

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(10) 국제공개번호

WO 2017/204380 A1

2017년 11월 30일 (30.11.2017) WIPO | PCT

(51) 국제특허분류:

G01J 3/02 (2006.01)

G01Q 30/02 (2010.01)

G01J 3/06 (2006.01)

(21) 국제출원번호:

PCT/KR2016/005545

(22) 국제출원일:

2016년 5월 26일 (26.05.2016)

(25) 출원언어:

한국어

(26) 공개언어:

한국어

(30) 우선권정보:

10-2016-0064041 2016년 5월 25일 (25.05.2016) KR

(71) 출원인: 한국표준과학연구원 (KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE) [KR/KR]; 34113 대전시 유성구 가정로 267, Daejeon (KR).

(72) 발명자: 오가와타카시 (OGAWA, Takashi); 34127 대전시 유성구 죽동로279번길 5-17, 202, Daejeon (KR). 김주황 (KIM, Ju Hwang); 34120 대전시 유성구 가정로 65, 101-504, Daejeon (KR).

(74) 대리인: 문환구 (MOON, Hwan-Goo); 06224 서울시 강남구 논현로412,603호, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT,

AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

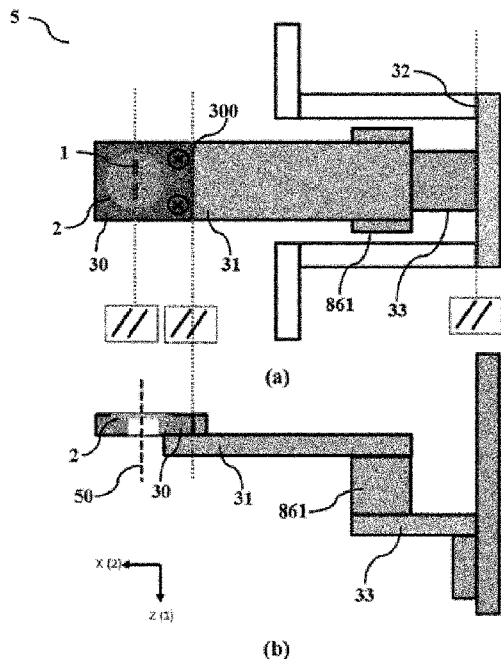
공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING MONOCHROMATOR

(54) 발명의 명칭: 모노크로미터의 제조방법

[도10]



(57) Abstract: The present invention relates to a method for minutely and precisely processing an energy-selecting slit for selecting an electron beam which dispersedly proceeds depending on energy distribution while passing through an electrode part of a monochromator disposed in an electron beam apparatus. A rectangular slit of the present invention is processed by a focused-ion beam apparatus (FIB) in order to minutely and precisely process a width of the slit for energy selection, and the processed slit is measured by a scanning electron microscope or a transmission electron microscope. Also, an apparatus having both an FIB and an electron microscope installed therein may be used to simultaneously perform processing and (in-situ) measurement to shorten a time for moving between the apparatuses, reduce manufacturing costs, and increase precision in processing a slit. Further, the dimensional precision of a slit can be improved through the accurate size of the slit, an inspection on whether a slit has a contaminated particle attached thereto, an inspection on whether an electron beam passes through a part other than the slit, and an inspection of static electricity of the slit. Therefore, the present invention can implement an aperture part including a slit having an improved space resolution and energy resolution and thus enables manufacture of a high performance monochromator.

[다음 쪽 계속]



(57) 요약서: 본 발명은 전자선장치에 구비되는 모노크로미터의 전극부를 통과하면서 에너지분포에 따라 분산되어 진행하는 전자선을 선택하는 에너지선택 슬릿을 미세하게 정밀가공하는 방법에 관한 것으로, 본 발명의 직사각형 슬릿은 에너지 선택을 위한 슬릿의 폭을 미세하면서도 정밀하게 가공하기 위하여 집속이온빔 장치(FIB)로 가공하고, 가공된 슬릿을 주사형 전자현미경 또는 투과형 전자현미경으로 측정한다. 또한 FIB와 전자현미경을 함께 설치한 장치를 이용하여 가공과 동시에 (in-situ) 측정을 수행하여 장치 간 이동 시간을 단축하고 제조 비용을 줄일 뿐 아니라 슬릿의 가공 정밀도를 높일 수 있으며, 슬릿의 정확한 치수, 슬릿에 부착되는 오염 입자(particle) 유무, 전자선의 슬릿 이외 부분 통과여부 및 슬릿의 정전기 검사를 통해 슬릿의 치수 정밀도를 개선하여 공간 분해능과 에너지 분해능이 향상된 슬릿을 갖춘 조리개부를 구현하여 궁극적으로 고성능 모노크로미터를 제조할 수 있다.

명세서

발명의 명칭: 모노크로미터의 제조방법

기술분야

- [1] 본 발명은 전자선장치에 구비되는 에너지선택을 위한 슬릿이 형성된 조리개부를 구비한 모노크로미터의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 전극부를 통과하면서 에너지분포에 따라 분산되어 진행되는 전자선을 선택할 수 있도록 정밀가공된 에너지선택 슬릿을 구비한 모노크로미터의 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 움직이는 전자는 정전기장 또는 자기장으로 경로를 변경할 수 있으므로, 여러 개의 전자가 함께 움직이는 전자선의 진행방향을 조정하거나 전자선을 집속 또는 분산하는 기능을 하는 전자 경로조정 장치를 빛의 경로를 조정하는 광학계에 빔대어 전자광학계라고 한다.
- [3] 전자선은 음극(cathode)에서 얻으며, 대개 텅스텐(W) 표면에 산화 지르코니아(ZrO)로 피복한 쇼트키형(Schottky) 전자원 또는 냉음극전계 방출전자원(Cold field emission electron source)에서 얻는다. 이러한 전자선에서는 빔을 이루는 전자가 평균적으로 가지는 일정한 에너지 범위를 벗어나는 전자가 존재하고, 일정한 에너지 범위를 전제로 하여 조절된 전자광학계에서 이러한 전자의 경로는 설정된 경로 범위를 벗어나게 되어, 빔 직경을 증가시키는 원인이 된다.
- [4] 전자선에서 중심 에너지 범위의 입자를 선택하고 그 범위를 벗어나는 에너지를 가지는 입자를 제거하는 단색화장치인 모노크로미터(Monochromator)는 전기장과 자기장을 함께 사용하는 비인 필터(Wien filter)형 모노크로미터, 전자선을 원통형 렌즈가 형성하는 정전기장 내부에서 원운동시키는 정전기장 모노크로미터 및 진행되는 전자선이 비대칭 정전기장에 입사하여 경로가 이동되는 펄렌스테트 에너지 분석기(Mollenstedt Energy Analyzer)형 모노크로미터 등이 있다.
- [5] 여기서 원통형 렌즈는 중심에 직사각형의 개구부를 가진 복수개의 전극으로 구성되어 중심 전극에 전자를 감속하는 고전압이 인가되고, 전후 양측의 두 개의 전극은 동일한 전압으로 하는 전자 렌즈로, 복수개의 전극 사이에는 절연재가 구비된다. 고전압이 인가된 중심 전극 부근에서 전자의 에너지가 거의 0까지 줄어들고, 렌즈의 광축 외부를 통과하는 성분이 선택되며, 렌즈 축의 색수차에 의해 발생하는 에너지 분산을 이용하여 하전 입자의 에너지를 분석하는 방식이다. 전자원에서 중심축을 벗어난 성분을 에너지 조리개(aperture)로 걸러내고, 정전렌즈의 중심축 밖을 통과시켜 에너지를 분광하여, 중심 에너지부만 선택하는 모노크로미터로, 주사전자현미경(SEM)과 같은 전자빔

장치에 이용될 수 있다. 이러한 모노크로미터는 전자선의 색수차 영향을 감소시켜 영상 분해능을 향상시키게 된다.

- [6] 대한민국 공개특허 2015-0146079는 모노크로메이터 및 이를 구비한 전자빔 장치에 관한 것으로, 각각 복수 개의 전극을 포함하는 두 정전렌즈와 그 사이에 구비된 에너지 조리개(aperture)로 구성된 단색화장치에 관한 기술을 개시하고 있다. 그러나 상기 공개특허는 일반 광학계를 사용하려면 조리개를 교체해야 한다는 문제가 있으며, 에너지 분해능을 높이려면 좁은 폭의 슬릿을 사용해야 하는데 이 경우 전자빔 통과에 따른 오염으로 빔 전류가 감소하고 불안정해지는 문제가 있다.

[7] [선행기술문헌]

[8] [특허문헌]

[9] 대한민국 공개특허 2015-0146079호

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [10] 본 발명은 상기한 종래의 문제점을 해결하기 위해 제안된 것으로, 슬릿이 형성된 조리개 면에 원형 개구부를 함께 설치하여 조리개 교체가 아닌 위치 이동만으로도 일반 광학계로 전환이 가능하도록, 조리개에 동일하거나 다른 크기의 슬릿을 복수개 형성하기 위하여 가공하는 집속이온빔장치(FIB, Focused Ion Beam Instrument) 가공으로 슬릿을 제조하는 방법을 제공하고자 한다. 조리개의 슬릿은 박막에 형성되기 때문에 슬릿을 FIB나 관찰용 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy) 등 여러 장치에서 이동하는 동안 직접 접촉하게 되면 손상되기 쉽다는 문제를 해결하고자 한다. 슬릿에 오염 미립자(particle)가 부착된 모노크로미터 사용시 모노크로미터의 에너지 분해능과 출사 전류가 불안정해지는 문제를 해결하고자 한다. 슬릿의 크기와 오차에 따라 모노크로미터의 에너지 분해능 및 출사 전류의 성능에 차이가 생기는 문제를 해결하고자 한다. 슬릿 가공시의 결함으로 인한 슬릿 이외의 부분을 전자선이 투과할 때 슬릿 통과 전자선과 혼동되어 에너지 분해능이 저하되는 문제를 해결하고자 한다. 중심층 박막 상하면에 형성하는 금속막 증착시 생기는 결함에서 슬릿에 비정상적인 정전기가 발생해 모노크로미터 사용시 에너지 분해능과 출사 전류가 불안정해지는 문제를 해결하고자 한다. 가공과 측정을 별도의 장비로 하는 경우, 가공장비인 FIB와 측정장치인 SEM 사이 이동으로 인한 시간 및 비용의 증가문제를 해결하고자 한다.

과제 해결 수단

- [11] 본 발명은 모노크로미터의 제조방법으로, 상기 제조방법은, 전자선장치에서 에너지 범위를 제한하는 직사각형 개구부가 있는 복수의 전극을 구비한 제1 전극부를 준비하는 단계; 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 복수개의 원형 슬릿 및 복수개의 더미(dummy) 슬릿이 형성되어 전자선이 통과할 수 있는 슬릿

가공면을 구비한 조리개부(Aperture)를 준비하는 단계; 및 슬릿의 위치를 전자선의 위치에 따라 이동 전환하기 위해 조리개의 위치를 이동 조절하는 이동조절부를 이용하여 상기 조리개부를 상기 전극부에 조립하는 단계를 포함하고, 상기 조리개부를 준비하는 단계는, 상기 슬릿 가공면에 박막층을 준비하는 단계; 상기 박막층을 FIB(focused Ion Beam)로 가공하여 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 및 복수개의 원형 슬릿을 형성하는 단계; 및 주사전자현미경(SEM) 또는 주사형투과전자현미경(STEM)으로 슬릿을 검사하는 단계를 포함하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.

- [12] 본 발명은 또한, 모노크로미터의 제조방법으로, 전자선의 입사방향(z)과 수직인 평면(xy)을 이루는 복수개의 전극으로 구성되되, 상기 복수개의 전극은 상기 입사방향(z)과 평행하게 형성된 직사각형 개구부를 구비하고, 상기 전극에 전압이 인가되면 상기 직사각형 개구부가 형성한 전기장의 정전렌즈 작용으로 상기 입사방향의 중심축(x_0y_0)을 따라 입사하는 전자선이 상기 직사각형 개구부의 짧은 변 방향(x)으로 에너지 분포에 따라 서로 다른 위치로 편향되어 상기 입사방향과 평행하게 진행하도록 하는 제1 전극부를 준비하는 단계; 상기 편향되어 진행되는 전자선 중 미리 정한 에너지 범위($E, E+\Delta E$)에 속한 입자를 미리 정한 편향 위치($x+S_x$)에서 선택적으로 통과시키도록 상기 편향되는 방향(x)이 짧은 변(S_x)으로 형성된 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 복수개의 원형 슬릿 및 복수개의 더미(dummy) 슬릿을 구비하는 조리개(Aperture)부를 준비하는 단계; 및 편향되어 진행되는 전자선의 슬릿을 전환하기 위해 위치를 이동 조절하는 이동조절부를 준비하는 단계를 포함하고, 상기 조리개부를 준비하는 단계는, 중심층의 상면 및 하면에 금속 박막을 형성한 박막층을 복수개의 슬릿을 가공되, 상기 중심층의 재질은 질화규소(Si_3N_4), 탄소(C), 플라티늄이리듐(PtIr) 또는 몰리브덴(Mo)이고 두께가 20nm 내지 500 μm 이며, 상기 금속 박막의 재질은 백금(Pt) 또는 금(Au)이고 두께는 10 내지 200nm인 박막층을 스퍼터링으로 증착하여 준비하는 단계; 상기 증착된 금속박막의 두께를 원자력 현미경(AFM)으로 측정하는 단계; 상기 박막층을 FIB(focused Ion Beam)로 가공하여 지름이 10nm 내지 500 μm 인 원형 슬릿, 및 짧은 변의 길이는 50nm 내지 100 μm 이고 긴 변의 길이는 100nm 내지 1,000 μm 인 직사각형 슬릿을 형성하는 단계; 및 주사형 전자현미경(SEM) 또는 주사형 투과전자현미경(STEM)으로 상기 형성된 슬릿의 형상을 관찰하고 치수를 측정하는 검사단계를 포함하는, 모노크로미터 제조방법을 제공한다.

- [13] 본 발명은 또한, 상기 FIB로 가공하는 단계는, 상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 FIB에 장착하고 상기 박막층을 식각하여 슬릿을 형성하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.

- [14] 본 발명은 또한, 상기 FIB로 가공하는 단계는, 상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 FIB에 장착하되, 상기 제1 전극부의 상기 직사각형 개구부의 긴 변 방향과 상기 직사각형 슬릿의 긴 변 방향의 서로 어긋나는 각도 범위가 1도

이내가 되도록 정밀 식각하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.

- [15] 본 발명은 또한, 상기 복수개의 더미(dummy) 슬릿은, 상기 원형 슬릿 또는 상기 직사각형 슬릿을 FIB(focused Ion Beam)로 가공하는 단계에서, FIB 가공 조건의 선택과 FIB 빔의 초점 및 비점 보정 조정 시 생성되는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.
- [16] 본 발명은 또한, 상기 주사전자현미경(SEM) 또는 주사형투과전자현미경(STEM)으로 슬릿을 검사하는 단계는, 상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 상기 SEM 또는 STEM에 이송하여 검사하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.
- [17] 본 발명은 또한, 상기 검사는, 상기 제1 전극부의 상기 직사각형 개구부의 긴 변 방향과 상기 직사각형 슬릿의 긴 변 방향의 서로 어긋나는 각도 범위가 1도 이내일 때 합격기준으로 하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.
- [18] 본 발명은 또한, 상기 검사는, 상기 가공된 직사각형 슬릿의 단면에 부착된 미립자의 크기가 5nm 이상일 때 불합격기준으로 하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.
- [19] 본 발명은 또한, 상기 검사는, 상기 가공된 직사각형 슬릿의 긴 변과 짧은 변의 길이 오차가 각각 설계값에 비해 1/10 이하일 때 합격기준으로 하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.
- [20] 본 발명은 또한, 상기 검사는, 상기 주사형투과전자현미경(STEM)의 상(image)을 이용하고, 상기 주사형투과전자현미경(STEM)의 전자선의 에너지가 상기 모노크로미터를 구비한 전자선 장치에서 모노크로미터를 통과한 전자선의 에너지와 같거나 클 때, 상기 가공된 슬릿 이외의 부분에서 전자가 투과하지 않는 경우 합격 기준으로 하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.
- [21] 본 발명은 또한, 상기 검사는, 상기 주사전자현미경(SEM) 상(image)을 통해 상기 박막층 표면에 대전 된 부분이 없을 때 합격기준으로 하는, 흑백 미터의 제조방법을 제공한다.
- [22] 본 발명은 또한, 상기 가공하는 단계 및 상기 검사하는 단계는, FIB 가공을 위한 시료실이 주사전자현미경(SEM) 또는 주사형투과전자현미경(STEM)의 시료실과 동일한 진공장치 내에 설치된 복합장치로 실시하는, 모노크로미터의 제조방법을 제공한다.

발명의 효과

- [23] 본 발명의 슬릿은 에너지 선택을 위한 슬릿의 폭을 미세하면서도 정밀하게 가공하기 위하여 집속이온빔 장치(FIB)로 가공하고, 가공된 슬릿을 주사형 전자현미경 또는 투과형 전자현미경으로 측정하였다. 또한 FIB와 전자현미경을 함께 설치한 장치를 이용하여 가공과 동시에 (in-situ) 측정을 수행하여 장치 간 이동 시간을 단축하고 제조 비용을 줄일 뿐 아니라 슬릿의 가공 정밀도를 높일 수 있으며, 슬릿의 정확한 치수, 슬릿에 부착되는 오염 입자(particle) 유무,

전자선의 슬릿 이외 부분 통과여부 및 슬릿의 정전기 검사를 통해 슬릿의 치수 정밀도를 개선하여 공간 분해능과 에너지 분해능이 향상된 슬릿을 갖춘 조리개부를 구현하여 궁극적으로 고성능 모노크로미터를 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [24] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 따른, 슬릿의 제조방법으로 가공한 슬릿형상의 전자현미경 영상이다.
- [25] 도 2는 본 발명의 일 구현예에 따른, 슬릿의 제조방법으로 가공한 복수개의 다양한 크기의 슬릿 배열에 대한 전자현미경 영상이다.
- [26] 도 3은 본 발명의 일 구현예에 따른, 슬릿의 제조방법으로 가공한 슬릿을 전자현미경으로 측정하기 위한 시료홀더의 개념도이다.
- [27] 도 4는 본 발명의 일 구현예에 따른, FIB로 슬릿을 가공하는 개념도이다.
- [28] 도 5는 본 발명의 일 구현예에 따른, 가공된 슬릿을 SEM 또는 STEM을 이용하여 검사하는 개념도이다.
- [29] 도 6은 본 발명의 일 구현예에 따른, 전자현미경과 FIB가 함께 설치된 장치에서 FIB로 슬릿을 가공하는 개념도이다.
- [30] 도 7은 본 발명의 일 구현예에 따른, 전자현미경과 FIB가 함께 설치된 장치에서 슬릿 가공 후에 전자현미경으로 슬릿을 측정하는 개념도이다.
- [31] 도 8은 조리개부의 슬릿 폭(width)이 좁아질수록 더욱 정밀한 에너지 분해능을 얻을 수 있음을 나타내는, 슬릿 간격에 따른 에너지 분해능의 관계를 나타낸 그래프이다.
- [32] 도 9는 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터를 구비한 전자선장치가 EELS와 SEM에 구현된 시스템을 나타내는 개념도이다.
- [33] 도 10은 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터의 조리개부에 대한 (a)평면도 및 (b)단면도이다.
- [34] 도 11은 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터를 구비한 전자선장치가 EELS와 TEM에 구현된 시스템을 나타내는 개념도이다.
- [35] 도 12는 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터의 조리개부에 형성된 슬릿의 배열을 나타내는 개념도이다.
- [36] 도 13은 본 발명의 일 구현예에 따른, 전자선 빔의 분포방향에 따라 에너지선택 슬릿의 위치 정렬을 나타내는 개념도이다.
- [37] 도 14는 본 발명의 일 구현예에 따른, 입사조리개부의 전자선 에너지 분포와 슬릿을 구비한 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다.
- [38] 도 15는 본 발명의 일 구현예에 따른, 입사조리개부의 전자선 에너지 분포와 원형 슬릿과 에너지선택 슬릿을 각 1열씩 배열한 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다.
- [39] 도 16은 본 발명의 일 구현예에 따른, 입사조리개부의 전자선 에너지 분포와 1열의 원형 슬릿 및 복수개의 열로 구성된 에너지선택 슬릿을 나란히 배열한

모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다.

- [40] 도 17은 본 발명의 일 구현예에 따른, 입사조리개부의 전자선 에너지 분포와 복수개의 원형 슬릿 및 복수개의 열로 구성된 에너지선택 슬릿을 나란히 배열한 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다.

- [41] 도 18은 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터를 구비한 전자선장치에서 에너지선택 슬릿이 제1 전극부를 통과한 전자빔의 중심부에 정렬된 상태의 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [42] 이하 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있을 정도로 바람직한 실시예를 도면을 참조하여 상세하게 설명하면 다음과 같다. 본 발명의 상세한 설명에 앞서, 이하에서 설명되는 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 안 된다. 따라서 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [43] 도 1은 본 발명의 일 구현예에 따른, 슬릿의 제조방법으로 가공한 슬릿형상의 전자현미경 영상이다. 본 발명의 일 구현예에 따른 모노크로미터의 제조방법은, 전자선장치에서 에너지 범위를 제한하는 직사각형 개구부가 있는 복수의 전극을 구비한 제1 전극부를 준비하는 단계; 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 복수개의 원형 슬릿 및 복수개의 더미(dummy) 슬릿이 형성되어 전자선이 통과할 수 있는 슬릿 가공면을 구비한 조리개부(Aperture)를 준비하는 단계; 및 슬릿의 위치를 전자선의 위치에 따라 이동 전환하기 위해 조리개의 위치를 이동 조절하는 이동조절부를 이용하여 상기 조리개부를 상기 전극부에 조립하는 단계를 포함한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 조리개부를 준비하는 단계는, 상기 슬릿가공면에 박막층을 준비하는 단계; 상기 박막층을 FIB(focused Ion Beam)로 가공하여 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 및 복수개의 원형 슬릿을 형성하는 단계; 및 주사전자현미경(SEM) 또는 주사형투과전자현미경(STEM)으로 슬릿을 검사하는 단계를 포함한다.
- [44] 도 2는 본 발명의 일 구현예에 따른, 슬릿의 제조방법으로 가공한 복수개의 다양한 크기의 슬릿 배열에 대한 전자현미경 영상이고, 도 3은 본 발명의 일 구현예에 따른, 슬릿의 제조방법으로 가공한 슬릿을 전자현미경으로 측정하기 위한 시료홀더의 개념도이다. 상기 배열된 슬릿 중 직사각형 에너지선택 슬릿(123~127)은 크기가 가장 큰 슬릿(123)에서 가장 작은 슬릿(127)까지 나란히 배열된다. 또한, 전자현미경 관찰을 위해 홀더(30')는 가이드(301)에 접한다. 가공된 슬릿은 박막에 형성되기 때문에 가공장비인 FIB에서 관찰 및 측정장비인 전자현미경으로 이동하는 동안 접촉을 통한 손상이 발생할 수 있다. 따라서

슬릿을 상기 홀더(30')에 가이드(301)를 이용해 고정하고 홀더 단위로 이송하여 보호한다. 또한 홀더를 가이드(301)가 장착된 상태로 FIB 장치에 설치하여 홀더와 가이드와의 접합면을 기준으로 직사각형 슬릿의 긴 변 방향과 모노크로미터의 직사각형 긴 변 방향(Y 방향) 사이 각도가 1도 이내로 일치하는 직사각형 슬릿을 가공할 수 있다. 본 발명의 일 구현예에 따른 모노크로미터의 제조방법은, 전자선의 입사방향(z)과 수직한 평면(xy)을 이루는 복수개의 전극으로 구성되되, 상기 복수개의 전극은 상기 입사방향(z)과 평행하게 형성된 직사각형 개구부를 구비하고, 상기 전극에 전압이 인가되면 상기 직사각형 개구부가 형성한 전기장의 정전렌즈 작용으로 상기 입사방향의 중심축(x_0y_0)을 따라 입사하는 전자선이 상기 직사각형 개구부의 짧은 변 방향(x)으로 에너지 분포에 따라 서로 다른 위치로 편향되어 상기 입사방향과 평행하게 진행하도록 하는 제1 전극부를 준비하는 단계; 상기 편향되어 진행되는 전자선 중 미리 정한 에너지 범위($E, E+\Delta E$)에 속한 입자를 미리 정한 편향 위치($x+S_x$)에서 선택적으로 통과시키도록 상기 편향되는 방향(x)이 짧은 변(S_x)으로 형성된 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 복수개의 원형 슬릿 및 복수개의 더미(dummy) 슬릿을 구비하는 조리개(Aperture)부를 준비하는 단계; 및 편향되어 진행되는 전자선의 슬릿을 전환하기 위해 위치를 이동 조절하는 이동조절부를 준비하는 단계를 포함한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 조리개부를 준비하는 단계는, 중심층의 상면 및 하면에 금속 박막을 형성한 박막층을 복수개의 슬릿을 가공하되, 상기 중심층의 재질은 질화규소(Si_3N_4), 탄소(C), 플라티늄이리듐(PtIr) 또는 몰리브덴(Mo)이고 두께가 20nm 내지 500 μm 이며, 상기 금속 박막의 재질은 백금(Pt) 또는 금(Au)이고 두께는 10 내지 200nm인 박막층을 스퍼터링으로 증착하여 준비하는 단계; 상기 증착된 금속박막의 두께를 원자력 현미경(AFM)으로 측정하는 단계; 상기 박막층을 FIB(focused Ion Beam)로 가공하여 지름이 10nm 내지 500 μm 인 원형 슬릿, 및 짧은 변의 길이는 50nm 내지 100 μm 이고 긴 변의 길이는 100nm 내지 1,000 μm 인 직사각형 슬릿을 형성하는 단계; 및 주사형 전자현미경(SEM) 또는 주사형 투과전자현미경(STEM)으로 상기 형성된 슬릿의 형상을 관찰하고 치수를 측정하는 검사단계를 포함한다. 슬릿을 제조하기 위하여 FIB로 박막을 가공하면 짧은 변이 50nm에서 100 μm 범위의 좁은 폭을 가지는 슬릿을 형성할 수 있는 장점을 가진다.

- [45] 도 4는 본 발명의 일 구현예에 따른, FIB로 슬릿을 가공하는 개념도이다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 FIB로 가공하는 단계는, 상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 FIB에 장착하고 상기 박막층을 식각하여 슬릿을 형성한다. 본 발명의 또 다른 구현예에서 상기 FIB로 가공하는 단계는, 상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 FIB에 장착하되, 상기 제1 전극부의 상기 직사각형 개구부의 긴 변 방향과 상기 직사각형 슬릿의 긴 변 방향의 서로 어긋나는 각도 범위가 1도 이내가 되도록 정밀 식각한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 복수개의 더미(dummy) 슬릿은, 상기 원형 슬릿 또는 상기 직사각형 슬릿을

FIB(focused Ion Beam)로 가공하는 단계에서, FIB 가공 조건의 선택과 FIB 빔의 초점 및 비점 보정 조정 시 생성된다. FIB에 새로운 시료를 도입했을 때, FIB 가공 조건의 선택과 FIB 이온빔의 초점 및 이온 용점보정을 위한 조정을 위한 이온빔 주사로 인해서 형성되는 개구는 불필요한 개구가 되어버리는 문제가 있었으나, 전자빔 선택용이 아니라 위치 기준점이 되는 더미(Dummy) 슬릿을 형성하는 작업에 사용할 수 있다.

- [46] 도 5는 본 발명의 일 구현예에 따른, 가공된 슬릿을 SEM 또는 STEM을 이용하여 검사하는 개념도이다. 본 발명의 일 구현예에서, 상기 주사전자현미경(SEM) 또는 주사형투과전자현미경(STEM)으로 슬릿을 검사하는 단계는, 상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 상기 SEM 또는 STEM에 이송하여 검사한다. 본 발명의 전자현미경은 전자선 장치의 광학계(811)에서 시료입사 전자선(52)을 시료에 입사시킨다. 상기 입사한 전자선의 작용으로 SEM의 경우에는 시료실의 시료에서 나온 이차전자(54)를 이차전자 검출기(831, 832)에서 검출하며, STEM의 경우에는 시료실의 시료를 투과한 전자선(53)을 주사투과전자현미경용 검출기(835)를 통해 검출한다. 상기 검사는 본 발명의 일 구현예에서, 상기 제1 전극부의 상기 직사각형 개구부의 긴 변 방향과 상기 직사각형 슬릿의 긴 변 방향의 서로 어긋나는 각도 범위가 1도 이내일 때 합격기준으로 하고, 상기 가공된 직사각형 슬릿의 단면에 부착된 미립자의 크기가 5nm 이상일 때 불합격기준으로 하며, 상기 가공된 직사각형 슬릿의 긴 변과 짧은 변의 길이 오차가 각각 설계값에 비해 1/10 이하일 때 합격기준으로 한다. 본 발명의 또 다른 구현예에서, 상기 검사는, 상기 주사형투과전자현미경(STEM)의 상(image)을 이용하고, 상기 주사형투과전자현미경(STEM)의 전자선의 에너지가 상기 모노크로미터를 구비한 전자선 장치에서 모노크로미터를 통과한 전자선의 에너지와 같거나 클 때, 상기 가공된 슬릿 이외의 부분에서 전자가 투과하지 않는 경우 합격기준으로 하고, 상기 주사전자현미경(SEM) 상(image)을 통해 상기 박막층 표면에 대전된 부분이 없을 때 합격기준으로 한다.

- [47] 도 6은 본 발명의 일 구현예에 따른, 전자현미경 광학계(811)와 FIB 광학계(812)가 함께 설치된 장치에서 FIB로 슬릿을 가공하는 개념도이고, 도 7은 본 발명의 일 구현예에 따른, 전자현미경과 FIB가 함께 설치된 장치에서 슬릿 가공 후에 전자현미경으로 슬릿을 측정하는 개념도이다. FIB로 슬릿을 가공할 때는 슬릿 가공면이 FIB의 이온인 갈륨(Ga) 이온빔(51)의 입사방향에 수직하게 위치하고, 전자현미경으로 관찰 및 측정할 때는 가공면이 전자선 빔의 입사방향에 수직하게 위치한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 전자현미경으로 관찰 및 측정할 때는 가공면이 전자선 빔의 입사방향에 수직하게 위치하였다가 정밀관찰을 위해, 시료홀더의 기울임을 통하여 일정한 범위내에서 경사각을 가질 수 있다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 가공하는 단계 및 상기 검사하는 단계는, FIB 가공을 위한 시료실이 주사전자현미경(SEM) 또는

주사형투과전자현미경(STEM)의 시료실과 동일한 진공장치 내에 설치된 복합장치로 실시한다. FIB와 전자현미경을 함께 설치한 장치를 이용하여 가공과 동시에(in-situ) 측정을 수행하면 장치간 이동시간을 단축하고 제조비용을 절감할 수 있는 장점이 있다.

[48] 도 8은 조리개부의 슬릿 폭(width)이 좁아질수록 더욱 정밀한 에너지 분해능을 얻을 수 있음을 나타내는, 슬릿 간격에 따른 에너지 분해능의 관계를 나타낸 그래프이다. 슬릿의 폭을 좁게 할수록 전자선의 에너지 균일도를 높이는 것이 가능하다.

[49] 도 9는 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터를 구비한 전자선장치가 EELS(Electron Energy Loss Spectroscopy)(80)와 SEM에 구현된 시스템을 나타내는 개념도이다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 모노크로미터를 구비한 전자선장치는 전자원(390), 상기 전자원에서 방출된 전자선을 집속하는 제1 전송렌즈(190), 상기 제1 전송렌즈를 통과한 전자선(50)의 에너지를 미리 정한 범위로 제한하는 모노크로미터, 렌즈계(810), 상기 렌즈계에 포함되거나 상기 렌즈계와 별도로 전자선을 추가 집속하는 제2 전송렌즈((290), 및 검출기(831, 832)를 포함한다. 상기 전자원이 렌즈계를 통과한 뒤 진공시료실(900)내의 시료 홀더(860)위에 놓인 시료(850)에 주사되어 방출하는 반사전자 및 2차전자는 상기 검출기(831, 832)에서 검출된다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 모노크로미터는, 복수개의 직사각형 에너지 선택 슬릿(120, 121), 복수개의 더미(dummy) 슬릿(20), 및 복수개의 원형 슬릿(11)을 구비한 조리개(Aperture)부(60); 및 슬릿을 전환하기 위해 조리개의 위치를 이동조절하는 이동조절부(861)를 포함한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 EELS(80)는 EELS용 조리개부(62) 및 전자검출기(830)를 구비한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 전자원, 상기 진공시료실 및 상기 렌즈계는 진공펌프(P1, P2)를 통해 진공을 배기하거나 유지한다. 상기 전자선장치는 전기적 제어장치(910) 및 제어용 컴퓨터(920)를 통해 제어한다.

[50] 본 발명의 일 구현예에서 상기 모노크로미터는, 상기 전자선의 입사방향(z)과 수직한 평면(xy)을 이루는 복수개의 전극으로 구성되며, 상기 복수개의 전극은 상기 입사방향(z)과 평행하게 형성된 직사각형 개구부를 구비하고, 상기 전극에 전압이 인가되면 상기 직사각형 개구부가 형성한 전기장의 정전렌즈 작용으로 상기 입사방향의 중심축(x_0y_0)을 따라 입사하는 전자가 상기 직사각형 개구부의 짧은 변(S_x) 방향(x)으로 에너지 분포에 따라 서로 다른 위치(501, 502, 503)로 편향되어 상기 입사방향과 평행하게 진행하도록 하는 제1 전극부(90); 상기 편향되어 진행하는 전자선 중 미리 정한 에너지 범위($E, E+\Delta E$)에 속한 입자를 미리 정한 편향 위치($x+S_x$)에서 선택적으로 통과시키도록 편향되는 방향이 짧은 변(S_x)의 방향(x)으로 형성된 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿(503, 120, 121), 위치선정을 위한 복수개의 더미(dummy) 슬릿(20) 및 복수개의 원형 슬릿(11)을 구비하는 조리개(Aperture)부(60); 및 편향되어 진행하는 전자선의 에너지에 따라 슬릿 위치를 이동조절하는 이동조절부(861)를 포함한다.

- [51] 상기 제1 전극부는 직사각형 개구부가 나란히 배열된 복수개의 전극으로 구성되며, 상기 직사각형 개구부의 긴 변을 y축으로 두고 짧은 변을 x축으로 둘 때, 입사하는 전자선은 x축의 원점에서 미리 정한 미소 거리(δx)만큼 이동되고 y축은 이동되지 않은 원점으로 입사한다. 즉 상기 제1 전극부에 입사하는 전자선은 편향되어 입사하며 개구부가 형성하는 전위의 중심을 벗어난 위치에 입사하게 되어 x방향으로 편향력을 받게 된다. 이 때 직사각형 개구부의 짧은 변 방향인 x방향으로 이동하였기 때문에 긴 변 방향인 y방향으로는 궤적 변화가 없고, x방향으로는 궤적변경을 하면서 에너지별로 하전입자선이 분리되어 진행된다.
- [52] 즉, 직사각형 개구부가 나란히 배열된 복수개의 전극인 제1 전극부를 통과한 전자선이 이루는 빔은 중심부 에너지(E_0) 전자선(500)과 중심부 에너지보다 작은 값($E_0 - \delta E$)의 에너지 전자선(501) 및 중심부 에너지보다 큰 값($E_0 + \delta E$)의 에너지 전자선(502)으로 분리되어 진행하게 된다. 이 때 상기 조리개부(60)의 에너지 선택 슬릿(503)을 상기 중심부 에너지(E_0) 전자선(500)에 정렬(700)하여 균일한 에너지를 가진 전자선만 선택적으로 통과하도록 한다. 이러한 정렬은 상기 슬릿 위치를 이동조절하는 이동조절부(861)를 조절하여 수행한다.
- [53] 본 발명의 일 구현예에서, 상기 조리개(Aperture)부의 슬릿폭을 좁게 형성하기 위하여 상기 슬릿은 중심층(23)의 상면(21) 및 하면(22)에 금속 박막을 형성한 박막층에 형성하되, 상기 중심층의 재질은 질화규소(Si_3N_4), 탄소(C), 백금이리듐(PtIr) 또는 몰리브덴(Mo)이고 두께가 20nm 내지 500 μm 이며, 상기 금속 박막의 재질은 백금(Pt) 또는 금(Au)이고 두께는 10 내지 200nm이며, 상기 원형 슬릿(11)의 지름은 10nm 내지 500 μm 이고, 상기 직사각형 슬릿의 짧은 변(S_x)의 길이는 50nm 내지 100 μm 이고, 긴 변(S_y)의 길이는 100nm 내지 1,000 μm 로 형성한다.
- [54] 도 10은 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터의 조리개부의 연결구조(5)에 대한 (a)평면도 및 (b)단면도이다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 조리개(Aperture)부는 상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)(30); 상기 홀더를 이동조절부(861)에 연결하는 지지부(support)(31); 및 상기 이동조절부(861)를 상기 조리개부 설치 장치에 고정하는 베이스(Base)(33)를 포함하고, 상기 이동조절부(861)는 상기 편향되는 방향(x) 또는 상기 편향되는 방향과 수직방향(y)으로 상기 슬릿의 이동을 가능하게 한다. 상기 조리개부의 상기 박막층에 조리개부 슬릿(1)이 형성되고, 상기 박막층은 중심층을 기준으로 금속박막을 코팅하여 조리개부 코팅층 단면(2)을 관찰하면 금속박막이 중심층 양쪽에 서로 대칭으로 위치한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 홀더(30)는 전자선장치의 경통(column)에 경통 결합부(32)를 통해 연결된다. 또한, 상기 홀더(30)는 홀더 결합부(300)를 이용하여 상기 지지부(31)에 고정된다.
- [55] 도 11은 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터를 구비한 전자선장치가 EELS와 TEM에 구현된 시스템을 나타내는 개념도이다. 본 발명의 일

구현예에서 상기 모노크로미터를 구비한 전자선장치는 전자원(390), 상기 전자원에서 방출되는 전자선(50)의 에너지를 미리 정한 범위로 제한하는 모노크로미터, 렌즈계(810), 및 STEM(Scanning Transmission Electron Microscopy)용 검출기(833), 및 TEM용 검출기(840)를 포함한다. 상기 전자원이 렌즈계를 통과한 뒤 진공시료실내의 시료 홀더(860)에 위치한 시료(850)를 투과하는 투과전자는 상기 STEM(주사형 투과전자현미경)용 검출기(833) 및/또는 상기 TEM용 검출기(840)에서 검출된다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 모노크로미터는, 복수개의 직사각형 에너지 선택 슬릿(120, 121), 복수개의 더미(dummy) 슬릿(20), 및 복수개의 원형 슬릿(11)을 구비한 조리개(Aperture)부(60); 및 슬릿을 전환하기 위해 조리개의 위치를 이동조절하는 이동조절부(861)를 포함한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 EELS(80)는 EELS용 조리개부(62) 및 전자검출기(830)를 구비한다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 전자원, 상기 진공시료실 및 상기 렌즈계는 진공펌프(P1, P2)를 통해 진공을 배기하거나 유지한다. 상기 전자선장치는 전기적 제어장치(910) 및 제어용 컴퓨터(920)를 통해 제어한다.

[56] 도 12는 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터의 조리개부에 형성된 슬릿의 배열을 나타내는 개념도이며, 도 13은 본 발명의 일 구현예에 따른, 전자선 빔의 분포방향에 따라 에너지선택 슬릿의 위치 정렬을 나타내는 개념도이다. 본 발명의 일 구현예에 따른 상기 홀더(holder)(30), 상기 지지부(support)(31), 상기 이동조절부(861), 및 상기 베이스(Base)(33)의 접촉면은, 각각 상기 제1 전극부의 상기 사각형 구멍의 긴 변 방향에 대한 각도 범위가 1도 이내이다. 즉, 상기 홀더, 상기 지지부, 상기 이동조절부 및 상기 베이스를 조정하여 상기 슬릿과 상기 제1 전극부의 긴 변 방향각도의 오차범위는 1도 이내가 되어야 한다.

[57] 도 14는 본 발명의 일 구현예에 따른, 입사조리개부의 전자선 에너지 분포와 슬릿을 구비한 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다. 복수개의 슬릿을 구비한 형태를 나타낸다. 본 발명의 일 구현예에 따른 상기 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿(120, 121)은 동일한 크기 또는 다른 크기로, 상기 전자선이 편향되는 방향인 짧은 변(S_x)의 방향(x)과 직교하는 긴 변(S_y)의 방향(y)으로 미리 정한 간격(L_y)만큼 떨어져서 배열되는 것이 바람직하다. 또한, 상기 직교하는 긴 변(S_y)의 방향(y)을 따라 배열되는 미리 정한 간격(L_y)은, 상기 제1 전극부에 입사하는 전자선의 단면 분포를 미리 정한 크기로 제한하여 상기 중심축(x_0y_0)으로 입사하게 하는 입사 조리개(61)의 개구부 지름보다 큰 것이 바람직하다.

[58] 도 15는 본 발명의 일 구현예에 따른, 입사조리개부의 전자선 에너지 분포와 원형 슬릿과 에너지선택 슬릿을 각 1열씩 배열한 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다. 본 발명의 일 구현예에 따른 상기 복수개의 원형 슬릿(11)은 동일한 크기 또는 서로 다른 크기이고, 상기 복수개의 원형

슬릿(11)은 상기 복수개의 직사각형 슬릿(120, 121)으로부터 상기 편향되는 방향인 짧은 변(S_x)의 방향(x)으로 미리 정한 거리(M_x)만큼 이격되어 나란히 배열된다. 본 발명의 또 다른 구현예에 따른 상기 복수개의 원형 슬릿(11)은, 상기 입사방향의 중심축 X_0 와 일치하는 위치에 배열된다. 본 발명의 일 구현예에서, 상기 에너지 범위($E, E+\Delta E$)로 제한하지 않는 경우, 상기 제1 전극부에 인가되는 전압을 OFF하여 전자선을 편향시키지 않고 직진시켜, 상기 입사 방향의 중심축 X_0 의 연장 선상에 일치하는 위치에 배치된 상기 복수개의 원형 슬릿(11) 중 하나를 사용하여 시료에 전자선을 조사하게 된다.

[59] 도 16은 본 발명의 일 구현예에 따른, 입사조리개부의 전자선 에너지 분포와 1열의 원형 슬릿 및 복수개의 열로 구성된 에너지선택 슬릿을 나란히 배열한 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이고, 도 17은 본 발명의 일 구현예에 따른, 입사조리개부의 전자선 에너지 분포와 복수개의 원형 슬릿 및 복수개의 열로 구성된 에너지선택 슬릿을 나란히 배열한 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿(120, 121)은 동일한 크기로 상기 전자선이 편향되는 방향인 짧은 변(S_x)의 방향(x) 및 상기 편향되는 방향과 직교하는 방향(y)을 따라 각각 미리 정한 간격(L_x, L_y)으로 배열되고, 상기 직교하는 방향(y)을 따라 배열되는 미리 정한 간격(L_y)은, 입사하는 전자선의 단면 분포를 미리 정한 크기로 제한하여 상기 중심축(x_0y_0)으로 입사하게 하는 입사 조리개의 개구부 지름보다 크다. 본 발명의 또 다른 구현예에서 상기 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿(120, 121)은 복수개의 동일한 크기 및 복수개의 서로 다른 크기를 포함하고, 상기 복수개의 동일한 크기를 가지는 슬릿은 전자선이 편향되는 방향인 짧은 변(S_x)의 방향(x)을 따라 미리 정한 간격(L_x)으로 배열되고, 상기 복수개의 서로 다른 크기를 가지는 슬릿은 상기 편향되는 방향(x)과 직교하는 방향(y)을 따라 미리 정한 간격(L_y)으로 배열되고, 상기 직교하는 방향(y)을 따라 배열되는 미리 정한 간격(L_y)은, 입사하는 전자선의 단면 분포를 미리 정한 크기로 제한하여 상기 중심축(x_0y_0)으로 입사하게 하는 입사 조리개(61)의 개구부 지름보다 크게 된다.

[60] 본 발명의 일 구현예에서 상기 편향되는 방향인 짧은 변(S_x)의 방향(x)의 중심 위치에서 상기 편향되는 방향인 짧은 변(S_x)의 방향(x)과 직교하는 방향(y)의 양쪽 가장자리에 각각 1개씩 위치한다. 본 발명의 또 다른 구현예에서 상기 복수개의 원형 슬릿(11)은 동일한 크기 또는 서로 다른 크기이고, 상기 원형 슬릿(11)은 상기 편향되는 방향인 짧은 변(S_x)의 방향(x)과 직교하는 방향(y)을 따라 배열되거나, 상기 직교하는 방향(y)의 양 가장자리에 위치한다. 또한, 본 발명의 전자선장치는 상기 에너지 범위($E, E+\Delta E$)로 제한하지 않는 경우, 상기 제1 전극부에 인가되는 전압을 OFF하여 전자선을 편향시키지 않고 직진시켜, 상기 입사 방향의 중심축 X_0 의 연장 선상에 일치하는 위치에 배치된 상기 복수의 원형 슬릿(11) 중 하나를 사용하여 시료에 전자선을 조사한다. 또한, 상기

에너지선택 슬릿(503)의 긴 변 방향은 상기 제1 전극부의 상기 직사각형 개구부의 긴 변 방향과 서로 어긋나는 각도 범위가 1도 이내가 되도록 정렬된다.

[61] 도 18은 본 발명의 일 구현예에 따른, 모노크로미터를 구비한 전자선풍장치에서 에너지선택 슬릿이 제1 전극부를 통과한 전자빔의 중심부에 정렬된 상태의 모노크로미터 조리개부를 나타내는 개념도이다. 본 발명의 일 구현예에서 상기 전자선풍장치는, 상기 조리개(Aperture)부의 후단에, 상기 에너지선택 슬릿을 통과한 전자빔의 입사 방향(z)과 평행하게 형성된 개구부를 구비한 복수의 전극으로 구성된 전극에 전압이 인가되면 개구부의 전계가 상기 에너지선택 슬릿을 통과한 전자선을 원래 위치인 상기 입사방향의 중심 축(x_0y_0)에 편향시키는 제2 전극부(91)를 포함하고, 상기 제2 전극부의 위치는 상기 조리개를 중심으로 상기 제1 전극부와 대칭이다.

[62] 이상에서 본원의 예시적인 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본원의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본원의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본원의 권리범위에 속하는 것이다.

[63] 본 발명에서 사용되는 모든 기술용어는, 달리 정의되지 않는 이상, 본 발명의 관련 분야에서 통상의 당업자가 일반적으로 이해하는 바와 같은 의미로 사용된다. 본 명세서에 참고문헌으로 기재되는 모든 간행물의 내용은 본 발명에 도입된다.

[64] [부호의 설명]

[65] 1. 조리개부 슬릿

[66] 2. 조리개부 코팅층 단면

[67] 5. 조리개부 연결구조

[68] 11. 원형 슬릿

[69] 20. 더미 슬릿

[70] 21. 슬릿 상면 금속박막

[71] 22. 슬릿 하면 금속박막

[72] 23. 슬릿 중심층

[73] 30. 홀더

[74] 30'. 전자현미경 관찰을 위해 가이드에 접한 홀더

[75] 31. 지지부

[76] 32. 결합부

[77] 33. 베이스

[78] 50. 전자선

[79] 51. Ga 이온

[80] 52. 시료입사 전자선

[81] 53. 시료투과 전자선

[82] 54. 이차전자

- [83] 60. 조리개부
- [84] 61. 입사 조리개
- [85] 62. EELS용 조리개부
- [86] 80. EELS(Electron Energy Loss Spectroscopy)
- [87] 90. 제1 전극부
- [88] 91. 제2 전극부
- [89] 120, 121. 직사각형 에너지선택 슬릿
- [90] 123~127. 크기가 서로 다른 직사각형 에너지선택 슬릿
- [91] 190. 제1 전송렌즈
- [92] 290. 제2 전송렌즈
- [93] 300. 홀더 결합부
- [94] 301. 홀더 가이드
- [95] 390. 전자원
- [96] 500. 에너지 E_0 인 전자선
- [97] 501. 에너지 $E_0 - \delta E$ 전자선
- [98] 502. 에너지 $E_0 + \delta E$ 전자선
- [99] 503. 조리개부 에너지선택 슬릿
- [100] 700. 정렬상태 표시
- [101] 810. 렌즈계
- [102] 811. 광학계
- [103] 830. 전자검출기
- [104] 831, 832. 검출기
- [105] 833. 주사투과전자현미경용 검출기
- [106] 835. 주사투과전자현미경용 검출기
- [107] 840. TEM용 검출기
- [108] 850. 시료
- [109] 860. 시료 홀더
- [110] 861. 이동조절부
- [111] 900. 진공시료실
- [112] 910. 전기적 제어장치
- [113] 920. 제어용 컴퓨터
- [114] P1, P2. 진공펌프

청구범위

- [청구항 1] 모노크로미터의 제조방법으로, 상기 제조방법은,
전자선장치에서 에너지 범위를 제한하는 직사각형 개구부가 있는 복수의 전극을 구비한 제1 전극부를 준비하는 단계;
복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 복수개의 원형슬릿 및 복수개의 더미(dummy) 슬릿이 형성되어 전자선이 통과할 수 있는 슬릿 가공면을 구비한 조리개부(Aperture)를 준비하는 단계; 및
슬릿의 위치를 전자선의 위치에 따라 이동 전환하기 위해 조리개의 위치를 이동 조절하는 이동조절부를 이용하여 상기 조리개부를 상기 전극부에 조립하는 단계를 포함하고,
상기 조리개부를 준비하는 단계는,
상기 슬릿가공면에 박막층을 준비하는 단계;
상기 박막층을 FIB(focused Ion Beam)로 가공하여 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 및 복수개의 원형 슬릿을 형성하는 단계; 및
주사전자현미경(SEM) 또는 주사형투과전자현미경(STEM)으로 슬릿을 검사하는 단계를 포함하는,
모노크로미터의 제조방법.
- [청구항 2] 모노크로미터의 제조방법으로,
전자선의 입사방향(z)과 수직인 평면(xy)을 이루는 복수개의 전극으로 구성되며, 상기 복수개의 전극은 상기 입사방향(z)과 평행하게 형성된 직사각형 개구부를 구비하고, 상기 전극에 전압이 인가되면 상기 직사각형 개구부가 형성한 전기장의 정전렌즈 작용으로 상기 입사방향의 중심축(x_0y_0)을 따라 입사하는 전자선이 상기 직사각형 개구부의 짧은 변 방향(x)으로 에너지 분포에 따라 서로 다른 위치로 편향되어 상기 입사방향과 평행하게 진행하도록 하는 제1 전극부를 준비하는 단계;
상기 편향되어 진행되는 전자선 중 미리 정한 에너지 범위($E, E+\Delta E$)에 속한 입자를 미리 정한 편향 위치($x+S_x$)에서 선택적으로 통과시키도록 상기 편향되는 방향(x)이 짧은 변(S_x)으로 형성된 복수개의 직사각형 에너지선택 슬릿, 복수개의 원형 슬릿 및 복수개의 더미(dummy) 슬릿을 구비하는 조리개(Aperture)부를 준비하는 단계; 및
편향되어 진행되는 전자선의 슬릿을 전환하기 위해 위치를 이동 조절하는 이동조절부를 준비하는 단계를 포함하고,
상기 조리개부를 준비하는 단계는, 중심층의 상면 및 하면에 금속 박막을 형성한 박막층을 복수개의 슬릿을 가공하되, 상기 중심층의 재질은 질화규소(Si_3N_4), 탄소(C), 플라티늄이리듐(PtIr) 또는 몰리브덴(Mo)이고 두께가 20nm 내지 500 μm 이며, 상기 금속 박막의 재질은 백금(Pt) 또는 금(Au)이고 두께는 10 내지 200nm인 박막층을 스퍼터링으로 증착하여

준비하는 단계;

상기 증착된 금속박막의 두께를 원자력 현미경(AFM)으로 측정하는 단계;

상기 박막층을 FIB(focused Ion Beam)로 가공하여 지름이 10nm 내지

500 μ m인 원형 슬릿, 및 짧은 변의 길이는 50nm 내지 100 μ m이고 긴 변의

길이는 100nm 내지 1,000 μ m인 직사각형 슬릿을 형성하는 단계; 및

주사형 전자현미경(SEM) 또는 주사형 투과전자현미경(STEM)으로 상기 형성된 슬릿의 형상을 관찰하고 치수를 측정하는 검사단계를 포함하는, 모노크로미터 제조방법.

[청구항 3] 제 1항 또는 제 2항에 있어서,
상기 FIB로 가공하는 단계는,
상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 FIB에 장착하고 상기 박막층을 식각하여 슬릿을 형성하는,
모노크로미터의 제조방법.

[청구항 4] 제 1항 또는 제 2항에 있어서,
상기 FIB로 가공하는 단계는,
상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 FIB에 장착하되, 상기 제1 전극부의 상기 직사각형 개구부의 긴 변 방향과 상기 직사각형 슬릿의 긴 변 방향의 서로 어긋나는 각도 범위가 1도 이내가 되도록 정밀 식각하는,
모노크로미터의 제조방법.

[청구항 5] 제 1항 또는 제 2항에 있어서,
상기 복수개의 더미(dummy) 슬릿은,
상기 원형 슬릿 또는 상기 직사각형 슬릿을 FIB(focused Ion Beam)로 가공하는 단계에서, FIB 가공 조건의 선택과 FIB 빔의 초점 및 비점 보정 조정 시 생성되는,
모노크로미터의 제조방법.

[청구항 6] 제 1항 또는 제 2항에 있어서,
상기 주사전자현미경(SEM) 또는 주사형투과전자현미경(STEM)으로 슬릿을 검사하는 단계는,
상기 박막층을 지지하는 홀더(holder)를 상기 SEM 또는 STEM에 이송하여 검사하는,
모노크로미터의 제조방법.

[청구항 7] 제 6항에 있어서,
상기 검사는,
상기 제1 전극부의 상기 직사각형 개구부의 긴 변 방향과 상기 직사각형 슬릿의 긴 변 방향의 서로 어긋나는 각도 범위가 1도 이내일 때 합격기준으로 하는,
모노크로미터의 제조방법.

[청구항 8] 제 6항에 있어서,

상기 검사는,
 상기 가공된 직사각형 슬릿의 단면에 부착된 미립자의 크기가 5nm 이상일 때 불합격기준으로 하는,
 모노크로미터의 제조방법.

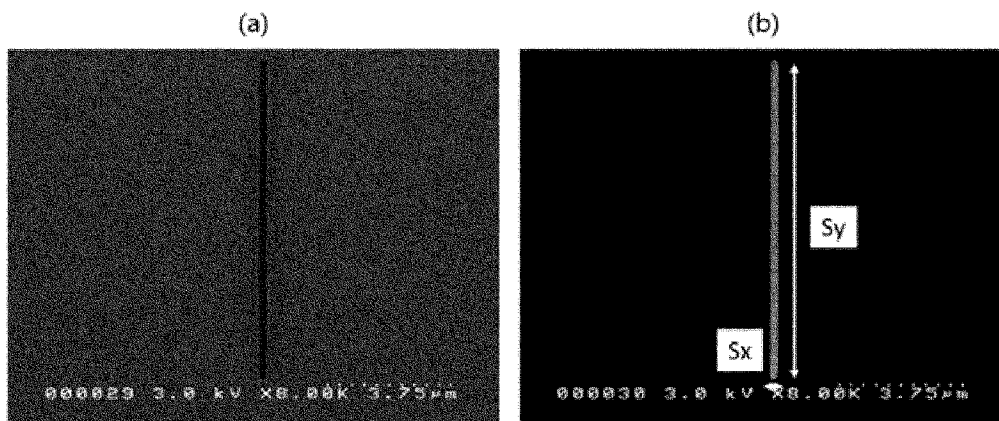
[청구항 9] 제 6항에 있어서,
 상기 검사는,
 상기 가공된 직사각형 슬릿의 긴 변과 짧은 변의 길이 오차가 각각 설계값에 비해 1/10 이하일 때 합격기준으로 하는,
 모노크로미터의 제조방법.

[청구항 10] 제 6항에 있어서,
 상기 검사는,
 상기 주사형투과전자현미경(STEM)의 상(image)을 이용하고, 상기 주사형투과전자현미경(STEM)의 전자선의 에너지가 상기 모노크로미터를 구비한 전자선 장치에서 모노크로미터를 통과한 전자선의 에너지와 같거나 클 때, 상기 가공된 슬릿 이외의 부분에서 전자가 투과하지 않는 경우 합격 기준으로 하는,
 모노크로미터의 제조방법.

[청구항 11] 제 6 항에 있어서,
 상기 검사는,
 상기 주사전자현미경(SEM) 상(image)을 통해 상기 박막층 표면에 대전 된 부분이 없을 때 합격기준으로 하는,
 흑백 미터의 제조방법.

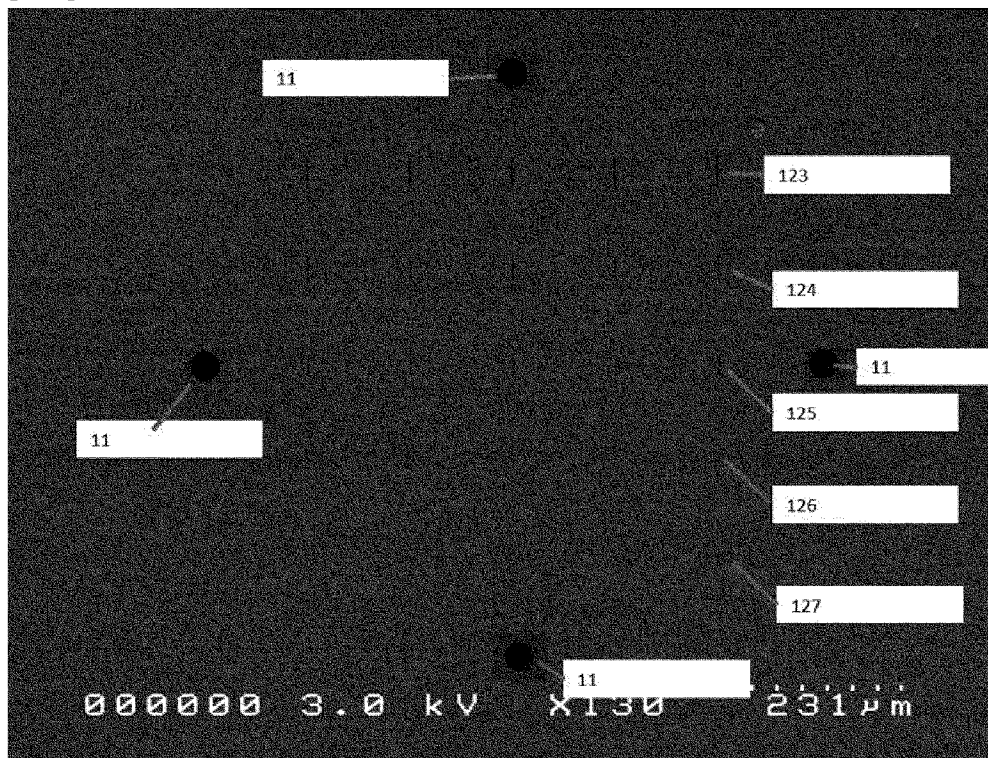
[청구항 12] 제 1항 또는 제 2항에 있어서,
 상기 가공하는 단계 및 상기 검사하는 단계는,
 FIB 가공을 위한 시료실이 주사전자현미경(SEM) 또는 주사형투과전자현미경(STEM)의 시료실과 동일한 진공장치 내에 설치된 복합장치로 실시하는,
 모노크로미터의 제조방법.

[도1]

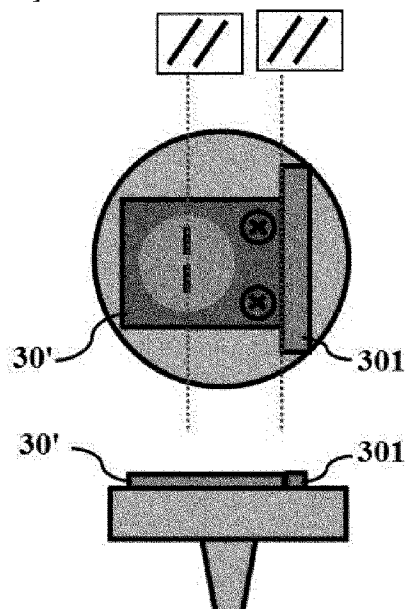


Sx: 180 nm, Sy:10000 nm

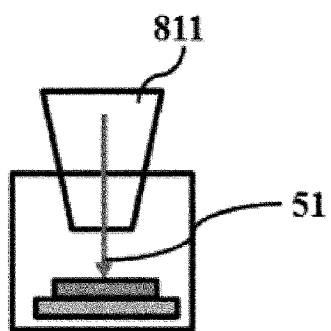
[도2]



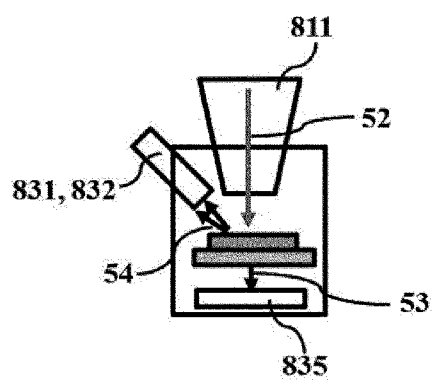
[도3]



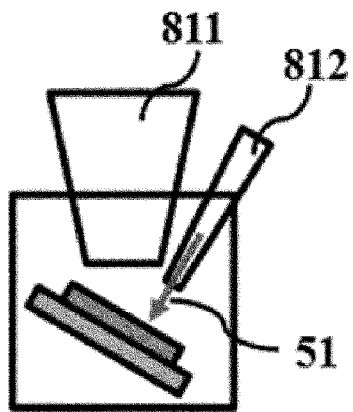
[도4]



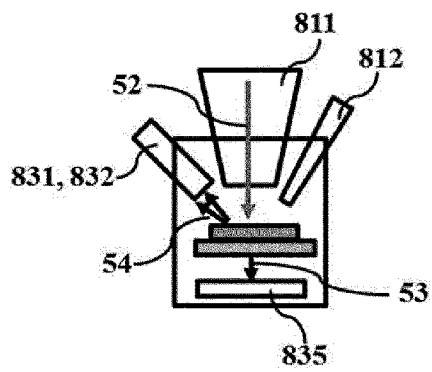
[도5]



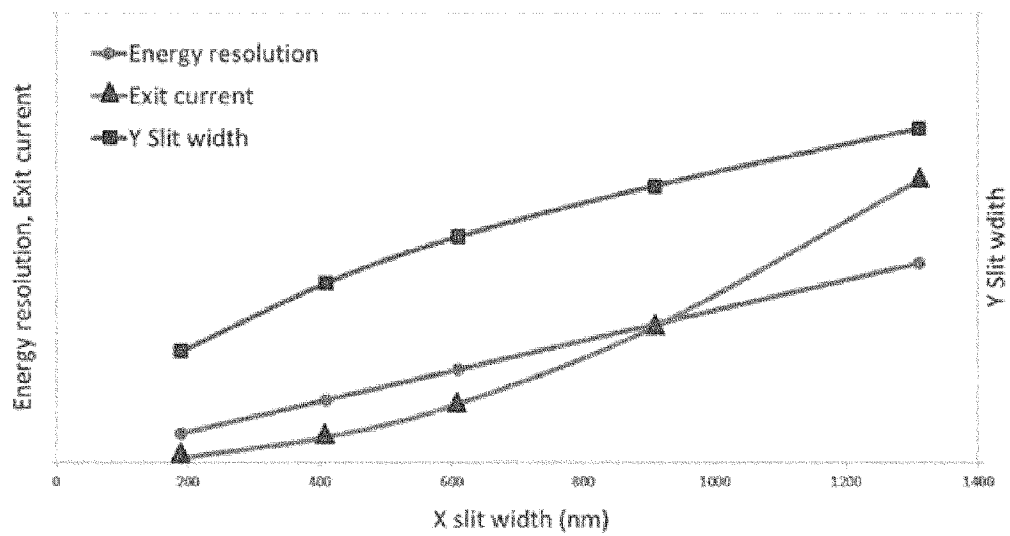
[도6]



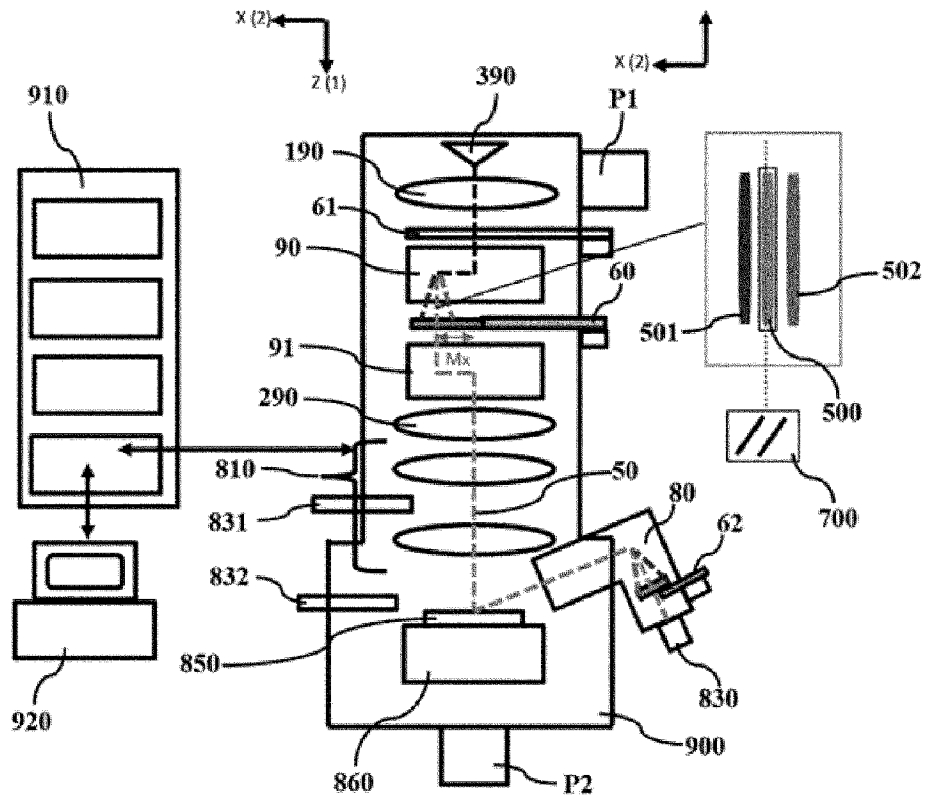
[도7]



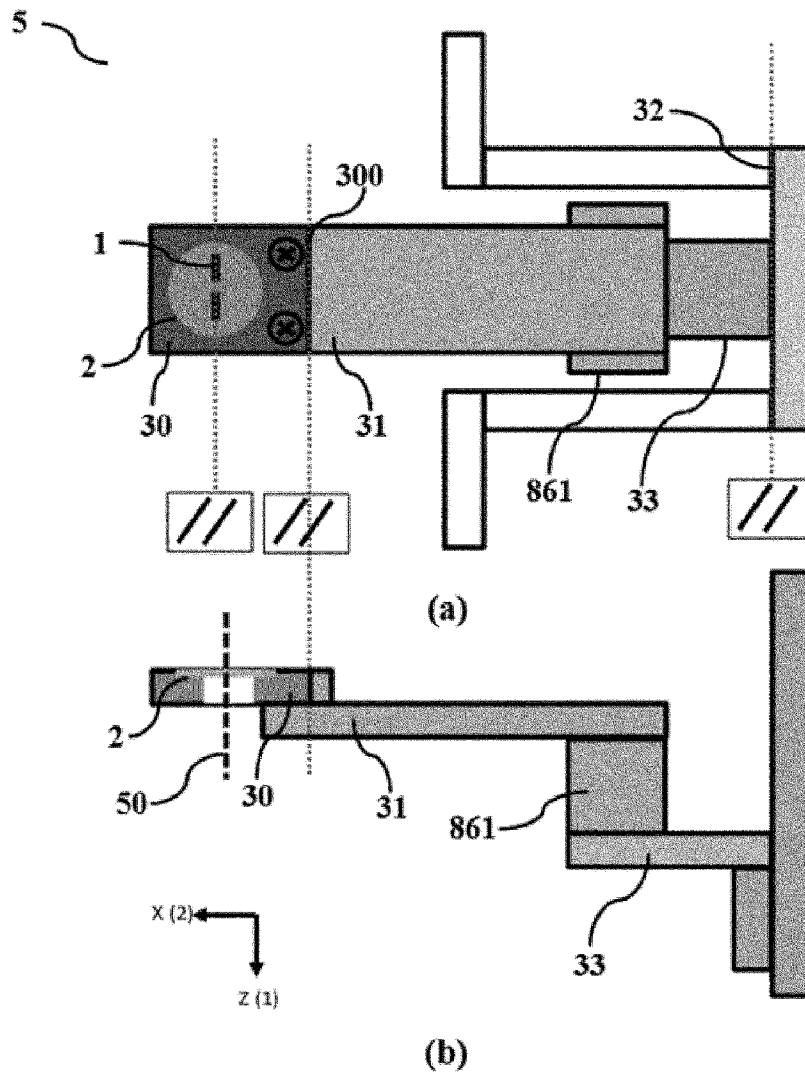
[도8]



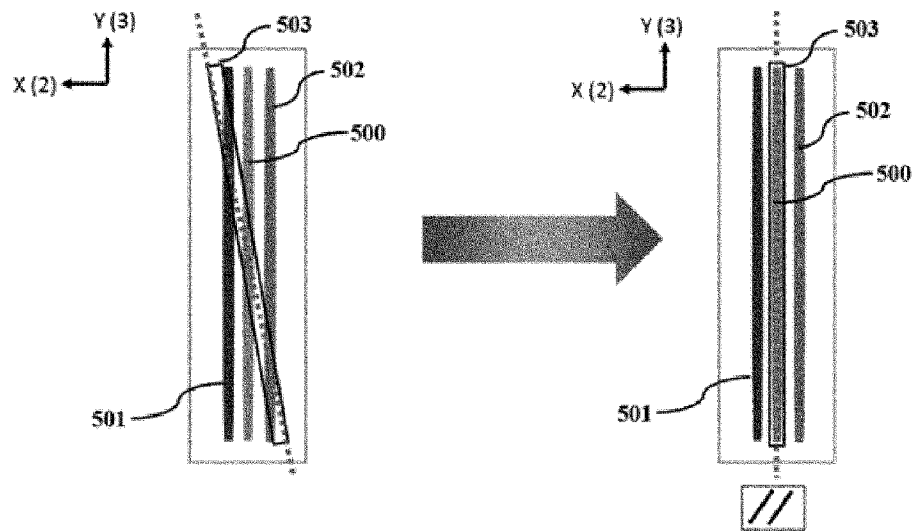
[도9]



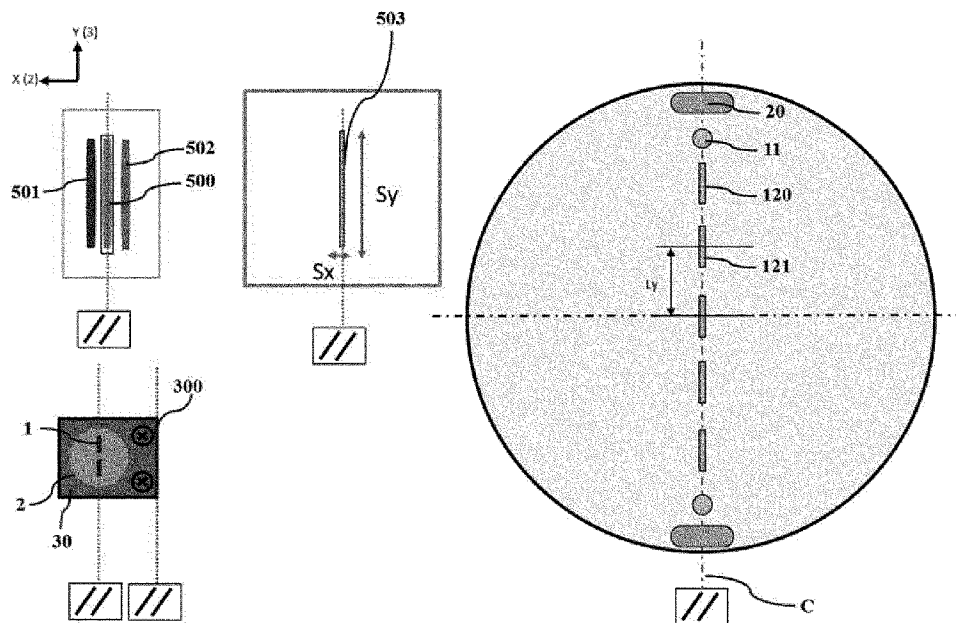
[도10]



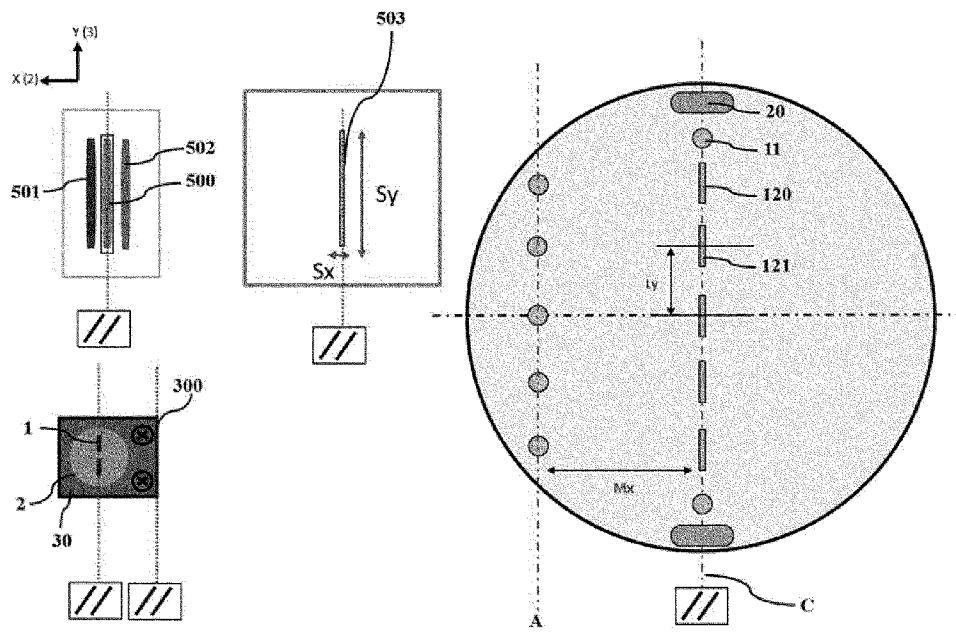
[도13]



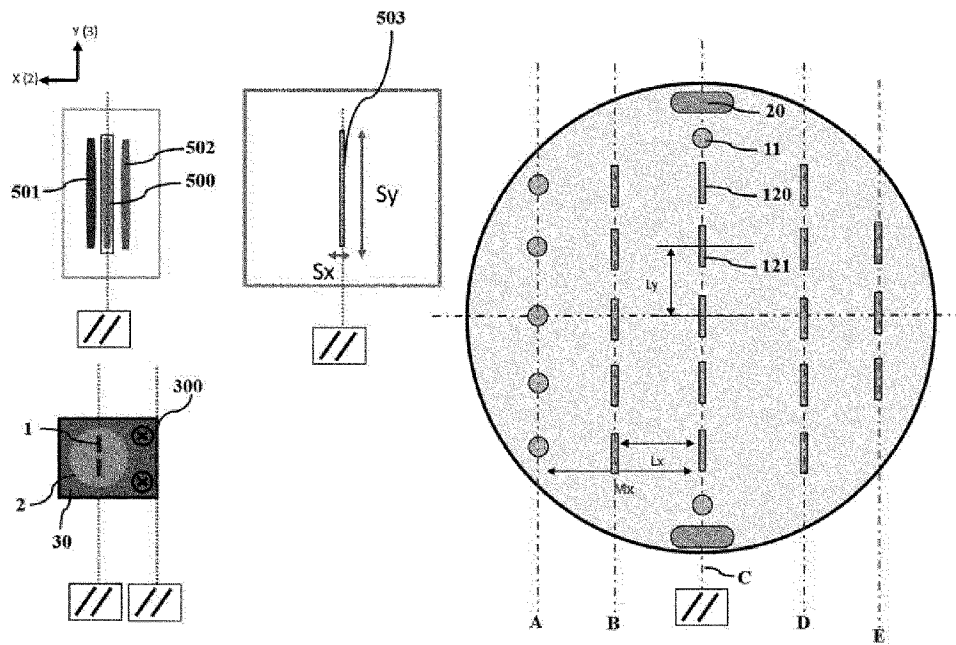
[도14]



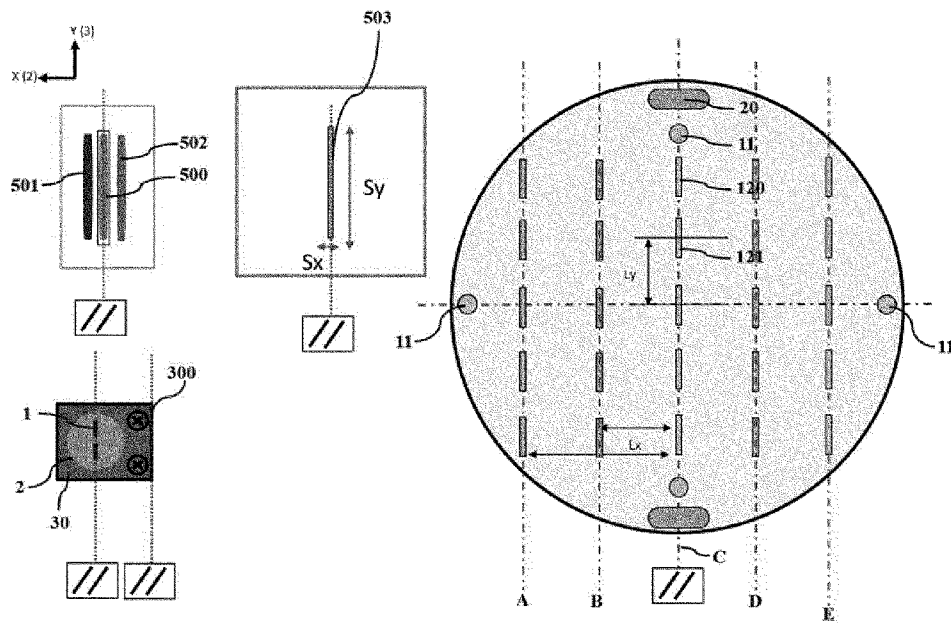
[도15]



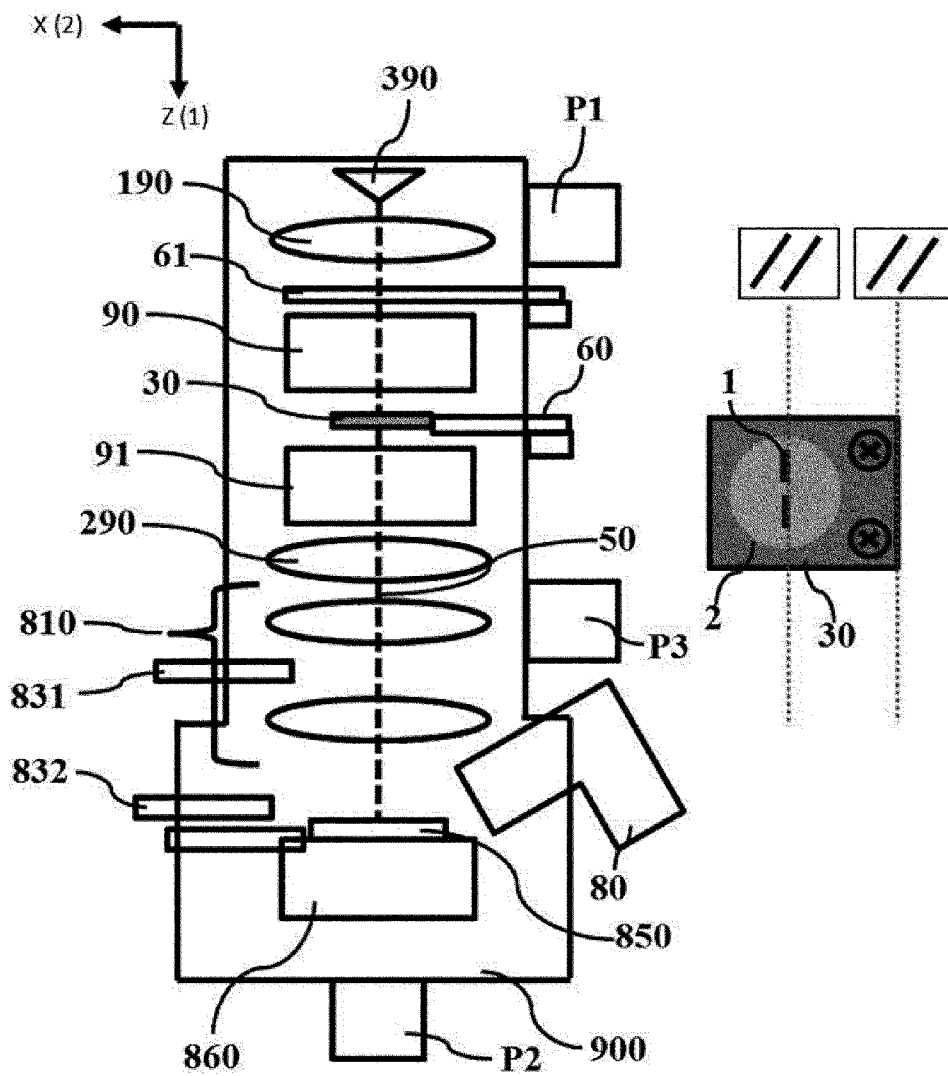
[도16]



[도17]



[도18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2016/005545**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER*****G01J 3/02(2006.01)i, G01J 3/06(2006.01)i, G01Q 30/02(2010.01)i***

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01J 3/02; H01J 37/05; G01N 23/225; H01J 37/12; H01J 3/26; G21K 1/087; H01J 1/50; H01J 37/26; H01J 37/02; H01J 37/28; G01J 3/06; G01Q 30/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above
Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: monochromator, electrode unit, aperture, motion control unit, slit processing, thin film layer

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-327377 A (JEOL LTD.) 18 November 2004 See paragraphs [0054]-[0062]; claim 1; and figures 1-2.	1-12
A	US 2007-0138403 A1 (CUBRIC et al.) 21 June 2007 See paragraph [0013]; claims 1-6; and figures 1-2B.	1-12
A	US 2015-0371811 A1 (KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE) 24 December 2015 See figures 1-4.	1-12
A	US 2012-0318978 A1 (REN et al.) 20 December 2012 See figures 6a-6d.	1-12
A	KR 10-2007-0007930 A (NAWOTEC GMBH.) 16 January 2007 See figures 3-6b.	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 JANUARY 2017 (02.01.2017)

Date of mailing of the international search report

04 JANUARY 2017 (04.01.2017)

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2016/005545

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
JP 2004-327377 A	18/11/2004	NONE	
US 2007-0138403 A1	21/06/2007	EP 1661154 A2 GB 0320187 D JP 2007-504606 A JP 4523594 B2 WO 2005-022581 A2 WO 2005-022581 A3	31/05/2006 01/10/2003 01/03/2007 11/08/2010 10/03/2005 02/06/2005
US 2015-0371811 A1	24/12/2015	DE 102015109047 A1 JP 2016-009684 A JP 5913682 B2 KR 10-1633978 B1 KR 10-2015-0146079 A US 9425022 B2	24/12/2015 18/01/2016 27/04/2016 28/06/2016 31/12/2015 23/08/2016
US 2012-0318978 A1	20/12/2012	US 8592761 B2	26/11/2013
KR 10-2007-0007930 A	16/01/2007	AT 512455 T CN 100580865 C CN 101714491 A CN 101714491 B CN 1969364 A EP 1587128 A1 EP 1587128 B1 EP 2287883 A2 EP 2287883 A3 JP 2007-533089 A JP 2011-253816 A JP 4812749 B2 JP 5560242 B2 KR 10-1101558 B1 US 2005-0230621 A1 US 7232997 B2 WO 2005-101451 A1	15/06/2011 13/01/2010 26/05/2010 18/07/2012 23/05/2007 19/10/2005 08/06/2011 23/02/2011 23/03/2011 15/11/2007 15/12/2011 09/11/2011 23/07/2014 02/01/2012 20/10/2005 19/06/2007 27/10/2005

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G01J 3/02(2006.01)i, G01J 3/06(2006.01)i, G01Q 30/02(2010.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

G01J 3/02; H01J 37/05; G01N 23/225; H01J 37/12; H01J 3/26; G21K 1/087; H01J 1/50; H01J 37/26; H01J 37/02; H01J 37/28; G01J 3/06; G01Q 30/02

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 모노크로미터, 전극부, 조리개, 이동조절부, 슬릿가공, 박막층

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	JP 2004-327377 A (JEOL LTD.) 2004.11.18 단락 [0054]-[0062]; 청구항 1; 및 도면 1-2 참조.	1-12
A	US 2007-0138403 A1 (CUBRIC 등) 2007.06.21 단락 [0013]; 청구항 1-6; 및 도면 1-2B 참조.	1-12
A	US 2015-0371811 A1 (KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE) 2015.12.24 도면 1-4 참조.	1-12
A	US 2012-0318978 A1 (REN 등) 2012.12.20 도면 6a-6d 참조.	1-12
A	KR 10-2007-0007930 A (나우테크 게엠베하) 2007.01.16 도면 3-6b 참조.	1-12

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2017년 01월 02일 (02.01.2017)

국제조사보고서 발송일

2017년 01월 04일 (04.01.2017)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



대한민국 특허청

(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,

4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

강성철

전화번호 +82-42-481-8405



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 2004-327377 A	2004/11/18	없음	
US 2007-0138403 A1	2007/06/21	EP 1661154 A2 GB 0320187 D JP 2007-504606 A JP 4523594 B2 WO 2005-022581 A2 WO 2005-022581 A3	2006/05/31 2003/10/01 2007/03/01 2010/08/11 2005/03/10 2005/06/02
US 2015-0371811 A1	2015/12/24	DE 102015109047 A1 JP 2016-009684 A JP 5913682 B2 KR 10-1633978 B1 KR 10-2015-0146079 A US 9425022 B2	2015/12/24 2016/01/18 2016/04/27 2016/06/28 2015/12/31 2016/08/23
US 2012-0318978 A1	2012/12/20	US 8592761 B2	2013/11/26
KR 10-2007-0007930 A	2007/01/16	AT 512455 T CN 100580865 C CN 101714491 A CN 101714491 B CN 1969364 A EP 1587128 A1 EP 1587128 B1 EP 2287883 A2 EP 2287883 A3 JP 2007-533089 A JP 2011-253816 A JP 4812749 B2 JP 5560242 B2 KR 10-1101558 B1 US 2005-0230621 A1 US 7232997 B2 WO 2005-101451 A1	2011/06/15 2010/01/13 2010/05/26 2012/07/18 2007/05/23 2005/10/19 2011/06/08 2011/02/23 2011/03/23 2007/11/15 2011/12/15 2011/11/09 2014/07/23 2012/01/02 2005/10/20 2007/06/19 2005/10/27