반사한 광(9)을 간섭시켜 가공이 진행함에 따른 간섭의 변화를 간섭계(11)로 관찰하는 것에 의해 박막부의 두께를 측정하는 것이다.

제8도도 마찬가지로 집속이온빔(2)으로 가공중의 박막부(3)의 막두께를 측정하는 광학계의 개략단면도를 도시한 것이다. 도시한 바와 같이, 관찰광(7)을 박막부(3)에 투과시켜 박막부를 통과하지 않는 참조광(10)과 간섭시켜 박막부(3)에 의한 관찰광의 위상어긋남을 검출하는 것에 의해 두께를 측정하는 것이다.

제1도와 제8도의 경우 관찰광(7)은 박막부를 투과할 필요가 있으므로 시료가 Si인 경우에는 적외광이 바람직하다.

제9도도 마찬가지로 집속이온빔(2)으로 가공중의 박막부(3)의 막두께를 측정하는 광학계의 개략단면도를 도시한 것이다. 도시한 바와 같이, 박막부(3)에 의해 흡수되는 파장의 관찰광(7)을 박막부(3)에

조사하고, 투과한 광의 강도를 포토말 등의 측정기(12)로 측정하여 두께를 측정하는 것이다. 이 경우는 파장이 짧은 것이 좋고, 구체적으로는 시료의 재질에 의해 결정해야 한다.

또, 박막부(3)는 제10도에 도시한 바와 같이 측벽이 비스듬하게 되는 경향이 있다. 이 각도는 후술하는 바와 같이 이온빔의 전류분포의 테일형상에 의한 것으로서, 정밀도가 높은 가공을 실행하기 위해서는 이 테일형상 및 박막부(3)의 측벽경사각도를 아는 것이 중요하다. 그래서, 관찰광(7)에 집속한 레이저빔을 사용하고, 이것이 박막부(3)의 측벽에서 반사된 빔(8)을 어레이형상의 검출기(12)로 검출하는 것에 의해 반사광(8)의 위치를 구하여 박막부(3)의 측벽의 각도를 구할 수 있다.

제11도는 제10도와 동일한 방법이지만 관찰광(7)을 시트광으로 하여 어레이형상의 측정기(12)에 의해 강도분포를 측정하여 박막부(3)의 두께의 분포, 대부분의 경우 정상부가 얇게 되어 있는 것을 검출하는 것이다.

또, 제9도에 있어서, 관찰광(7)에 집속한 레이저빔을 사용하고, 이것을 박막부(3)의 영역에서 주사하여 주사투과광상을 얻을 수도 있다.

제12도는 접촉전자총(13)에서 전자빔(14)을 박막부(3)에 조사하고, 투과한 전자빔을 패러디컵이나 신틸레이터 등의 전자빔검출기(16)로 검출하여 두께를 재는 것이다. 전자빔(14)의 에너지를 조절하는 것에 의해 적절한 투과량을 얻을 수 있다.

박막부(3)는 전자빔(14)의 투과율이 크게 다른 여러 재질로 이루어지는 경우가 있으며, 이 경우는 박막부의 평균적인 투과량을 계속하므로 불충분하게 된다. 그래서, 전자빔(14)을 주사할 수 있도록 하는 것에 의해 막두께의 분포를 예상하는 것이 가능하게 된다. 또, 투과전자 현미경과 동일구조로 하는 것에 의해 접촉이온빔 가공중에 TEM상을 관찰할 수도 있는 효과가 있다.

제13도~제15도는 박막부(3)에 펄스레이저광(15)을 조사하고, 이것에 의해 박막부(3)를 가열하여 제14도 또는 제15도에 도시한 바와 같은 열팽창에 의한 변위 δ 를 발생시키면 이 변위 δ 는 두께의 함수로 된다. 미리 재질과 박막부의 형상 및 레이저의 흡수계수 등에서 두께와 변위를 계산해두거나 또는 실험으로 확인해두는 것에 의해 변위에서 두께를 측정할 수 있다. 변위 δ 의 측정에는 관찰광(7)을 박막부(3)의 표면에서 반사시키고, 다른 고정부에서 반사시킨 참조광(도시하지 않음)과 간섭시킨다.

제16도에 도시한 바와 같이 접촉이온빔가공에 있어서는 제16도(a)에 도시한 바와 같이 전류밀도분포가 곡선(50)과 같이 테일을 가지므로 빔(2)을 미세하게 집속시켜도 테일의 영향으로 피가공물의 가공끝면이 제16도(b)의 (51)로 나타난 바와 같이 몇도 기울어지는 경우가 있다. 예를 들면 기울기를 2° 로 하고, 박막부(3)의 높이를 $6\mu\text{m}$ 으로 하면 그 상부와 하부에서는 $6\mu\text{m} \times \tan 2^\circ \times 2 = 0.4\mu\text{m}$ 정도의 두께의 차이가 생긴다. 이것에서는 균일한 두께의 TEM시료를 형성할 수 없으므로 시료를 가공할 때 제17도에 도시한 바와 같이 시료를 미리 상기의 예의 경우라면 $\theta = 2^\circ$ 기울어지게 해두면 좋다. 그러나, 관찰광(7)을 수평으로 입사시키면 반사광은 2θ 만큼 기울어지므로 시료에서 떨어진 곳에 고정된 반사광의 간섭검출기에는 반사광이 입사되지 않게 되는 문제가 있다. 또, 투과광을 사용하는 경우에도 박막부(3)를 통과하는 광로길이가 $1/\cos\theta$ 만큼 길어져 버리는 문제가 있다. 또, 시료를 기울어지게 하지 않아도 $10\mu\text{m}$ 정도의 박막부(3)에 관찰광(7)을 맞추는 것은 어려운 작업으로 된다.

그래서, 제18도에 도시한 바와 같이, 시료스테이지(39)에 관찰광조사의 렌즈부(52)나 투과광의 간섭검출기의 수광부(53)를 설치하고, 여기에 광파이버(54)나 출력케이블(55)을 연결하면 좋다. 관찰광 조사부(52)와 수광부(53)는 미리 대기 중에서 박막부를 형성하고자 하는 위치에 대해서 위치맞춤해 두어도 좋다. 또는 시료실 진공챔버내에 넣고나서라도 위치의 미세조정을 할 수 있게 해두어도 좋다. 또, 제18도에서는 조사부(52)와 수광부(53)가 좌측과 우측으로 분리되어 있는 경우를 도시했지만 반사광의 검출계의 경우에는 이들을 동일한쪽에 배치할 수도 있다.

이제까지의 실시예에서는 박막부(3)의 표면에 대략 평행하게 접촉이온빔(2)을 조사하는 구성에 대해서 도시하고 있었지만, 제19도에 도시한 바와 같이 박막부(3)에 접촉이온빔(2)을 수직으로 조사하는 방법도 취할 수 있다. 이 경우에는 스테이지(39)에 관찰광조사부(52)와 반사광검출부(53)를 위쪽으로 설치한다. 이것에 의해 박막부(3)의 가공중의 두께를 모니터 할 수 있다.

또, 제19도에 있어서는 접촉이온빔 어시스트에칭을 실행하기 위해 가스노즐(65)에서 반응성가스가 가공면으로 분사되고 있다. 이온빔가공에 있어서는 30kV 정도의 에너지를 갖는 이온이 가공면에 입사하므로 가공면에 이온충격에 의한 손상이 생긴다. 이것에 대해서 접촉이온빔 어시스트에칭에 의하면 가공량중 9/10전후는 반응성가스와 화학반응에 의해 제거되므로 가공체적당 이온조사량은 이온빔 단독가공에 비해서 적어진다. 즉, 이온충격에 의한 손상이 적어진다.

또, 반응성가스로써는 Si, SiO₂, SiN 등의 시료에 대해서는 예를 들면 XeF₂, SF₆, CF₄ 등의 플루오르계 가스 단독 또는 혼합가스이고, Al 합금에 대해서는 예를 들면 Cl₂, SiCl₄, BCl₃ 등의 염소가스 단독 또는 혼합가스이며, 시료가 여러 가지 재료로 구성되어 있는 경우에는 상기를 포함하는 할로겐가스의 혼합가스가 적당하다.

또, 접촉이온빔 어시스트에칭은 제19도에 도시한 바와 같이 가공면과 수직으로 이온이 조사되는 경우에 한정되지 않고 제17도에 도시한 바와 같이 가공면과 비스듬하거나 또는 대략 평행하게 이온을 입사시키는 경우에도 마찬가지로 효과적인 것은 물론이다.

다음에 지금까지 설명한 이온빔의 위치의 드리프트를 측정하기 위한 마크관찰방법, 빔위치의 드리프트보정, 가공시의 막두께모니터 및 가공면의 기울기를 모니터하는 방법 등을 접촉이온빔 가공장치에 도입한 본 발명의 시료작성장치에 대해서 설명한다.

제20도는 접촉이온빔 가공장치에 제1도에 도시한 반사광의 간섭검출장치를 설치한 본 발명의 장치의 주요부 단면개략도이다.

우선, 접촉이온빔 가공장치의 주요부에 대해서 설명하면 제20도에 있어서, (21)는 이온빔 광학계로써, 이

것은 액체금속이온원(22), 인출전극(23), 제한개구(24), 이 제한개구를 통과한 이온빔(25)을 집속하는 정전렌즈(26), 블랭킹전원(27)에 접속되어 있는 블랭킹전극(28), 블랭킹개구(29)와 편향컨트롤러(30)에 접속되어 있는 편향전극(31)을 구비한다.

이 이온빔광학계(21)는 광학계 진공챔버(38)에 넣어져 있고, 이 이온빔광학계(21)에 의해 집속되어 편향 제어된 집속이온빔(2)이 시료(42)에 조사된다. 시료(42)는 X축과 Y축을 각각 중심으로 해서 회전이 자유로우며, 또한 X축방향과 Y축방향으로 평행하게 이동할 수 있는 스테이지(39a), (39b)상에 탑재되어 있다. 스테이지(39)는 시료실 진공챔버(40)에 넣어져 있으며, 진공챔버(38)와 (40)는 진공배기계(41)에 의해 충분한 진공도로 배기된다.

(32)는 이온원(22), 인출전극(23)과 정전렌즈(26)를 제어하는 제어전원이다. (33)는 제어부로서의 컴퓨터로써, 이것에 의해 편향컨트롤러(30), 블랭킹전원(27)과 제어전원(32)에 접속되어 있다.

(37)은 화상표시모니터이다. 집속이온빔(2)의 조사에 의해 시료(42)에서 튀어나온 2차전자 또는 2차이온 등의 2차하전입자를 검출하는 마이크로채널플레이트(MCP)(35), 그 MCP로부터의 검출신호를 포착하는 애노드(36), 이 애노드(36) 및 편향컨트롤러(30)를 접속한 화상표시모니터(주사이온상(SEM상)모니터)(37)에 의해 주사이온상이 투영된다.

다음에 반사광의 간섭검출장치에 의한 막두께모니터부의 구성에 대해서 설명하면 (61)은 레이저 등의 가간섭성 광원으로서, 시료(42)의 박막부(3)를 일부 투과하는 파장의 광이 생성된다. 이것에서 발생한 레이저빔을 빔신장기(68)에 의해 확대하고, 빔스플리터(69)와 진공챔버(40)의 창유리(반사방지막을 입힌 것)(60)를 통해서 집속렌즈(71)에 의해 시료(42)의 박막부(3)에 집광해서 조사한다. 박막부(3)의 표면에서 반사한 광과 박막부(3)를 통해서 반대측의 표면에서 반사한 광을 빔스플리터(69)에서 반사시켜서 간섭시키고 집광렌즈(72)에서 집광하여 이 간섭광을 포토다이오드 등의 광전변환소자를 사용한 간섭검출기(11)로 검출한다.

이 장치의 동작기구에 대해서 설명하면 집속이온빔 가공장치의 주요부에서는 이온빔 광학계(21), x, y 스테이지(39), 상관촬영의 화상표시모니터(37), 각종 제어계 등에 의해 실시예 1에서 설명한 것과 동일한 조작방법 따라 범위치의 드리프트를 보정하면서 집속이온빔 가공영역과 관찰영역을 소정의 관계로 유지하면서 가공을 진행시킨다. 한편, 막두께 모니터 부에서는 가공중의 막두께를 모니터하고, 이 막두께정보를 집속이온빔가공의 제어계로 피드백해서 시료박막부(3)의 두께가 미리 정해진 목적의 막두께로 될 때까지 정확하게 가공한다.

이상의 장치 구성에 의해 TEM관찰용의 시료가공이 용이하게 되어 막두께 100~200nm정도의 매우 얇으며, 또한 균일한 막두께의 가공이 가능하게 되었다.

제21도는 집속이온빔 가공장치에 제8도에 도시한 투과광의 간섭검출장치를 설치한 본 발명의 주요부 단면 개략도이다.

이 예도 집속이온빔의 조사계 및 상관촬영의 화상표시모니터계에 대해서는 제20도에 도시한 실시예3의 경우와 기본적으로 동일한 구조이므로 다음의 설명에서는 이들 부분의 설명을 생략하고, 가공중의 박막부(3)의 막두께를 측정하는 막두께 모니터계를 주제로 해서 설명한다.

도시한 바와 같이, 레이저광원(61)로부터의 빔을 빔신장기(68)에 의해 확대하고, 오목렌즈를 통해서 서벌트판(복굴절프리즘)(73)에 의해 P편광빔(75)과 S편광빔(76)으로 분할하고, P편광빔이 시료(42)의 박막부(3)를 통과하고, S편광빔(76)이 박막부(3)를 통과하지 않도록 집광렌즈(71) 등으로 이루어지는 광학계를 구성한다. 이들 빔을 렌즈(71)와 창유리(70)를 통과시켜서 서벌트판(703)에 의해 재차 하나의 빔에 맞추고 양빔의 편광방향에 대해서 서로 45° 방향의 편광방향으로 되도록 설치한 편광판(74)을 통과시켜서 편광간섭시키고, 이 간섭광을 간섭검출기(11)에 의해 검출하는 구성으로 한 것이다.

실시예3에 설명한 제20도에서는 박막부의 반사율이나 투과율이 적절하지 않으면 좋은 간섭이 얻어지지 않는 경우가 있을 수 있지만 본 실시예에 의하면 반사율이 낮은 경우에도 간섭을 얻기 쉽다는 효과를 갖고 있다.

제22도는 집속이온빔 가공장치에 제9도에 도시한 투과광의 광량검출장치를 설치한 본 발명의 장치의 주요부 단면개략도이다.

이 예도 집속이온빔의 조사계 및 상관촬영의 화상표시모니터계에 대해서는 제20도에 도시한 실시예3의 경우와 기본적으로 동일한 구성이므로 다음의 설명에서는 이들 부분의 설명을 생략하고, 가공중의 박막부(3)의 막두께를 측정하는 막두께모니터계를 주제로 해서 설명한다.

도시한 바와 같이, 시료의 박막부(3)를 투과하는 광을 생성하는 광원(61)(물론 레이저광원도 사용가능)로부터의 빔을 콜리메이팅 광학계(77)와 창유리(70)를 통과시키고, 집광렌즈(71)에 의해 시료(42)의 박막부(3)를 통과시켜 박막부에 의한 광의 흡수를 광강도검출기(12)에 의해 검출하는 구성으로 한 것이다.

제20도에서는 빔스플리터를 조립할 필요가 있지만 본 실시예에서는 이들이 필요하지 않으므로 장치가 저렴하고 조정도 용이하다는 효과가 있다.

제23도는 집속이온빔 가공장치에 제11도에 도시한 시트형상 빔의 투과광의 광량검출장치를 설치한 본 발명의 장치의 주요부 단면개략도이다.

이 예도 집속이온빔의 조사계 및 상관촬영의 화상표시모니터계에 대해서는 제20도에 도시한 실시예3의 경우와 기본적으로 동일한 구조이므로 다음의 설명에서는 이들 부분의 설명을 생략하고, 가공중의 박막부(3)의 막두께를 측정하는 막두께모니터계를 주제로 해서 설명한다.

도시한 바와 같이 광원(61)로부터의 빔을 콜리메이팅광학계(77)와 창유리(71)를 통해서 원통형렌즈(78)에 의해 시트형상의 빔으로 해서 시료(42)의 박막부(3)를 통과시키고, 그 시트형상 빔을 원통형렌즈(78)을 2개 사용해서 광전변환소자어레이(예를 들면 CCD센서)로 이루어지는 광강도검출기(12)로 집광하여 박막부

에 의한 광의 흡수의 분포(시트빔의 긴쪽방향을 따른 분포)를 측정하는 구성으로 한 것이다.

제20도~제22도에서는 박막부의 막두께의 분포(예를 들면 상부에서 얇고 하부에서 두꺼운 등)를 얻는 것은 곤란하지만 본 실시예에 의하면 박막부의 상하방향의 막두께의 분포를 알 수 있으므로 만약 분포가 좋지 않은 경우에는 이온빔의 조사각도를 조정하는 등에 의해 용이하게 조정할 수 있다.

제24도는 집속이온빔 가공장치에 제14도와 제15도에 도시한 강도변조레이저광을 조사했을 때의 박막부(3)의 변형량, 또는 열팽창량을 레이저간섭을 사용해서 정밀하게 측정하는 장치를 설치한 본 발명의 장치의 주요부 단면개략도이다.

이 예도 집속이온빔의 조사계 및 상관촬영의 화상표시모니터계에 대해서는 제20도에 도시한 실시예3의 경우와 기본적으로 동일한 구조이므로 다음의 설명에서는 이들 부분의 설명을 생략하고 가공중의 박막부(3)의 막두께를 측정하는 막두께모니터계를 주제로 해서 설명한다.

도시한 바와 같이, 레이저 등의 광원(61a)에서 출사한 빔을 A0변조기 등의 초퍼(79)에 의해 일정한 주파수에서 강도변조한 후 빔신장기(68)에 의해 확대하고, 다이크로익미러(80)와 창유리(70)를 통과시켜서 집광렌즈(71)에 의해 시료(42)의 박막부(3)에 집광해서 조사한다. 박막부에서는 상기 강도변조주파수와 동기된 주기적인 열팽창변위가 발생한다.

한편, 레이저 등의 가간섭성광원(61b)에서 출사한 빔을 빔신장기(68)에 의해 확대하고, 빔스플리터(69)에 의해 2개의 빔으로 분리하며, 한쪽을 다이크로익미러(80)로 반사시키고 창유리(70)를 통과시켜서 집광렌즈(71)에 의해 시료(42)의 박막부(3)의 상기 강도변조광의 집광부와 동일한 위치에 집광해서 조사한다. 그 반사광과 상기 빔스플리터(69)에 의해 분리되어 참조미러(83)에 의해 반사된 참조광을 간섭시켜 간섭광을 집광렌즈(71)에 의해 집광하여 포토다이오드 등의 광전변환소자를 사용한 간섭검출기(12)에 의해 검출한다. 검출신호는 록인앰프(81)등의 동기검파회로로 전송되어 강도변조신호를 참조신호로 해서 열팽창성분의 진폭과 위상이 추출된다.

본 실시예에서는 제20도~제22도와 같이 박막부를 투과하는 광을 이용하고 있지 않으므로 박막부의 광투과율이 낮고 투과광강도가 불충분한 경우에도 광의 흡수에 의한 열팽창변위는 얻어지므로 박막부의 두께를 알 수 있는 효과가 있다.

제25도는 집속이온빔 가공장치에 제12도에 도시한 투과전자빔을 측정하는 장치를 설치한 본 발명의 장치의 주요부 단면개략도이다.

도시한 바와 같이, 시료실 챔버(40)에는 집속이온빔 광학계(21), 전자총(13), 2차전자검출기(56), 시료를 투과한 전자빔의 검출기(16)와 스테이지(39)가 마련되어 있다. 스테이지(39)상에는 제3도에 도시한 바와 같이 가공되는 시료(42)가 탑재되어 있다. 시료(42)를 가공하기 위한 집속이온빔(25)은 편향컨트롤러(30)로부터의 신호를 편향전극(31)에 인가하는 것에 의해 편향주사된다.

전자빔(14)은 전자빔 편향컨트롤러(57)로부터의 신호를 편향전극(58)에 인가하는 것에 의해 편향주사된다.

집속이온빔(25)의 조사에 의해 얻어지는 2차전자와 전자빔(14)의 조사에 의해 얻어지는 2차전자는 2차전자검출기(56)에 의해 검출되고, 집속이온빔(25)의 조사에 의해 얻어지는 2차전자상은 시료(42)의 평면관찰에, 또 전자빔(14)의 조사에 의해 얻어지는 2차전자상은 가공된 시료박막부의 단면관찰에 각각 이용된다.

또, 시료(42)의 박막부를 투과한 전자빔은 전자빔 검출기(16)에 의해 검출되어 박막부의 막두께 또는 막두께분포의 측정에 이용된다.

2차전자 검출기(56)의 출력과 전자빔 검출기(16)의 출력은 전자빔 출력전환기(59)에 입력된다. 이 전환기(59)중에는 후술하는 바와 같이 저주파패스필터와 고주파패스필터도 구비되어 있다. 전자빔 편향신호와 집속이온빔 편향신호는 편향신호 전환기(60)에 입력된다.

이들 전환기(59), (60)에 의해 주사이온상(SEM상)을 보는 경우는 이온빔편향신호와 2차전자 검출출력을 화상표시모니터(37)에 입력한다.

주사전자상(SEM상)을 보는 경우에는 전자빔 편향신호와 2차전자검출출력을 화상표시모니터(37)에 입력한다.

투과전자빔 강도분포를 보는 경우는 전자빔 편향신호와 투과전자빔검출기출력을 화상표시모니터(37)에 입력한다.

물론 주사이온상을 얻기 위한 검출기로서는 제20도 등에 도시한 바와 같이 마이크로채널플레이트(35)라도 좋다. 또, 제25도에서는 장치구성을 저렴한 것으로 하기 위해 화상표시모니터(37)를 1대로 했지만 이것에 한정될 필요는 없고 2대 이상 설치하여 주사이온상, 주사전자상과 투과전자빔상을 각각 전용의 화상표시모니터에 투영할 수도 있다.

집속이온빔(25)과 전자빔(14)의 2개의 빔의 조사방법에 대해서는 동시 또는 시간을 나누어 각각 조사하는 것이 가능하다. 동시에 조사하면 이온빔에 의해 가공하면서 가공단면의 주사전자상(SEM상)을 동시에 관찰할 수 있다.

화상표시모니터(37)가 2대 있는 경우에는 SEM상과 주사이온상(SEM상)을 동시에 관찰할 수 있다. 그러나, 동시주사인 경우는 2차전자검출기(56)가 포착하는 2차전자신호는 제26도(a)에 도시한 바와 같이 전자빔에 의한 2차전자신호(66)와 집속이온빔에 의한 것의 (67)이 중첩된 것으로 되고, 그대로 이 신호를 사용해서 SEM상이나 SEM상을 투영하면 노이즈가 많은 화면으로 된다.

주사속도에 관해서는 집속이온빔가공에서 주사속도를 빠르게 한 쪽이 가공면이 평평하게 마무리되므로 하나의 면을 주사하는 시간을 예를 들면 1ms정도의 빠른 속도로 집속이온빔을 주사하는 한편 하나의 면을

주사하는 시간을 예를 들면 1s정도의 느린 속도로 전자빔을 주사하면 좋다. 그러면, 제26도(b)에 도시한 바와 같이 전자빔에 의한 신호(66)는 저주파수성분이 주체로 되고, 이온빔에 의한 신호(67)는 고주파수성분이 주체로 된다.

그래서, 전환장치(59)내에 마련된 필터(도시하지 않음)를 사용하여 SEM상을 얻는 경우에는 저주파패스 필터를 통과한 2차전자신호를 사용하고, SEM상을 얻는 경우에는 고주파패스 필터를 통과한 2차전자신호를 사용하면 SEM상과 SEM상 모두 양호한 상이 얻어진다.

이 방식은 TEM관찰용 시료를 작성하는 경우 뿐만 아니라 단면SEM관찰용 시료의 가공시에도 단면SEM상을 보면서 집속이온빔 가공을 할 수 있으므로 보다 정밀도 좋게 가공상태를 파악하여 마무리가 양호한 가공 효과를 얻을 수 있는 효과가 있다.

제27도는 집속이온빔 가공장치에 제9도에 도시한 투과광을 측정하는 방법에 있어서 특히 집속한 관찰광을 주사해서 주사투과광상을 얻는 장치를 설치한 본 발명의 장치의 주요부 단면개략도이다.

이 예도 집속이온빔의 조사계 및 상관관찰용의 화상표시모니터계에 대해서는 제20도에 도시한 실시예3의 경우와 기본적으로 동일한 구조이므로 다음의 설명에서는 이를 부분의 설명을 생략하고, 가공중의 박막부(3)의 막두께를 측정하는 막두께모니터계를 주체로 해서 설명한다.

도시한 바와 같이 시료실챔버(40)에는 집속이온빔광학계(21)와 집속레이저빔 조사장치(34)(레이저광원(61)과 검류계(63)를 내장), 2차이온검출용 MCP(35), 시료(42)를 투과한 레이저빔의 검출기(12) 및 스테이지(39)가 마련되어 있다. 스테이지(39)상에는 시료(42)가 탑재되어 있다.

레이저빔의 관찰광(14)은 레이저빔편향컨트롤러(62)로부터의 신호를 검류계(63)에 인가하는 것에 의해 편향주사된다. 시료(42)의 박막부를 투과한 레이저빔은 광검출기(12)에 의해 검출된다. 레이저빔편향컨트롤러(62)로부터의 편향신호와 광검출기(12)로부터의 투과광신호는 화상표시모니터(37b)에 입력되고 주사투과광상을 투영하여 박막부의 막두께분포를 알 수 있다. 한편, SEM상에 대해서는 화상표시모니터(37a)에 제25도와 동일한 방법으로 투영되어 시료표면의 관찰을 할 수 있다.

이상의 구성에 의해 집속이온빔으로 시료표면을 가공하면서 가공된 박막부의 투과광상을 볼 수 있으므로 가공두께를 용이하게 판단할 수 있다.

본 실시예에 의하면 박막부의 가공두께의 분포(제23도에서는 상하방향밖에 알 수 없었지만)를 상하방향으로도 좌우방향으로도 가공 중에 알 수 있으므로 이온빔의 조사위치나 각도를 미세하게 조정할 수 있기 때문에 보다 정밀도가 높은 가공결과를 높은 성공률로 얻을 수 있는 독특한 효과가 있다.

이상 상세하게 기술한 바와 같이, 본 발명에 의해 소기의 목적을 달성할 수 있었다. 즉, 시료상에 마크를 형성하고 이것을 SEM상으로 관찰할 때 박막부에 집속이온빔을 조사하지 않도록 하는 것에 의해 집속이온빔의 위치드리프트가 있어도 정밀도 좋게 박막부를 가공할 수 있다. 또, 박막부의 두께를 가공 중에 모니터 하는 방법으로써 광을 사용하는 것에 의해 저렴한 장치에 의해 적절한 베어들어감량을 설정할 수 있다. 또, 광이나 전자빔에 의한 박막부의 막두께분포를 측정할 수 있으므로, 이것에 의해 TEM시료를 높은 성공률로 단시간에 적절한 두께로 마무리할 수 있어 TEM관찰의 능률을 비약적으로 향상시키는 효과가 얻어진다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

투과전자 현미경으로 관찰하기 위한 시료작성방법으로써, 시료에 집속이온빔을 주사해서 조사하는 것에 의해 상기 시료의 일부를 투과전자 현미경으로 관찰할 수 있는 박막형상으로 가공하는 스텝, 상기 가공하는 스텝의 도중에 하전입자빔을 상기 박막형상으로 가공하는 부분에 조사하는 일없이 상기 시료상에 주사해서 조사하고, 상기 시료에 마련한 위치검출용 마크를 2차하전입자상으로써 관찰하는 스텝 및 상기 관찰한 결과에 따라서 상기 가공하는 스텝의 도중에 상기 집속이온빔의 위치드리프트를 보정하는 스텝을 포함하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 하전입자빔은 상기 가공하는 스텝에서 사용하는 상기 집속이온빔인 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 시료의 가공 중에 상기 집속이온빔의 조사에 의해 박막형상으로 가공된 부분의 막두께를 모니터 하는 스텝을 또 포함하고, 상기 막두께를 모니터 하는 것에 의해 상기 박막형상으로 가공하는 부분을 미리 정해진 소정의 막두께로 가공하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 막두께의 모니터를 광의 간섭을 검출하는 것에 의해 실행하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 막두께의 모니터를 광의 투과량을 검출하는 것에 의해 실행하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 막두께의 모니터를 시트광의 간섭을 검출하는 것에 의해 실행하는 것을 특징으로

하는 시료작성방법.

청구항 7

제3항에 있어서, 상기 막두께의 모니터를 주사레이저빔광의 투과광을 검출하는 것에 의해 실행하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 8

제3항에 있어서, 상기 막두께의 모니터를 전자빔의 투과량을 검출하는 것에 의해 실행하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 9

제3항에 있어서, 상기 막두께의 모니터를 주사전자빔의 투과상을 검출하는 것에 의해 실행하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 10

제3항에 있어서, 상기 막두께의 모니터를 펄스레이저빔의 조사에 의한 박막의 변형량을 검출하는 것에 의해 실행하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 집속이온빔의 조사에 의한 상기 박막의 가공 중에 상기 박막의 가공면의 기울기를 모니터 하는 스텝을 또 포함하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 박막의 가공면의 기울기의 모니터를 상기 가공면에 광을 조사해서 상기 조사한 광의 반사각도를 계측하는 것에 의해 실행하는 것을 특징으로 하는 시료조사방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 하전입자빔은 전자빔으로써, 상기 전자빔을 상기 집속이온빔의 주사속도와는 크게 다른 주사속도로 상기 박막형상으로 가공하는 부분에 조사하는 일없이 상기 시료상에 주사해서 조사하고, 상기 조사에 의해 상기 시료에서 발생하는 2차하전입자를 검출하고, 상기 검출된 2차하전입자의 신호를 필터를 통해서 노이즈를 제거하며, 상기 노이즈가 제거된 상기 2차하전입자의 신호를 사용해서 주사전자상 또는 주사이온상을 표시하는 것을 특징으로 하는 시료작성방법.

청구항 14

투과전자 현미경으로 관찰하기 위한 시료를 작성하는 장치로써, 고휘도 이온빔을 발생시키는 고휘도이온원, 상기 발생시킨 고휘도 이온빔을 미세한 스폿현상으로 집속시켜서 시료상에 주사해서 조사하는 이온빔 조사수단, 상기 집속한 이온빔의 조사에 의해 상기 시료에서 발생하는 2차하전입자를 검출하는 2차하전입자 검출수단, 상기 2차하전입자 검출수단에 의해 검출한 상기 2차하전입자의 검출신호에 따라서 2차하전입자상을 표시하는 2차하전입자상 표시수단, 상기 이온빔 조사수단에 의해 상기 집속한 이온빔을 조사해서 상기 시료의 일부를 박막형상으로 가공하는 도중에 상기 2차하전입자상 표시수단에 의해 상기 시료의 상기 가공의 위치검출용 마크가 형성된 표면의 2차하전입자상을 표시할 때 상기 2차하전입자상에 상기 박막형상으로 가공하는 가공면이 포함되지 않도록 상기 집속한 이온빔의 상기 시료상으로의 조사영역을 제어하는 조사영역 제어수단 및 상기 2차하전입자상 표시영역에 의해 표시된 상기 시료표면의 상기 가공의 위치검출용 마크에 따라서 상기 가공의 도중에 상기 집속이온빔의 위치드리프트를 보정하는 보정수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 시료의 일부에 박막형상으로 가공한 부분의 막두께를 측정하는 막두께 측정수단을 또 포함하는 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 막두께 측정수단을 상기 박막형상으로 가공한 부분에 광을 조사하는 광조사부 및 상기 광조사부에 의해 조사된 광에 의해 상기 박막형상으로 가공한 부분에서 발생하는 간섭광을 검출하는 간섭광 검출부로 구성된 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 17

제15항에 있어서, 상기 막두께 측정수단을 상기 박막형상으로 가공한 부분에 광을 조사하는 광조사부 및 상기 광조사부에 의해 조사되어 상기 박막형상으로 가공한 부분을 투과한 광의 투과량을 검출하는 광투과량 검출부로 구성된 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 18

제15항에 있어서, 상기 막두께 측정수단을 상기 박막형상으로 가공한 부분에 시트형상의 광을 조사하는 시트광 조사부 및 상기 시트광 조사부에 의해 조사되어 상기 박막형상으로 가공한 부분을 투과한 광의 투과량을 검출하는 광투과량검출부로 구성된 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 19

제15항에 있어서, 상기 막두께 측정수단을 상기 박막형상으로 가공한 부분에 레이저빔을 주사해서 조사하

는 레이저빔 조사부, 상기 레이저빔 조사부에 의해 조사되어 상기 박막형상으로 가공한 부분을 투과한 레이저의 투과량을 검출하는 레이저투과량 검출부 및 상기 레이저투과량 검출부에 의해 검출한 상기 레이저에 따라서 상기 박막형상으로 가공한 부분의 투과상을 표시하는 투과상 표시부로 구성된 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 20

제15항에 있어서, 상기 막두께 측정수단을 상기 박막형상으로 가공한 부분에 전자빔을 주사해서 조사하는 전자빔 조사부, 상기 전자빔 조사부에 의해 조사되어 상기 박막형상으로 가공한 부분을 투과한 상기 전자빔을 검출하는 전자투과량 검출부 및 상기 전자투과량 검출부에 의해 검출한 상기 전자빔에 따라서 상기 박막형상으로 가공한 부분의 투과상을 표시하는 주사전자 투과상표시장치로 구성된 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 21

제15항에 있어서, 상기 막두께 측정수단을 상기 박막형상으로 가공한 부분에 펄스레이저를 조사하는 펄스레이저 조사부 및 상기 펄스레이저 조사부에 의해 펄스레이저를 조사하는 것에 의해 발생하는 상기 박막형상으로 가공한 부분의 변형량을 검출하는 검출부로 구성된 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 22

제14항에 있어서, 상기 박막형상으로 가공한 부분의 가공면의 기울기를 측정하는 기울기 측정수단을 또 포함하는 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 기울기 측정수단은 상기 박막형상으로 가공한 부분의 가공면에 광을 조사하는 광 조사부 및 상기 가공면에서 반사된 광의 반사위치를 검출하는 검출부로 구성된 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 24

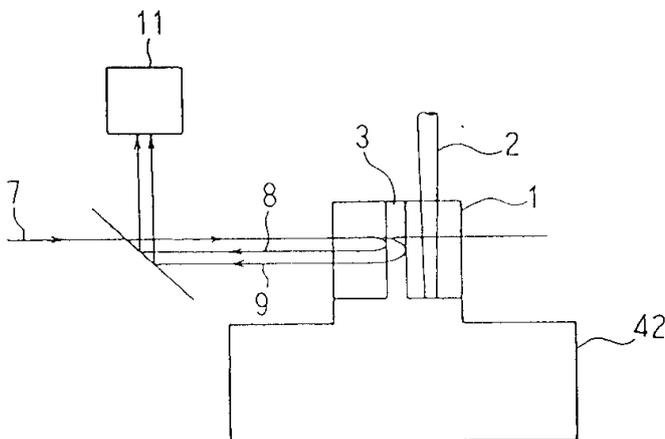
투과전자 현미경으로 관찰하기 위한 시료를 작성하는 장치로써, 고휘도 이온빔을 발생시키는 고휘도 이온원, 상기 발생시킨 고휘도 이온빔을 미세한 스폿형상으로 집속시켜서 시료상에 주사해서 조사하는 이온빔 조사수단, 전자빔을 집속시켜서 상기 시료상에 주사해서 조사하는 전자빔조사수단, 상기 집속한 이온빔 및 상기 집속한 전자빔의 조사에 의해 상기 시료에서 발생하는 2차하전입자를 검출하는 2차하전입자 검출수단, 상기 2차하전입자 검출수단에 의해 검출한 상기 2차하전입자의 검출신호에 따라서 2차하전입자상을 표시하는 2차하전입자상 표시수단, 상기 집속한 이온빔을 조사해서 상기 시료의 일부를 박막형상으로 가공하는 상기 시료의 가공영역과 상기 2차하전입자상을 얻기 위한 상기 시료의 표면의 관찰영역에 각각 상기 집속한 이온빔을 조사할 때 상기 관찰영역에 상기 가공영역의 상기 박막형상의 가공면이 포함되지 않도록 상기 집속한 이온빔의 상기 시료상으로의 조사영역을 제어하는 조사영역제어수단 및 상기 시료표면의 상기 2차하전입자상에 따라서 상기 집속이온빔의 위치드리프트를 보정하는 보정수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

청구항 25

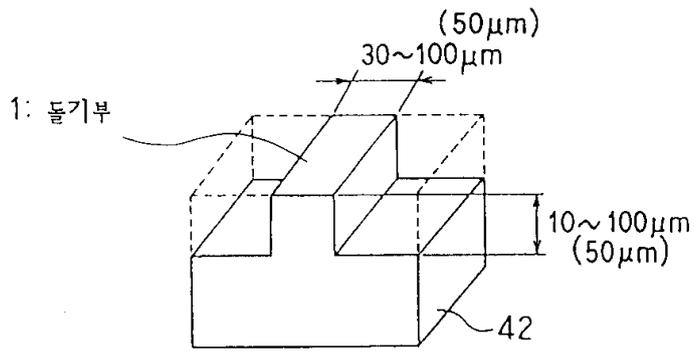
제15항에 있어서, 상기 전자빔 조사수단에 의해 주사해서 조사되어 상기 시료를 투과한 전자빔을 검출하는 전자투과량 검출수단, 상기 전자투과량 검출수단에 의해 검출한 상기 전자빔에 따라서 상기 시료의 투과상을 표시하는 주사전자투과상 표시수단을 또 포함하는 것을 특징으로 하는 시료작성장치.

도면

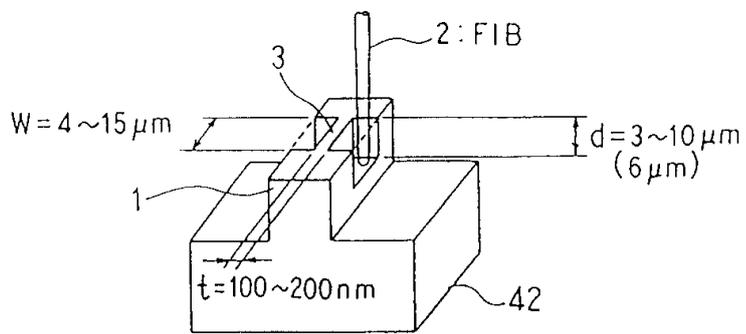
도면1



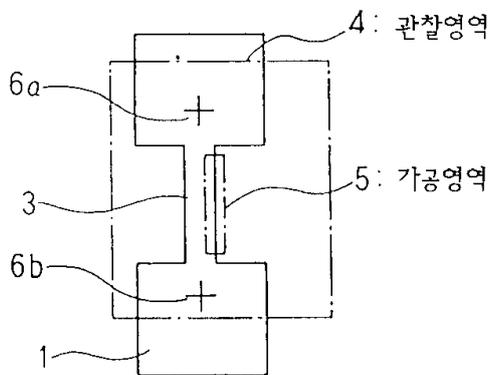
도면2



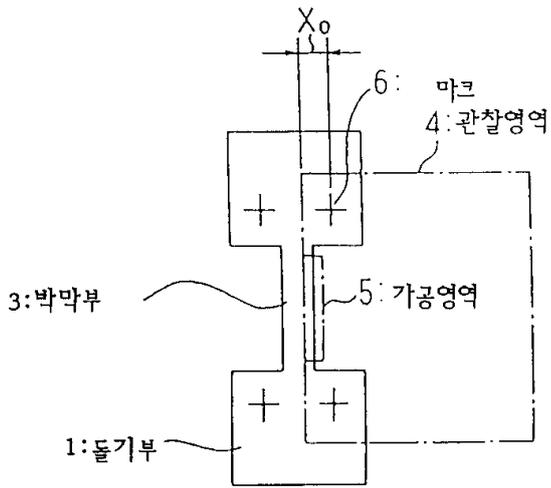
도면3



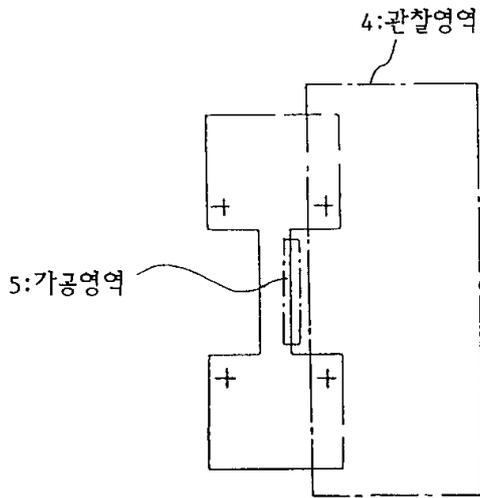
도면4



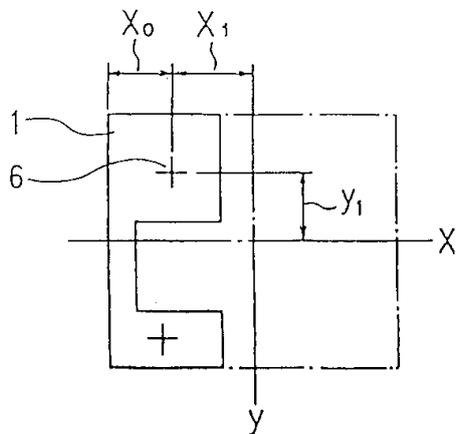
도면5a



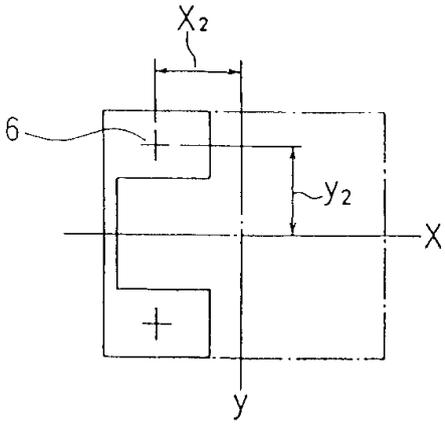
도면5b



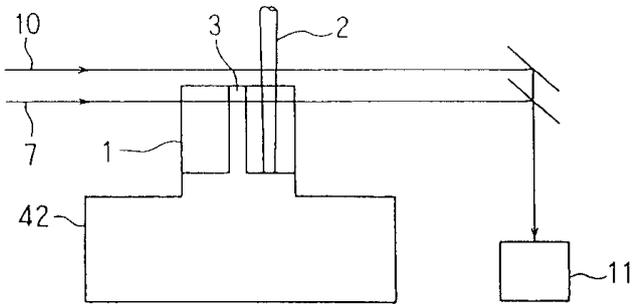
도면6



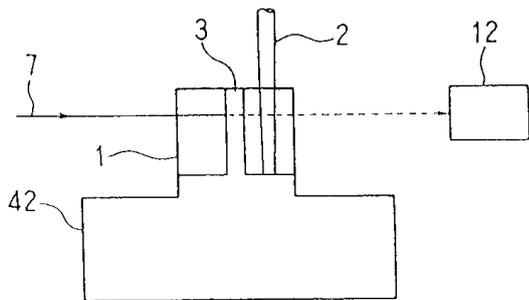
도면7



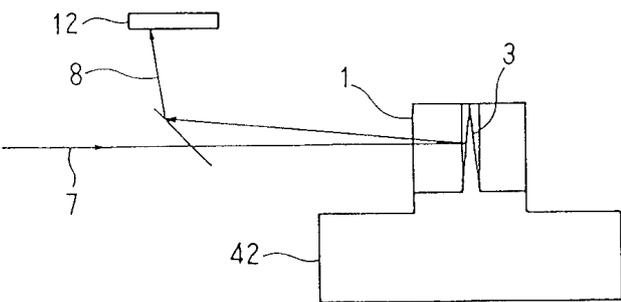
도면8



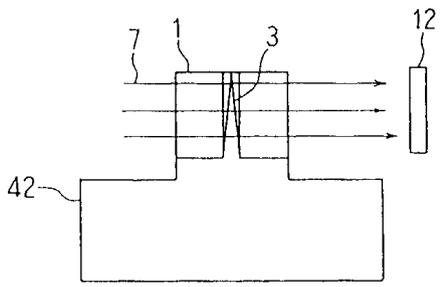
도면9



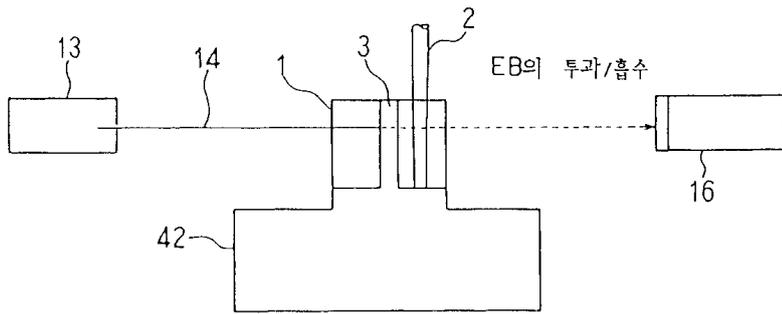
도면10



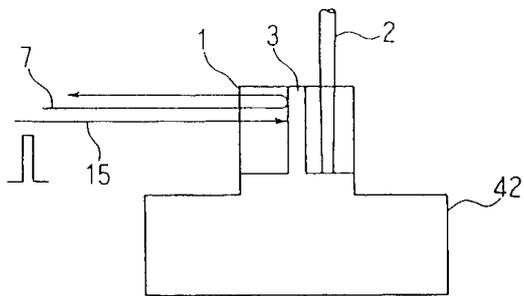
도면11



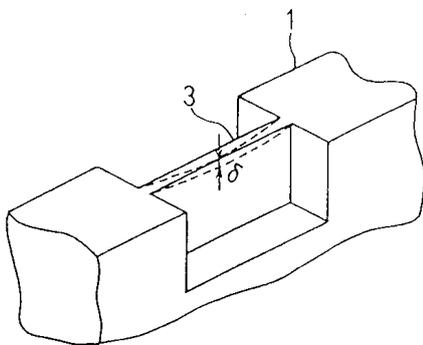
도면12



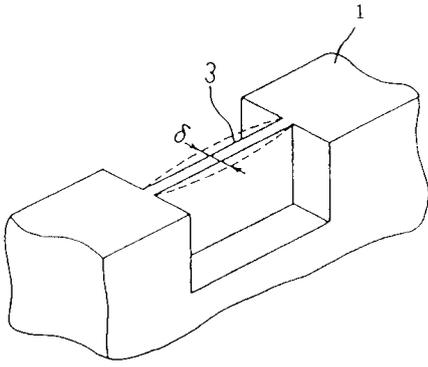
도면13



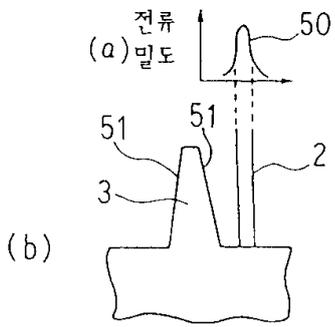
도면14



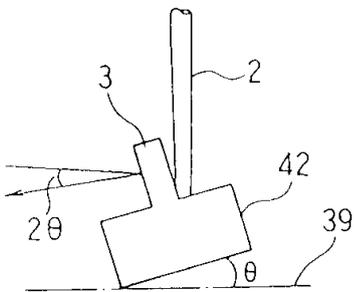
도면15



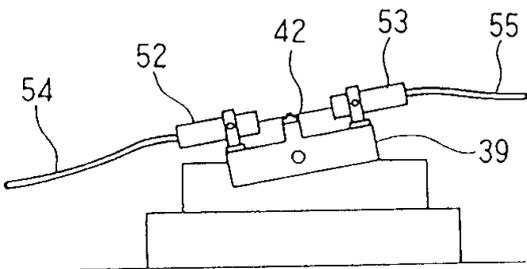
도면16



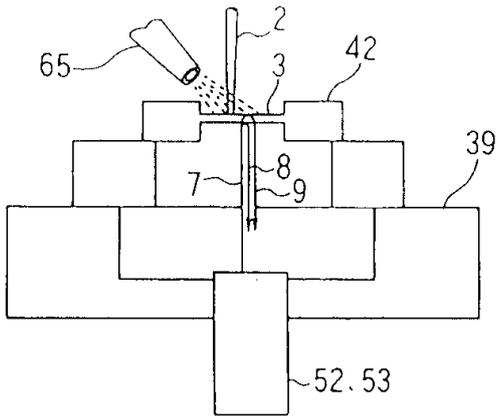
도면17



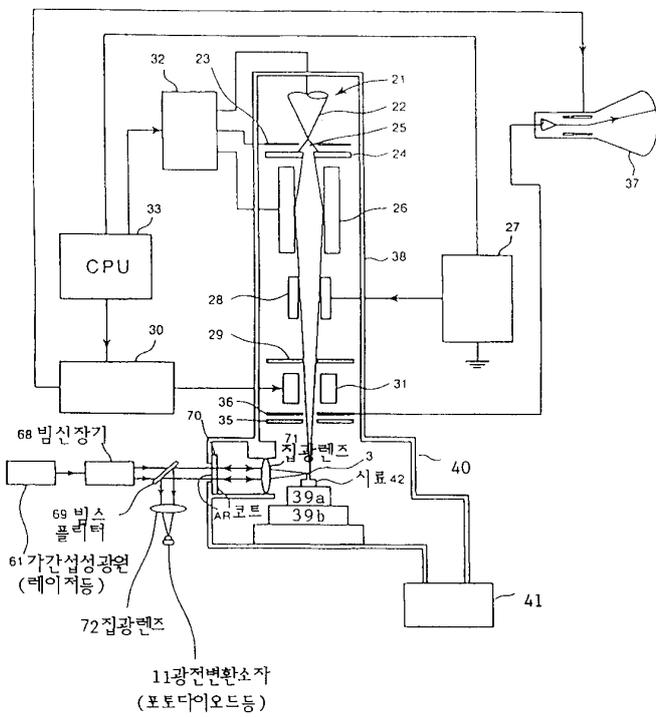
도면18



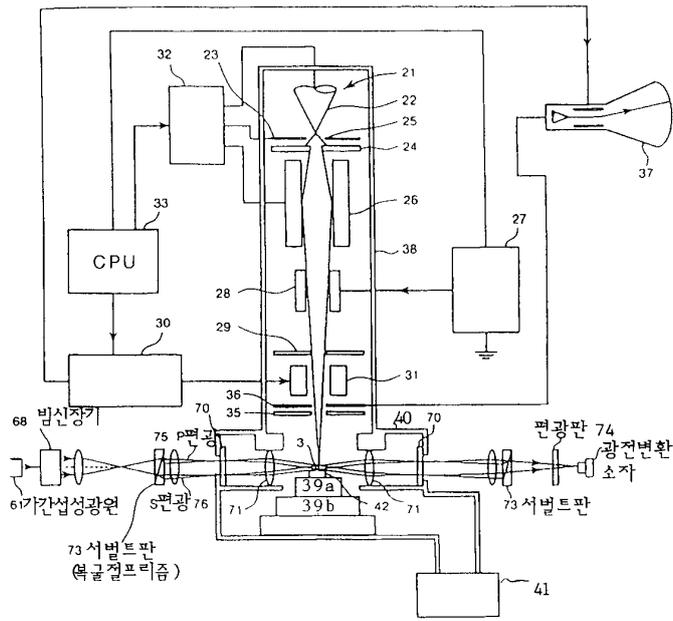
도면19



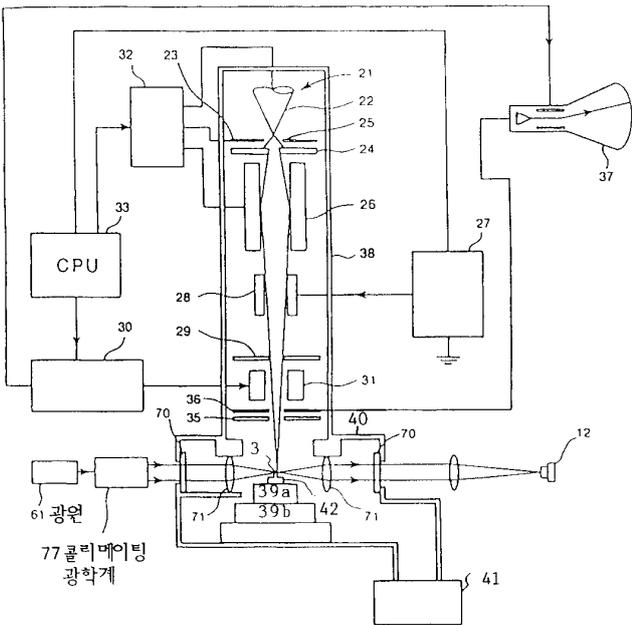
도면20



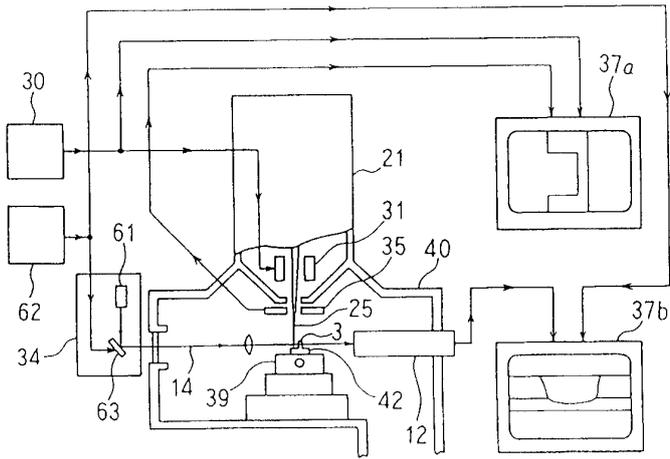
도면21



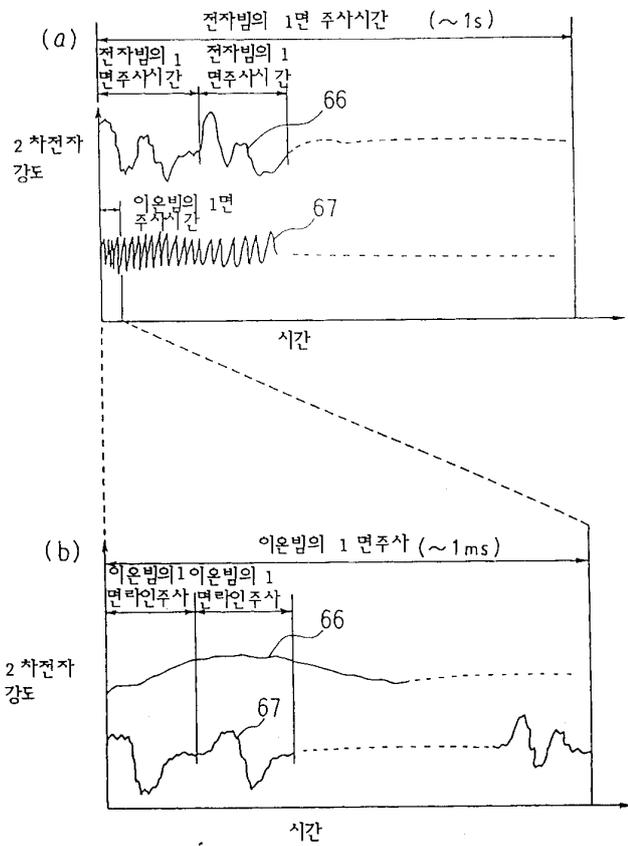
도면22



도면25



도면26



도면27

