



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월27일
(11) 등록번호 10-2425178
(24) 등록일자 2022년07월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/065 (2006.01) H01J 1/05 (2006.01)
H01J 1/06 (2006.01) H01J 1/10 (2006.01)
H01J 37/305 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01J 37/065 (2013.01)
H01J 1/05 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7027088
- (22) 출원일자(국제) 2020년07월13일
심사청구일자 2021년08월25일
- (85) 번역문제출일자 2021년08월25일
- (65) 공개번호 10-2021-0114535
- (43) 공개일자 2021년09월23일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2020/027255
- (87) 국제공개번호 WO 2021/015039
국제공개일자 2021년01월28일
- (30) 우선권주장
JP-P-2019-135618 2019년07월23일 일본(JP)
- (56) 선행기술조사문헌
JP03233826 A
JP2016157695 A
JP62140340 A

- (73) 특허권자
가부시키가이샤 파람
일본국 도쿄도 하치오지시 다이마치 4-44-4
- (72) 발명자
야스다 히로시
일본국 도쿄도 1930931 하치오지시 다이마치 4-44-4, 가부시키가이샤 파람 내
오오아에 요시히사
일본국 도쿄도 1930931 하치오지시 다이마치 4-44-4, 가부시키가이샤 파람 내
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김진환, 박지하, 김민철

전체 청구항 수 : 총 18 항

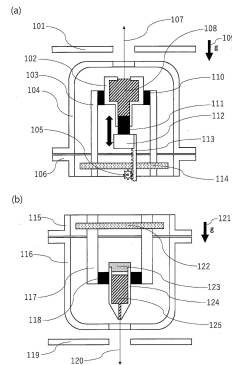
심사관 : 이민형

(54) 발명의 명칭 전자총장치

(57) 요약

본 발명의 전자총 장치는 진공 중에서 고온으로 가열을 실시하여 전자선을 방출한다. 전자선을 방출하는 재료(108, 125)의 표면은 고온 동작시에는 녹은 액체 수소화된 금속이고, 액체의 수소화된 금속은 고온 동작시에 고체인 증공의 커버 튜브 용기(102, 124)에 수소화된 액체 금속 또는 수소화 전의 액체 금속으로서 저장되고, 커버 튜브 용기(102, 124)와 함께 고온으로 가열되고, 수소화된 액체 금속이 커버 튜브 용기(102, 124)로부터 노출되어, 중력과 전계와 액체면의 표면 장력이 균형잡힌 액체면을 형성하고, 그 노출된 수소화된 액체 금속 표면으로부터 전자선을 방출한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H01J 1/06 (2013.01)

H01J 1/10 (2013.01)

H01J 37/305 (2013.01)

(72) 발명자

시바오카 타츠야

일본국 도쿄도 1930931 하치오지시 다이마치
4-44-4, 가부시키가이샤 파람 내

무라타 히데카즈

일본국 아이치현 4688502 나고야시 덴과쿠구 시오
가마구치 1-501, 메이조 대학, 과학 기술 학부, 전
기전자공학부 내

명세서

청구범위

청구항 1

진공 중에서 고온으로 가열을 실시하여 전자선을 방출하는 전자총 장치로서,
 전자선을 방출하는 재료의 표면은 고온 동작시에는 녹은 액체의 수소화된 금속이고,
 고온 또는 고온 동작 온도는 1000 °C 이상 1600 °C 이하이고, 상기 고온 또는 고온 동작 온도에서의 상기 액체의 수소화된 금속은 진공 중에서 10^{-6} pascal 내지 1 pascal의 증기압을 나타내고, 란타노이드 계열의 금속에서 선택되는 것이며,
 액체의 수소화된 금속은 고온 동작시에 고체인 중공의 커버 튜브 용기에, 수소화된 액체 금속 또는 수소화 전의 액체 금속으로서 저장되고, 커버 튜브 용기와 함께 고온으로 가열되어, 수소화된 액체 금속이 커버 튜브 용기로부터 노출되고, 중력과 전계와 액체면의 표면 장력이 균형잡힌 액체 표면을 형성하고,
 그 노출된 수소화된 액체 금속 표면으로부터 전자선을 방출하는, 전자총 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
 수소화된 액체 금속의 표면은 그 법선 벡터가 중력 방향에 대하여 중력 방향을 향하는 경우에는 플러스 마이너스 60 도 이내의 범위를 향하고, 또는 중력과 반대 방향을 향하여 전자선을 방출하는, 전자총 장치.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
 상기 고온 또는 고온 동작 온도는 1200°C 내지 1400 °C이고, 고온 또는 고온 동작 온도에서의 액체의 수소화된 금속의 증기압은 10^{-3} pascal 내지 10^{-1} pascal인, 전자총 장치.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
 전자선을 방출하는 방향이 중력에 대하여 역방향인 경우에는 상부에 개구를 갖는, 중공의 커버 튜브 용기에 액체 금속을 저장하고, 액체 금속의 표면은 중력 순방향에 대하여 수직 방향의 액면을 형성하고, 액체 표면으로부터 전자선을 방출하는, 전자총 장치.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,
 전자선을 방출하는 방향이 중력에 대하여 순방향인 경우에는 하부에 개구를 갖는, 중공의 커버 튜브 용기에 액체 금속을 저장하고, 액체 금속의 표면은 커버 튜브 용기의 축에 수직 방향의 액면을 형성하고, 액체 표면으로부터 전자선을 방출하는, 전자총 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서,
 전자선을 방출하는 액체 재료는 중공의 커버 튜브 용기의 내부의 내벽 측면에 모세관 현상으로 부착되고, 전자 방출면은 중력의 방향을 향하여 최하면이며, 액체 금속에 가해지는 중력과, 전자를 인출하기 위한 전극에 의한 표면 전계에 의한 정전 전기력과, 커버 튜브 용기와 액체 금속의 표면 장력에 의해, 정적으로 균형잡힌 액체 금속 표면을 형성하고,

커버 튜브 용기의 내경의 가장 굵은 부분은 반경이 0.1 mm 내지 1 mm 인, 전자총 장치.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

중공의 커버 튜브 용기는 고온 가열시의 액체 금속에 대한 접촉각이 90 도 이하이고 용점이 2000℃ 이상인 고용점 재료로 형성되고,

상기 용기의 형상은 중력축의 방향을 향한 전자선 방출 재료의 측면을 덮도록 하며,

상기 용기의 외형은 중력 방향을 중심축으로 하는 각기둥, 또는 원기둥, 또는 원뿔대형의 형상이고,

상기 용기의 내형은 중력 방향을 중심축으로 하는 각기둥, 또는 원기둥, 또는 타원 기둥, 또는 긴 원기둥, 또는 원뿔대형인, 전자총 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

액체 금속의 용량의 최소 한계값은 중공의 커버 튜브 용기의 최하부의 내면을 구성하는 원기둥 또는 각기둥의 평균 반경을 R로 할 때, $4\pi R^3/3$, 즉 내면에 부착할 수 있는 구체 이상의 용량을 갖고, 커버 튜브 용기 하면의 개구로부터 액 매달림이 일어나지 않도록 액체량이 결정되고,

커버 튜브 용기 내부의 단면의 내경의 가장 큰 단면의 최대 반경을 r(cm)로 할 때, 커버 튜브 재료와 전자 방출용 액체 금속 재료의 접촉 각도를 θ (도), 액체 금속의 표면 장력을 γLG (dyne/cm)로 하고, 액체 금속 밀도를 ρ (몰을 1로 하여 5 ~ 10), 가속도를 $980(g \cdot cm/s^2 : cgs \text{ 단위계})$ 으로 할 때 액체 금속의 용량의 최대한계값은

액체 금속의 중력 방향의 높이(h)가 $h=2\gamma LG \times \cos(\theta(\text{도})) / (r \times \rho \times 980)$ (cm)의 5 분의 4보다 작게 설정되어, 커버 튜브 용기의 최하면으로부터 액 매달림이 일어나지 않도록 결정되어 있는, 전자총 장치.

청구항 9

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

수소화된 액체 금속의 액체 금속이 란탄, 세륨, 가돌리늄, 터븀, 또는 프라세오디뮴인, 전자총 장치.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

중공의 커버 튜브 용기의 벌크 재료가 용점이 2000 ℃ 이상인 고용점 금속, 또는 텅스텐, 레늄, 몰리브덴, 또는 탄탈이거나, 또는 금속의 붕화물 또는 전이 금속의 붕화물을 주체로 하여 형성된 재료인, 전자총 장치.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

중공의 커버 튜브 용기의 내면에는

티탄 또는 산화 티탄 또는, 텅스텐 또는 텅스텐의 산화 피막이 부착 형성되어 있거나, 또는 액체 금속의 내부에 티탄 또는 산화 티탄 또는 텅스텐 또는 텅스텐의 산화물로 이루어진 분체가 혼입되어 있는, 전자총 장치.

청구항 12

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

진공을 유지하기 위한 진공 챔버 내에 적시적 또는 연속적으로, 수소 가스를 흘리는, 전자총 장치.

청구항 13

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

중공의 커버 튜브 용기의 수소화된 액체 금속의 표면과 반대측의 면에 덮개를 하는, 전자총 장치.

청구항 14

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

중공의 커버 튜브 용기의 내부에, 액체 금속 재료와 함께 고체의 수소 흡장 합금으로서 수소를 다량으로 흡장한, 팔라듐, 또는 티탄, 또는 지르코늄, 또는 마나듐, 또는 니켈의 수소 흡장 합금을 중공의 커버 튜브 안에 액체 금속 재료와 함께 내포하는, 전자총 장치.

청구항 15

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

중공의 커버 튜브의 전자선 방출측의 면에, 다수개의 구멍을 설치한 관상 부재를 설치하고, 수소화된 액체 금속이 구멍의 내부에 머물러 전자선을 방출하는 액체면을 형성하고, 다수의 전자선을 동시에 병렬적으로 방출하는, 전자총 장치.

청구항 16

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

중공의 커버 튜브 용기를 다수개 묶은 것을 특징으로 하는 전자총 장치.

청구항 17

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

중공의 커버 튜브 용기의 전자선 방출측의 면과 대향하는 측면으로부터 분체, 고체, 또는 액체의 형태로, 수소화된 액체 금속의 재료를 보전하는, 전자총 장치.

청구항 18

제 9 항에 있어서,

중공의 커버 튜브 용기의 벌크 재료가, 이붕화 티탄, 이붕화 지르코늄, 이붕화 하프늄, 이붕화 탄탈 또는 이붕화 이트륨의 단결정을 주체로 하여 형성된 재료인, 전자총 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전자빔 묘화 장치·X선 발생기·전자빔 용접기·전자 현미경 등에 사용되는 전자총 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전자총은 전자빔을 발생하는 발생원(源)이고, 이하와 같은 용도로 사용되고 있다.

[0003] 1) 전자빔 묘화 장치

[0004] 반도체 제조 공장 또는 광 노광 장치의 마스크 제조 공장에서 유리 건판상의 패틴 형성에 사용되고 있다. 패틴을 발생시킬 수 있는 기술은 달리 없으므로, 전자빔을 발생하는 전자총이 필수로 되어 있다. 세계 시장은 연간 20 대 정도이다.

[0005] 2) 연구 개발용, 전자빔 패틴 직접 묘화 장치

[0006] 다양한 용도로 전자빔 직접 묘화가 사용되고 있다. 반도체 제작(試作)·미세 MEMS 제작에 사용된다. 연간 수백대 정도이다. 여기에서, MEMS(멤스)는 「미소한 전기 기계 시스템」이라는 의미의 영어 「Micro Electro Mechanical Systems」의 약어로, 반도체의 실리콘 기판·유리 기판·유기 재료 등에 기계 요소 부품의 센서·액추에이터·전자 회로 등을 일괄한 미크론 레벨 구조를 갖는 디바이스를 가리킨다.

- [0007] 3) X선 발생 장치
- [0008] 의료용·산업용의 각종 X선 발생 장치에는 전자총이 필수이다. X선 장치는 병원에서의 인체 투과 사진 촬영, CT 장치나, 산업용에는 디바이스의 내부 구조의 시험, 수하물 등의 검사 등 많은 분야에서 사용된다.
- [0009] 4) 전자빔 용접기 또는 3차원 조형 장치
- [0010] 진공 내부에서 재료가 다른 금속끼리 접합하는 등의 용도로 정밀한 용접에서 사용된다. 또한 최근 3차원 조형 장치 등에서 전자빔이 사용된다.
- [0011] 5) 전자 현미경. 반도체 검사 관찰용, 각종 연구 개발용의 여러 종류의 전자 현미경용의 전자총으로서 사용된다. 장치 전체에서는 수천억 엔의 시장이 있다. 단, 장치로서 수백만 엔 이하의 염가의 장치에는 본 개시의 전자총 장치를 적용할 수 없는 경우도 있는 것으로 생각된다.
- [0012] 전자 방출 재료(=전자총 재료)로서 다종의 것이 사용되어 왔지만, 일반적인 것은 2 종류로 도태되어 왔다. 열 전자 방사 텅스텐 전자총과 열전자 방사 LaB₆ 전자총이다. 여기에서, 이하에서는 「LaB₆」에 대하여 「LaB6」로 표기한다.
- [0013] 텅스텐 전자총은 저렴(1 개 1000 엔 정도)하고 간편하게 사용할 수 있지만, 수명이 1000 시간이고, 휘도가 50 kV에서 104 A/cm² steradian 정도로 낮다. 또한, 사용 온도는 약 2500 °C 부근이다.
- [0014] LaB6 전자총은 1 개 20~50만 엔으로 고가이지만, 휘도는 50 kV에서 106 A/cm² steradian으로 높다. 그러나, 이 재료는 사용 온도에 따라 증발 속도가 다르고, 1550 °C 내지 1600 °C에서는 1000 시간에서 수십 μm의 증발 소모가 있으므로, 고휘도로 하면 할수록 수명이 단시간이 된다는 중대한 결점을 안고 있었다.
- [0015] 여기에서 전자 방출 재료인, LaB6 결정은 사용에 의해 소모된다. 그리고, 소모된 경우에는 형상이 변화되어 소기의 전자선 방출을 실시할 수 없게 된다. 또한, LaB6 결정이 고온이 되면, LaB6 재료의 증발물이 가열용 히터의 표면에 내려와 쌓여 히터의 저항값이 떨어져, 동일한 가열 전류를 흘리고 있으면 LaB6 결정의 온도가 저하되는 문제도 있다.
- [0016] 또한, LaB6 결정의 측면으로부터의 증발을 억제하기 위해 탄소막 또는 고용점 금속막에 의한 커버를 형성하는 것도 제안되어 있다. 탄소막 또는 고용점 금속막에 의한 커버는 전자총의 장시간 사용 후에도 형상 변화없이 남지만, LaB6 결정의 상면은 크게 소모되어 커버의 내면에 들어간다. 그 때문에 사용 개시시의 LaB6 결정의 선단으로부터 방출되는 전자빔 강도 분포가 강도도 강하고 중심부의 조사 균일성이 양호했던 것에 비해, 장시간 사용 후의 LaB6 결정 상면에 의한 전자선 방사 분포는 전체 전류도 작아지고, 전자 방사 분포의 균일성도 폭이 좁아져 열화된다.
- [0017] 이것은 특허 문헌 1(일본 특허 제5595199호 공보)에 수백 시간의 사용에 의해 전자총의 선단 LaB6 결정이 소모되어, 선단면이 평면으로부터, 둥근 작은 산과 같은 형상이 되는 것이 도시되어 있다. 이와 같이 소모된 전자총의 선단으로부터는 동일한 전자선 방출 강도 전자선이 나오지 않게 되므로, 안정적인 전자총으로서 사용할 수 없을 뿐만 아니라, 조사되는 전자빔의 균일성 분포가 변화되는 것이 최대의 문제점으로 지적되고 있다. 본 발명자들도 30 년 이상에 걸쳐 동일한 과제를 안고 있었다. 즉 휘도를 올리려고 하면 높은 온도가 필요하고 LaB6 결정의 표면의 소모에 의해 단시간에 전자총 형상이 변화되므로 수명이 짧아진다. 이를 극복하지 않고서는 전자총의 장래는 전망이 보이지 않는다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0018] (특허문헌 0001) 일본 특허 제5595199호 공보

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0019] 상술한 바와 같이 전자총의 고휘도화와 히터 온도 안정화와 전자총의 장수 명화를 동시에 성립시키는 것이 요망

되고 있다. 특히, 수명에 관해서는 1 년 이상의 장수명화를 달성할 수 있는 것이 요망된다.

과제의 해결 수단

- [0020] 본 발명에 관한 전자총은 진공 중에서 고온으로 가열을 실시하여 전자선을 방출하는 전자총 장치로서, 전자선을 방출하는 재료의 표면은 고온 동작시에는 녹은 액체의 수소화된 금속이고, 액체의 수소화된 금속은 고온 동작시에 고체인 증공의 커버 튜브 용기에 수소화된 액체 금속 또는 수소화 전의 액체 금속으로서 저장되고, 커버 튜브 용기와 함께 고온으로 가열되어, 수소화된 액체 금속이 커버 튜브 용기로부터 노출되고, 중력과 전계와 액체 표면의 표면 장력이 균형잡힌 액체 표면을 형성하고, 그 노출된 수소화된 액체 금속 표면으로부터 전자선을 방출한다.
- [0021] 본 발명에 관한 전자총은 하기와 같은 구성으로 하는 것이 바람직하다.
- [0022] 진공 중에서 1000 ℃ 이상 1600 ℃ 이하의 고온으로 가열하여 전자선을 방출하는 전자총에서
- [0023] 1) 전자선을 방출하기 위한 재료는 고온 동작시에는 녹은 액체이고, 수소화 금속이며, 수소화되지 않은 상태의 금속 재료 본체의 일 함수를 수소화함으로써 저장하여 전자 방사 강도를 높임과 함께, 대기 또는 산소 가스 노출시의 재료의 산화를 억제하고, 또한
- [0024] 2) 액체 수소화 금속은 고온 동작시에는 고체인 증공의 커버 튜브 용기에 저장되어 용기와 함께 고온도로 가열되고,
- [0025] 증공의 커버 튜브 용기는 동일 고온 상태에서, 전자선 방출 재료의 액체 수소화 금속과 화학 반응하여 용해되지 않는 재료로 이루어지고, 증공의 커버 튜브 용기는 도전성을 구비하며
- [0026] 3) 액체 금속 원자는 수소 원자를 결합시킴으로써 액체 금속 원자의 본래 구비하는 일 함수를 저감시켜, 전자 방사 능력을 증가시키도록 하고,
- [0027] 고온 동작 온도에서의 액체 금속의 진공으로의 증기압은 10^{-6} pascal 내지 1 pascal 이고
- [0028] 4) 수소화된 액체 금속의 표면은 법선 벡터가 중력 방향과 일치하고 있고, 중력과 전계에 의해 대략 수평인 정적 평면을 형성하고
- [0029] 5) 중력 방향을 향하거나 중력 반대 방향을 향하여, 열전자 또는 전계 인가형 열전자 방사를 실시한다.

발명의 효과

- [0030] 본 발명에 따르면, 전자총의 고휘도화와 히터 온도 안정화와 전자총의 장수명화를 동시에 성립시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1(a)는 본 발명의 실시 형태에 대해서 설명하는 도면으로, 전자 방출면이 중력에 대하여 역방향을 향하고 있는 경우의 도면이다.
- 도 1(b)는 본 발명의 실시 형태에 대해서 설명하는 도면으로, 전자 방출면이 중력의 방향을 향하고 있는 경우의 도면이다.
- 도 2는 비교예의 고체의 LaB6 단결정 전자총의 고온에서의 전자 방출을 실시하여 LaB6 결정이 증발하고, 전자총 형상이 변화되는 것을 설명하는 도면이다.
- 도 3은 실시 형태에서의 전자 방출면이 중력의 방향을 향하고 있는 경우의 액체 전자총 전자 방출 재료의 증발에 의한 액체 총량의 감소에 대하여 도시하는 도면이다.
- 도 4는 표면 장력과 모세관 현상에 대해서 설명하는 도면이다.
- 도 5(a)는 액체 전자총의 전자 방출 재료에 대하여 설명하는 도면으로, 예를 들어 란탄 액체가 사용되고 있는 경우에 대하여 설명하는 도면이다.
- 도 5(b)는 액체 전자총의 전자 방출 재료에 대하여 설명하는 도면으로, 예를 들어 수소화된 란탄 액체가 사용되고 있는 경우에 대하여 설명하는 도면이다.
- 도 6은 전자총 가열 온도와 발생 전류값의 관계에 대하여 설명하는 도면이다.

도 7(a)는 액체 전자 방출 재료의 내부에 포함되는 탄소 원자의 청정화를 위해 필요한 광촉매의 설치에 대한 설명도로, 액체 재료 중에 광촉매의 분체를 혼입한 경우의 설명도이다.

도 7(b)는 액체 전자 방출 재료의 내부에 포함되는 탄소 원자의 청정화를 위해 필요한 광촉매의 설치에 대한 설명도로, 커버 튜브의 내면에 광촉매의 피막을 부착한 경우의 설명도이다.

도 8은 액체 전자총이 설치된 진공의 전자총 챔버 내부에 수소 가스를 유입시키는 형태를 설명하는 도면이다.

도 9는 중공의 커버 튜브 용기의 내부에 액체의 전자 방출 재료를 충전하는 첫번째 방법에 대해서 설명하는 도면이다.

도 10은 중공의 커버 튜브 용기의 내부에 액체의 전자 방출 재료를 충전하는 두번째 방법을 설명하는 도면이다.

도 11은 액체의 전자 방출 재료의 내부에 분체로 혼입된 수소 흡장 합금이 수소를 공급하는 모습을 도시한 도면이다.

도 12(a)는 일체의 커버 튜브의 전자 방출면에 박막의 다수의 개구를 갖는 부재를 설치하고 다수의 전자 방출을 실시하여, 멀티빔을 형성하는 전자총에 대해서 설명하는 도면으로, 전자총의 전체도이다.

도 12(b)는 일체의 커버 튜브의 전자 방출면에 박막의 다수의 개구를 갖는 부재를 설치하고 다수의 전자 방출을 실시하여 멀티빔을 형성하는 전자총에 대해서 설명하는 도면으로, 멀티 전자원의 선단부의 확대도이다.

도 13(a)는 필요로 되는 전자 방출 면적이 큰 경우에 다수의 모세관으로서 중공의 커버 튜브 용기를 복수개 묶음으로써 소요의 대면적의 전자 방출면을 형성하는 것의 설명도로, 전자총의 전체도이다.

도 13(b)는 필요로 되는 전자 방출 면적이 큰 경우에 다수의 모세관으로서 중공의 커버 튜브 용기를 복수개 묶음으로써 소요의 대면적의 전자 방출면을 형성하는 것의 설명도로, 선단부의 확대도이다.

도 14는 액체 전자총의 전자 방출 재료의 소모를 보전하기 위해 고체의 전자 방출 재료를 정기적으로 중공의 커버 튜브 용기에 낙하시키는 방법에 대해서 도시하는 도면이다.

도 15(a)는 중력의 하향 방향의 전자총을 비스듬하게 약 45 도 정도 기울였을 때의 액체 전자 방출 재료의 액체의 대략 평면으로, 수직시와 거의 변화되지 않는 것을 도시하는 도면으로, 전체도이다.

도 15(b)는 중력의 하향 방향의 전자총을 비스듬하게 약 45 도 정도 기울였을 때의 액체 전자 방출 재료의 액체의 대략 평면으로, 수직시와 거의 변화되지 않는 것을 도시하는 도면으로, 주요부 확대도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 「발명의 경위」

[0033] 우선, 본 발명자들은 LaB6 단결정의 전자총을 고온 가열하는 경우에, 탄화수소(CH₂)의 사슬이 긴 탄화수소계 접착제를 사용하고 있으면, 돌연 전자총이 LaB6의 통상 운전 온도 1500 °C가 현격하게 고휘도가 되어 1200 °C까지, 300 °C의 저온화에서 동작시켜도 휘도가 변하지 않는다는 현상을 발견하였다. 단, 접착제는 안정성과 제어성을 얻기 곤란했다.

[0034] 그래서, 탄화수소를 가스로 공급하는 방법으로 전환했다. 가스로 한 것은 가스의 압력과 유량으로 외부로부터 제어하기 쉬워지기 때문이다. 가스의 종류는 메탄 가스 CH₄이다. 이것이 가장 간단한 탄화수소 가스이다. LaB6 단결정은 통상 1500 °C 이상의 고온이 필요하지만, LaB6 결정을 1200 °C로 방치하여 메탄 가스를 10⁻⁴ pascal로 전자총의 진공 챔버 내부를 채우도록 흘려 두면, 5 시간 후에 LaB6 단결정의 1500 °C 정도의 전자 발생 강도를 실현할 수 있게 되었다. 그 이유는 메탄 가스가 작용하여 LaB6의 붕소(보론; B)를 파괴하고, 다이보레인(B₂H₆)이라는 기체 가스로서 진공 펌프로 인출된다. 그 결과 란탄 원자가 LaB6 표면에 액체로 남아, 란탄 액체로서 전자를 발생하는 것을 알았다. 메탄 가스에 의한 란탄액 발생과 메탄 중의 수소에 의해 수소화 란탄의 형성이 가능해져 있는 것도 알 수 있었다. 메탄 가스의 탄소는 붕소(B)의 격자를 파괴하기 위해서는 유용하다. 란탄액이 형성되어 있는 상태에서는 1200 °C 방치에서는 통상 LaB6의 일 함수, 2.6 eV가 2.1 내지 2.0 eV로 현저하게 저하되므로, 전자 발생 효율이 100 배 내지 1000 배가 되므로, 온도를 300 °C 낮게 하여 사용할 수 있다는 것이다.

[0035] 란탄은 산화되기 쉬우므로, 대기 중에 취출하면 LaB6 결정상의 얇은 수소화 란탄층은 대기 중의 산소와 용이하

게 반응하여 산화 란탄이 된다. 산화 란탄의 일 함수는 3.5 eV로 크므로, 다시 진공을 형성해도 전자의 발생 효율이 나쁘다.

- [0036] 본 발명자는 1200 °C에서의 메탄 정상류에 의한 란탄액의 낮은 일 함수는 수소화된 란탄 LaHx에 의한 것임을, 란탄 수소 시약을, 증공의 커버 튜브 용기에 넣어 녹이고, 일 함수가 일치하는 것을 확인하여 밝혀냈다.
- [0037] 여기에서 말하는 LaHx는 란탄 1 개에 대해 수소가 1 내지 3 개인 것을 말한다. x는 값을 확정할 수 없는 것을 가리킨다.
- [0038] 본 발명자들은 동시에 란탄의 잉곳 덩어리를 텅스텐 보트에서 진공 중에서 가열하여 증공의 커버 튜브 용기에 넣고 란탄을 액체화하였다. 이를 수소 가스를 흘린 전자총 챔버에서 운전해도, 수소화 란탄과 동일한 일 함수 2.1 내지 2.0 eV를 얻을 수 있었다.
- [0039] 그래서 수소화 란탄을 이용하면, 고휘도 저온도 동작의 전자총을 액체면으로 제작할 수 있는 것을 깨달았다. LaB6의 고체 표면에서는 1500 °C 이상으로 하여, LaB6가 증발하여 고체 표면의 형상이 변화되어가므로, 이에 의해 단시간에 전자 방출량이나 전자 방출 분포가 변화되므로, 사용 가능 조건이 짧은 점에서 수명이 짧은 것으로 되어 있었다. 1550 °C에서 1000 시간 정도였다.
- [0040] 액체 전자총에서는, 액면은 전자 방출 물질의 증발에 대하여, 액면의 형상을 변화시키지 않고 액체의 총량이 변화될 뿐이다.
- [0041] 그 때문에, 중력 방향과 역방향 즉 상방향을 향한 액체 전자총면으로부터 전자선을 내는 경우에는, 증발하는 액체의 총량이 감소되어 가는 것을 보상하도록 상부 액면을 일정하게 제어하는 기구를 설치하면, 액체면을 수평면으로 하여 그 높이를 변화시키지 않도록 할 수 있다.
- [0042] 중력 방향과 순방향으로 즉 하방향으로 전자선을 출사하는 경우에 대하여 설명한다. 전자선 조사 장치의 태반이 중력에 대하여 하방향으로 전자선을 조사하는 경우가 많다. 이 경우에, 액체 전자총 재료인 수소화 란탄은 어떻게 유지되는가? 액체의 수소화 란탄은 고체의 증공의 커버 튜브 용기의 내부에 저장한다. 커버 튜브 용기의 선단 전자 방출면에는 공공(空孔)이 설치되어 있다. 커버 튜브는 대략 원통형 내지는 선단이 가늘어진 사다리꼴 원기둥 형상을 하고 있다.
- [0043] 액체 금속 재료는 고온 가열시에 증공의 커버 튜브 용기의 측면에 모세관 현상으로 부착함으로써, 커버 튜브의 선단부의 최하면이 개방되어 있음에도 불구하고, 액체가 하방으로 흘러 나와 매달리는 일은 없다. 란탄 액체를 전자총으로서 사용하는 경우에 중력과 균형잡힌 양의 액체 금속 총량을 정하고, 커버 튜브의 최하면의 개방된 개구에 표면 장력으로 정적인 대략 평면인 표면 장력에 의한 액체면이 생긴다. 전극에 전압 인가를 실시하여 액체면에 전압을 인가하고, 가열에 의해 전자 방출을 액체 표면으로부터 나오게 할 수 있다.
- [0044] 이와 같이, 본 발명자들은 고체의 LaB6를 사용하는 한, 사용 온도에서의 LaB6 결정의 증발을 막는 수단이 없고, 고체인 전자총 표면의 형상이 변화되는 것으로부터 피할 수 없어, 유한의 수명을 피하기 어려운 것에 착안하여, 전자총의 전자 방출면을 액체화하는 것을 착상해 내기에 이르렀다. 액체화하면 전자총 표면의 증발에 대해서도 일정한 형상을 계속 유지할 수 있다. 수명은 액체의 총량이 고갈될 때까지 사용 가능하다.
- [0045] 이하, 본 발명을 실시하는 형태(실시 형태)에 대하여 도면을 참조하면서 설명한다.
- [0046] 도 1(a), 도 1(b)는 본 발명의 실시 형태 1에 대하여 도시한 도면이다. 도 1(a)는 중력과 반대 방향(중력 반대 방향)으로 전자빔을 방출하는 액체 전자 방출 평면 전자총(액체 전자 방출 재료(108)의 액체 표면은 중력 방향(중력 벡터)에 대하여 수직 방향)에 대하여 설명한다. 액체 전자 방출 재료(108)는 전류가 흐르는 파지 기구(103)와 PG 히터(110)에 의해 가열되고, 1000 °C 내지 1600 °C의 고온에서 액체화된다. 액체 전자총 재료는 증공의 커버 튜브 용기(102)에 의해 외부로 새지 않도록 설치된다. 액체 전자 방출 재료의 상부의 노출면으로부터 열전자 또는 열전계 방출 전류가 전자빔(107)으로서 방출된다. 방출 전류는 전자 방출량을 제어하는 웨넬트 전극(104)을 통과하고, 양극(101)에 의해 가속되어 전자빔(107)이 된다. 시간 경과와 함께, 액체 전자 방출 재료가 증발되므로, 액체 총량은 감소된다. 그러나, 액체 상면의 형상은 변화되지 않지만, 그대로 방치하면 액면이 시간 경과와 함께 내려가므로, 전자총원의 높이가 변화된다. 이를 막기 위해 기어(105)가 정기적으로 회전하고, 기어(105)와 맞물려 "111" 피스톤을 상승 하강시키는 평기어(113)를 상방향으로 밀어 올린다. 이에 의해, "111"의 피스톤의 지지 부품(112)이 밀어 올려진다. 이에 의해, 피스톤(111)이 밀어 올려지므로, 액체 전자 방출 재료의 상면은 형상과 높이 방향의 위치가 불변으로 유지된다. 이에 의해, 고휘도와 장수명화가 동시에 달성된다. 웨넬트 전극의 전위는 플러스이어도 마이너스이어도 된다. 단, 양극의 전위는 전자를 가속하

기 위해 플러스 1 kV 내지 100 kV 이상이다. 또한, "114"는 파지 기구(103)를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "106"은 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부, "109"는 중력의 방향은 나타낸다.

[0047] 도 1(b)는 중력 순방향으로 전자빔을 방출하는 액체 전자 방출 평면 전자총(액체 전자 방출 재료(125)의 액체 표면은 중력 방향(중력 벡터)에 대하여 수직 방향)에 대해 설명한다. 액체 전자 방출 재료(125)는 전류가 흐르는 파지 기구(117)와 PG 히터(118)에 의해 가열되고, 1000 °C 내지 1600 °C의 고온 동작 온도에서 액체화된다. 액체 전자총 재료는 중공의 커버 튜브 용기(124)에 의해 외부로 새지 않도록 설치된다. 액체 전자 방출 재료의 하부의 노출면으로부터 열전자 또는 열전계 방출 전류가 전자빔(120)으로서 방출된다. 방출 전류는 전자 방출량을 제어하는 웨넬트 전극 하부(116)를 통과하고 양극(119)에 의해 가속되어 전자빔(120)이 된다. 중공의 커버 튜브 용기는 고온 가열시의 액체 금속에 대한 접촉각이 90 도 이하인 고용점 재료로 형성되고, 중공의 커버 튜브는, 형상은 중력축의 방향을 향한 전자선 방출 재료의 측면을 덮도록 하고, 외형은 중력 방향을 중심축으로 하는 각기둥, 또는 원기둥, 또는 원뿔대 형상이고, 내형은 중력 방향을 중심축으로 하는 각기둥, 또는 원기둥, 또는 타원기둥, 또는 긴 원기둥(長円柱), 또는 원뿔대형인 중공의 커버 튜브인, 시간 경과와 함께 액체 전자 방출 재료가 증발되므로 액체 총량은 감소된다. 그러나, 액체의 하면의 형상은 변화되지 않는다. 액체 금속에 가해지는 중력과, 전자를 인출하기 위한 전극에 의한 표면 전계에 의한 정전 전기력과, 커버 튜브 용기와 액체 금속의 표면 장력에 의해, 정적으로 균형잡힌 액체 금속 액면을 형성하여 장기간에 걸쳐 일정한 전자 방출면이 유지된다. 단, 이 때 액체 전자 방출 재료(125)의 총량에는 하한과 상한이 있다. 액체 금속 용량의 최소 한계값은 중공의 커버 튜브의 최하부의 내면을 구성하는 원기둥 또는 각기둥의 평균 반경을 R로 할 때, $4\pi R^3/3$, 즉 내면에 부착할 수 있는 구체 이상의 용량을 갖고, 하면 커버 튜브 용기의 개구로부터 액 매달림이 일어나지 않도록 액체량이 결정되어 있다. 상한은 커버 튜브 용기의 내부의 단면의 내경의 가장 큰 단면의 최대 반경을 r (cm)로 할 때, 커버 튜브 재료와 전자 방출용 액체 금속 재료의 접촉 각도를 θ (도), 액체 금속의 표면 장력을 γ LG(dyne/cm)로 하고, 액체 금속 밀도를 ρ (물을 1로 하여 5 ~ 10), 가속도를 $980(g \cdot cm/s^2 : cgs \text{ 단위계})$ 로 할 때, 액체 금속의 용량의 최대 한계값은 액체 금속의 중력 방향의 높이(h)가 $h=2\gamma LG \times \cos(\theta(\text{도})) / (r \times \rho \times 980)(cm)$ 의 5분의 4보다 작게 설정되어, 커버 튜브의 최하면으로부터 액 매달림이 일어나지 않도록 결정되어 있다.

[0048] 여기에서, 커버 튜브 용기의 내경의 가장 굵은 부분은 반경이 0.1 mm 내지 1 mm인 것이 바람직하다.

[0049] 또한, 중공의 커버 튜브를 중력에 대하여 기울였을 때에는 액체 금속의 표면은, 상면은 중력의 방향을 향하고 액면은 중력과 수직이 된다.

[0050] 액체 금속의 하면은 그 위치에서의 중력과 전계와 표면 장력의 균형의 결과, 이 경우는 표면 장력이 지배적이므로, 중공의 커버 튜브의 선단 단면을 따른 평면 즉 커버 튜브축과 수직인 평면이 된다. 이것은 커버 튜브를 중력에 대하여 플러스 마이너스 60도 기울였을 때까지는 올바르게 성립된다.

[0051] 중공의 커버 튜브 용기는 고체의 고용점 재료가 벌크 재료로서 사용되고 있다. 벌크 재료는 5 μm 이하의 박막이 아닌 것을 나타내고 있다. 벌크 재료는 액체 전자 방출 재료 예를 들어 수소화 란탄 액체와 화학 반응해서는 안된다. 화학 반응하여 용해되면, 란탄 액체가 커버 튜브 용기 재료와의 화합물을 만들어 변질되므로, 일함수가 변화되고, 전자 방출 능력이 현저하게 저하된다. 뿐만 아니라, 중공의 커버 튜브 용기의 두께가 점점 얇아져, 최후에는 구멍이 생기고 수소화 란탄액이 예상치 못한 면에 새어나와 액적을 만들고 이 액적으로부터도 전자가 방출되면, 어쩔 수 없이 방출량이 많은 전자총이 된다.

[0052] 그러나, 이 예상치 못한 구멍에서 나온 수소화 란탄액으로부터 방출되는 전자는 통상의 용도로는 사용할 수 없는 전자류이다. 중공의 커버 튜브 용기의 재료에는 금이 생겨도 안된다. 이와 같은 목적을 위해, 용점이 2000 °C 이상의 고용점의 재료가 필요하다. 고용점인 것과, 전자총을 고온에서 일정 형상을 유지하기 위해, 2000 °C까지의 고온에서 인장 강도, 굽힘 강도 등이 500 Mpasal 이상으로 고강도이며, 경도가 모스 경도로 6 이상의 경도가 바람직하다.

[0053] 또한, 란탄액과 화학 반응하지 않기 위해서는 탄소, 규소, 탄화 규소, 질화규소, 탄화 붕소(B₄C)는 사용할 수 없다.

[0054] 이와 같은 고용점의 재료로서 사용할 수 있는 것에는 텅스텐, 레늄, 탄탈, 몰리브덴, 이붕화 티탄, 이붕화 지르코늄, 붕화 텅스텐 등이 있다. 이붕소화 티탄(TiB₂)과 보론나이트라이드(BN)와 질화 알루미늄(AlN)의 혼합 소결물을 사용할 수도 있다. 상기에 한정되지 않고 금속 또는 전이금속의 붕화물(붕소화물), 질화물, 산화물

(Al₂O₃ 알루미나를 제외)은 커버 튜브 용기 재료로서 사용할 수 있는 것이 그 밖에도 존재한다. 이 때문에, 이들 물질을 주체로 구성할 수 있다. 벌크 재료가 도전체인 경우는 좋지만, 절연성 물질인 경우에는 커버 튜브의 외면과 저면, 상면, 내면에 도전막을 붙일 필요가 있다. 도전막의 두께는 1 μm 내지 5 μm이다. 내면의 막은 란탄액에 접촉되어 파단될 가능성이 있으므로, 란탄액은 중공의 커버 튜브 용기의 벌크(두께가 있어 일정 체적을 갖는 것)로, 액 누출을 막을 필요가 있다.

- [0055] 실험 시작에 따르면, 이봉화 티탄 또는 이봉화 지르코늄 또는, 이봉화 하프늄 또는, 이봉화 탄탈 또는 이봉화 이트륨의 단결정이, 커버 튜브로서 사용할 때에 가장 우수한 성능을 발휘했다.
- [0056] 또한, 액체 전자 방출 재료의 불필요한 증발을 저지하기 위한 중공의 커버 튜브 용기의 내측 덮개(123)를 사용함으로써 25 배 이상의 장수명화를 도모할 수 있어 5 년 이상의 장수명화가 가능하다.
- [0057] 또한, "122"는 파지 기구(117)를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "115"는 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부, "121"은 중력의 방향을 나타낸다.
- [0058] 도 2는 비교예의 고체의 LaB6 결정의 수명에 대해서 설명하는 도면이다. 도 2의 사용전의 LaB6 결정(207)은 가열하여 가속 전압을 인가하여 전자 방출을 하는 경우, 균일한 강도의 조사 분포(208)를 갖는다. 그러나, 전자총 재료가 증발하여, 소모되면 선단부의 평면 면적이 작아지고, 외형 원기둥부가 가늘어진 LaB6 결정(215)이 된다. 이 경우의 전자총 방출의 조사 분포(219)는 중심만이 강도가 강해지지만, 균일한 조사 분포의 면적이 매우 작아진다. 이와 같이 전자총 방출 분포가 변화되면 이 전자총은 수명이 다했다고 하지 않을 수 없다. 통상 LaB6 결정의 전자총을 1550 °C 내지 1600 °C에서 사용하면 500 시간 내지 1000 시간 정도로 수명이 끝난다. 선단 평탄부가 50 μmΦ일 때, 수명이 1000 시간 경과로 선단은 10 μmΦ 이하가 된다. 이상이 수명의 문제이다.
- [0059] 전자총에 의한 수명 외에도 문제점이 있다. 도 2에 도시한 바와 같이, LaB6 결정이 고온이 되면, LaB6 결정(207)이 소모되어 가늘어짐과 동시에, 열분해 흑연(pyrolytic graphite) 히터(212)의 표면에 LaB6 재료의 증발물(216)이 내려와 쌓여 히터의 저항값이 내려가, 동일한 가열 전류를 흘리고 있으면, LaB6 결정의 온도가 저하된다.
- [0060] 또한, "201"은 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부, "202"는 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부, "203"은 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "204"는 PG(열분해 흑연) 히터, "205"는 양극, "206"은 "203"을 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "207"은 사용 개시시의 LaB6 단결정, "208"은 사용 개시시에서의 전자 방출 분포, "209"는 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부, "210"은 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부, "211"은 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "212"는 PG(열분해 흑연) 히터, "213"은 양극, "214"는 "211"을 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "215"는 히터로 끼워진 LaB6 결정 부분, "216"은 PG 히터 상에 내려와 쌓여 히터 저항값을 감소시켜 온도 저하의 원인이 되는 LaB6 결정의 증발물, "217"은 고온에 의해 승화하여 감소(減耗)된 LaB6 단결정의 형상, "218"은 사용 개시시의 소모가 없는 LaB6 단결정의 형상, "219"는 사용 개시시의 전자 방출 분포가 LaB6 단결정의 감소에 의해 변화된 후의 전자 방출 분포, "220"은 사용 개시시의 전자 방출 분포를 나타낸다.
- [0061] 도 3은 본 실시 형태인 전자 방출면이 중력의 방향을 향하고 있는 경우의 액체 전자총 전자 방출 재료의 증발에 의한 액체 총량의 감소에 대하여 도시한 도면이다. 본 도면에서는 수소화 란탄의 증발을 나타내기 위해 커버 튜브 용기의 내측 덮개를 제거한 경우에 대해서 설명한다. 전자 방출면은 액체 전자 방출 재료인 수소화 란탄면이 중력과 전계와 표면 장력에 의해 결정되는 대략 평면으로부터 전자 방출이 실시되므로, 시각이 경과되어도 전자 방출면의 중력 방향으로의 높이와, 액면의 형상이 완전히 불변으로 유지되므로, 고휘도와 장수명이 유지된다. 이 점이 본 실시 형태의 매우 우수한 점이다. 그러나, 장시간 경과되면 사용 개시시의 액체 전자 방출 재료 수소화 란탄(308)은 일정한 증기압으로 진공 중에 증발되어 간다. 일정 시간 경과 후의 액체 전자 방출 재료(319)의 상부 방향(318)의 액면은 저하되어 있다. 최종적으로는 3개월 정도로 총액량이 고갈된다. 액체 전자총에서는 이것이 진정한 수명이 된다. 그러나, 도 1(b)의 실시예에 나타난 바와 같이 액체 전자 방출 재료의 불필요한 증발을 저지하기 위한 중공의 커버 튜브 용기의 내측 덮개(123)를 사용함으로써 25 배 이상의 장수명화가 도모되어 5 년 이상의 장수명화가 가능해진다.
- [0062] 또한, "301"은 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부, "302"는 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부, "303"은 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "304"는 PG(열분해 흑연) 히터, "305"는 중공의 커버 튜브 용기, "306"은 양극, "307"은 "303"을 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "308"은 커버 튜브 용기 이면으로부터 액체 전자 방출 재료가 증발하는 방향, "309"는 액체 전자 방출 재료, "310"은 중력의 방향으로 사출되는 전자빔,

"311"은 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부, "312"는 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부, "313"은 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "314"는 PG(열분해 흑연) 히터, "315"는 중공의 커버 튜브 용기, "316"은 양극, "317"은 "313"을 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "318"은 커버 튜브 용기 이면으로부터 액체 전자 방출 재료가 증발하는 방향, "319"는 시간 경과에 의해 증발하여 총액량이 감소된 액체 전자 방출 재료, "320"은 중력의 방향으로 사출되는 전자빔을 나타낸다.

[0063] 도 4는 모세관 현상과 표면 장력에 대해서 설명하는 도면이다. 유리 기관(401) 상에 물(402)이 부착되는 경우, 각도 θ 의 방향으로 표면 장력이 작용하고, θ 는 90도 이하에서 물(402)은 액적의 형태로 유리 기관(401)에 부착된다. θ 를 접촉각이라고 부르고, 접촉각이 90도 이하인 경우에 습윤성이 좋다고 하며, 90도 이상의 경우에 습윤성이 나쁘고, 발수성이라고 한다. 특히 수은(411)의 경우는 접촉각이 90도 이상이고, 습윤성이 나쁘다. 유리관(403)을 물의 용기(404)의 물(405)에 담그면 모세관 현상으로 유리관에 물이 빨아 올려져 유리관 내부의 모세관 현상으로 상승한 수면의 상면(406)의 높이: h 는, 액체에 작용하는 표면 장력: γLG (단위: dyn/cm: 물의 경우 72 dyn/cm), 액체 밀도: ρ (물의 경우는 1, 란탄의 경우는 6), 중력 가속도: $g(980 \text{ cm/s}^2)$, 유리관의 반경: r 일 때, 높이: $h = (2 \gamma LG \cos \theta) \div (r \rho g)$ 가 된다. 유리관의 반경이 0.5 mm이면 액면의 상승은 28 mm가 된다. 접촉각이 90도 이상의 수은에서는 유리관 내의 수은면(416)은 수은의 용기(413)의 수은면(412)보다 낮다. 이 때문에, 수은의 경우는 유리관(415)이 올라가면, "417"과 같이, 수은 용기로부터 분리했을 때의 비어 있는 유리관, 접촉각이 90도 보다 큰 유리관과 수은은 습윤성이 나빠 모세관 현상으로는 관내에는 수은이 남지 않게 된다. 이상의 모세관 현상을 액체 전자총의 중공의 커버 튜브 용기에 적용하면, 커버 튜브 용기의 내부의 내벽 측면에 액체 전자 방출 재료가 부착되고, 최하면에 개구가 있어도 액체 전자 방출 재료는 커버 튜브 용기로부터 누출되는 일이 없고, 중력과 전계와 표면 장력에서 균형잡힌 안정된 대략 평면의 액체면을 형성한다. 이 액체의 대략 평면의 액체 표면으로부터 전자를 중력 방향으로 방출하는 것이 안정적으로 가능한 것이 중요한 주안점이 된다.

[0064] "407"은 물 용기의 유리관 이외의 수면, "408"은 유리관, "409"는 모세관 현상으로, 물 용기로부터 분리했을 때의 유리관 내부의 물(최하면은 표면 장력에 의해 대략 평면으로 되어 있음), "410"은 유리 기관, "412"는 유리관 이외의 수은 액면, "414"는 수은을 나타낸다.

[0065] 표 1은 모세관 현상에 의한 액체 전자총의 액체의 높이의 한계값, 즉 「란탄 액체의 한계 높이에 대해」 설명하는 표이다. 또한, 란탄 액체의 한계 높이에 대해서는 모세관 현상에 의해 원통형 모세관의 내부에 부착할 수 있는 물과 란탄과 세륨의 액체의 높이에 대해 나타내는 커버 부재의 개구의 직경에 대하여 허용되는 액체의 높이로 하고, 물의 표면 장력은 72.75 dyn/cm로서 계산하고 있다. 또한, 란탄과 세륨도 물과 동일한 표면 장력으로 액체가 되었을 때의 밀도가 큰 분량에 대해 나눗셈을 하고 있다. 실제로 란탄도 세륨도 1,000 °C 이상에서는 10 배 이상의 표면 장력을 갖는 것으로 되어 있다.

표 1

탄탄 액체의 한계 높이에 대해서

커버부재의 개구의 내경(mm)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
물의 액면 높이(mm)	280.0	140.0	93.3	70.0	56.0	46.7	40.0	35.0	31.1	28.0
탄탄 액면 한계 높이(mm)	46.7	23.3	15.6	11.7	9.3	7.8	6.7	5.8	5.2	4.7
세륨 액면 한계 높이(mm)	43.1	21.5	14.4	10.8	8.6	7.2	6.2	5.4	4.8	4.3

[0066]

[0067]

모세관 현상에 의해 원통형 모세관의 내부에 부착할 수 있는 물과 탄탄과 세륨 액체의 높이에 대해 나타내는 커버 부재의 개구 직경에 대하여 허용되는 액체의 높이, 물의 표면 장력은 72.75 dyn/cm로서 계산하고 있다. 탄탄과 세륨도 물과 동일한 표면 장력으로 액체가 되었을 때의 밀도가 큰 분량에 대해, 나뉘셈을 하고 있다. 실제로 탄탄도 세륨도 1,000 °C 이상에서는 10 배 이상의 표면 장력을 갖는 것으로 되어 있다. 이것은 약 1000 dyn/cm에 상당하므로, 이 표 1의 값보다 10 배 이상 높을 가능성이 있다. 표 1은 물의 상온에서의 표면 장력 72 dyn/cm로 계산한 것이지만, 커버 튜브 내직경 0.5 mm의 경우, 물의 액면 높이는 56 mm가 되고, 탄탄 밀도 6 에서는 9.3 mm의 높이가 허용된다. 이것은 실제의 전자총 커버 튜브 용기의 길이 3 mm보다 길므로, 항상 만족 되는 조건이다. 커버 튜브 용기의 가장 굵은 부분의 평균 내경과 한계 높이는 반비례의 관계임을 알 수 있다. 따라서, 커버 튜브 용기를 이 이상 굵게 하는 일이 없으면, 탄탄 액체가 커버 튜브 개구로부터 스스로 중력 방향으로 방울져 떨어지는 일은 없다. 세륨에 대해서도 밀도가 6.5 이므로, 이 조건은 거의 변화되지 않는다. 또한, 본 발명자들의 실험에 의하면, 고융점 금속 및 금속 분화물의 탄탄과의 표면 장력은 충분히 강하고 특히 1000 °C 이상에서는 습윤성이 문제가 되는 일은 실험적으로 한 번도 없었다. 실제의 필요한 운전 온도 1000 °C ~ 1600 °C와 휘도와, 수명의 요구치를 결정할 수 있으면 증공의 커버 튜브 용기의 내경을 설계상 결정할 수 있다.

- [0068] 도 5(a), 도 5(b)는 액체 전자총의 전자 방출 재료에 대해 설명하는 도면이다. 도 5(b)의 커버 튜브 용기 선단부의 개구로부터 수소화 란탄으로부터 전자빔(605)이 사출되고 있다. 도 5(a)는 란탄 액체가 사용되고 있는 경우에 대해 설명하는 도면이다. 이 경우는 전자총 챔버로 수소 가스를 흘려 수소화하고, 일 함수를 저감하여 사용할 필요가 있다. 특히 수소화되지 않은 경우에는 대기 중에서 10 분 정도로 산화하고, 수분과 반응하여 수소화가 시작된다. 이를 다시 전자총으로서 사용하는 것은 어려우므로, 도 5(b)와 같이 란탄 원자(603)에 수소 원자(606)를 반응시켜, 수소화 란탄으로 해 둘 필요가 있다. 즉 수소화는 전자 방출 효율을 유지하기 위해 필요할 뿐만 아니라, 대기 중에 취출한 경우에 산화를 방지하기 위해 필요하다. 수소화가 일정 이상 가능하면, 전자 방출면에 수소화 란탄 LaHx의 황색 결정이 생기므로, 산화를 막을 수 있다. 수소화가 충분히 되어 있지 않으면, 수소화 란탄 전자총을 가동시키는 경우에 전자총 챔버 진공 내에 수소 가스를 상시 흘릴 필요가 반드시 있는 것은 아니다.
- [0069] 또한, "601"은 액체 전자총 전체의 도면, "602"는 중력의 방향으로 방출되는 전자빔, "603"은 전자 방출 재료인 란탄 원자, "604"는 액체 전자총 전체의 도면, "605"는 중력의 방향으로 방출되는 전자빔, "606"은 란탄 원자 액체 중에 침입한 수소 원자를 나타낸다.
- [0070] 도 6은 전자총 가열 온도와 발생 전류값의 관계에 대해서 설명하는 도면이다. 횡축은 전자총의 온도(℃)이고, 종축은 방출 전류의 강도(전류(μA))이다. "703"은 수소화 란탄의 방출 전류를 나타내고 있다. "704"는 고체 LaB6 단결정의 전자 방출 전류를 나타내고 있다. 이 점에서 동일한 온도에서는 수소화 란탄의 방출 전류 강도가 LaB6 단결정의 방출 전류 강도의 10 배 내지 1000 배 높은 것을 알 수 있다. 즉, 수소화 란탄은 LaB6 단결정의 동작 온도보다 300 ℃ 낮은 온도에서 동일한 강도를 얻을 수 있다. 또한, LaB6 단결정은 고체이므로, 표면이 증발에 의한 형상 변화에 의해 단시간에 사용 조건을 만족시킬 수 없게 된다. 수소화 란탄은 액체이고, 액면이 중력과 전계와 표면 장력에 의해 안정적으로 결정되어, 액체량이 고갈될 때까지 사용할 수 있으므로 실제상의 수명은 10 배 내지 100 배가 된다. "705"는 텅스텐 전자총의 전자 방출 강도를 나타낸 것이다. 텅스텐에서는 2000 ℃를 초과하는 온도에서 사용하고, 100 μmφ의 필라멘트가 100 시간 정도로 증발하여 절단되므로 매우 단수명이다.
- [0071] 표 2는 액체 전자 방출 재료의 후보가 되는 원소의 종류에 대해 검토하는 표이고, 각종 원소 및 물질의 액체 전자 방출 재료로서의 적성(適性)을 검토한다. 사용 적성, 재료명, 융점, 비점과 1000 ℃ 내지 1500 ℃에서 액화 되거나, 그 온도 대역에서의 증발의 정도를 나타내는 증기압에 대해 나타내고 있다.

표 2

시용적성	재료명	용점 (°C)	비점 (°C)	특기사항 1,000°C~1,500°C에서 액체화되는가, 그리고 그 증기압은?	일람수
x	Ba (바륨)	726	1,637	증기압이 1,115°C에서 1,000pascal이므로 증발하기 쉽다.	
x	BaO (산화바륨)	1,923	2,000	용점이 1,000°C~1,500°C에서는 액체화되지 않는다.	
x	Sr (스트론튬)	777	1,382	증기압이 1115°C에서 100,000pascal이므로 증발하기 쉽다.	
x	Sr(OH)2 (수산화스트론튬)	101	710	비점이 700°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 증발한다.	
x	SrO (산화스트론튬)	2,430	3,000	용점이 2,430°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체가 되지 않는다.	
x	Ca (칼슘)	842	1,484	증기압이 1170°C에서 100,000pascal이므로 증발하기 쉽다.	
x	Mg (마그네슘)	650	1,091	증기압이 1088°C에서 100,000pascal이므로 증발하기 쉽다.	
x	MgO (산화마그네슘)	2,852	3,600	용점이 2852°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체화하지 않는다.	
x	Cs (세슘)	28	671	증기압이 667°C에서 100,000pascal이므로 증발하기 쉽다.	
x	Rb (루비듐)	39	688	증기압이 685°C에서 100,000pascal이므로 증발하기 쉽다.	
○	Gd (가돌리늄)	1,312	3,270	증기압이 1,363°C에서 0.1 pascal, 용점이 1,312°C.	CPD*1
○	Ce (세륨)	795	3,443	증기압이 1,300°C에서 0.1 pascal, 용점이 795°C.	PE*2
○	La (란타넘)	920	3,464	증기압이 1,300°C에서 0.001 pascal, 용점이 920°C.	PE*2
x	Nd (네오디뮴)	1,024	3,074	증기압이 1,322°C에서 1 pascal, 용점이 1,024°C.	PE*2
x	Th (토륨)	1,842	4,788	용점이 1,842°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체화하지 않는다.	
○	Pr (프라세오디뮴)	935	3,520	증기압이 1,498°C에서 1 pascal, 용점이 935°C.	
x	Pm (프로메튬)	1,042	3,000	원정 동위원소를 갖지 않는다. 증기압 불명.	
x	Sm (사마륨)	1,072	1,794	증기압이 967°C에서 100 pascal이므로 증발하기 쉽다.	
x	Eu (유로퓸)	826	1,529	증기압이 961°C에서 100 pascal이므로 증발하기 쉽다.	PE*2
○	Tb (터븀)	1,356	3,230	증기압이 1,516°C에서 1 pascal, 용점이 1,356°C.	PE*2
x	Dy (디스프로슘)	1,407	2,562	증기압이 1,250°C에서 10 pascal, 용점이 1,407°C.	3
x	Ho (홀름)	1,461	2,720	증기압이 1,159°C에서 1pascal, 용점이 1,461°C.	
x	Er (에르븀)	1,529	2,868	용점이 1,529°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체화하지 않는다.	
x	Tm (툴륨)	1,545	1,950	용점이 1,545°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체화하지 않는다.	
x	Yb (이테르븀)	824	1,196	증기압이 774K에서 1,000 pascal이므로 증발하기 쉽다.	
x	Lu (루테튬)	2,334	4,150	용점이 2,334°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체화하지 않는다.	
x	Zr (지르코늄)	1,855	4,409	용점이 1,855°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체화하지 않는다.	
x	Y (이트륨)	1,526	3,336	용점이 1,526°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체화하지 않는다.	
x	Sc (스칸듐)	1,541	2,836	용점이 1,541°C이므로 1,000°C~1,500°C에서는 액체화하지 않는다.	

*1 CPD = Contact potential difference 방법 에 따른.
 *2 PE = Photoelectric effect 방법 에 따른.

[0072]

[0073]

종래 널리 사용되고 있던 것이 LaB6 단결정이고, 1500 °C 내지 1600 °C에서의 사용이 실시되고 있었다. 이보다 나은 재료를 발견하기 위해, 1000 °C 내지 1600 °C 사이에서 장수명의 액체화할 수 있는 금속 원자를 찾을 필요가 있었다. 즉, 1200 °C 내지 1400 °C 부근에서 10⁻³ pascal 내지 10⁻¹ pascal의 낮은 증기압의 원소를 찾을 필요가 있었다. 즉 이것은 용점이 1300 °C 정도이고, 비점이 3000 °C를 초과하는 것이 필요했다. 즉 용점과 비점의 차가 큰 것이 필요했다. 또한, 원소와의 일 함수가 3 eV 이하이고, 비교적 작게 수소화된 경우에 약 1 eV 정도 저하되는 원소를 찾을 필요가 있었다. 예를 들어, 바륨이나 칼슘은 용점은 700 °C 내지 800 °C로 낮지만, 비점이 1500 °C 전후로 되어 있어 동작 중에 바로 증발되므로, 이와 같은 원소는 부적절했다. 본 발명자들의 검토에 따르면, 란타넘과 세륨은 1300 °C에서 10⁻³ pascal이고, 가장 적절한 원소였다. 그 밖에 가돌리늄은 1300 °C에서 10⁻¹ pascal, 프라세오디뮴(praseodymium)은 1500 °C에서 1 pascal, 터븀이 1516 °C에서 1 pascal이고,

란탄과 세륨에 비해 후 3자는 매우 수명이 짧아지는 것이 예측되지만, 전혀 사용할 수 없는 것은 아니다. 이러한 검토로부터 란탄과 세륨을 최적의 원소로서 제안할 수 있다.

[0074] 도 7(a), 도 7(b)는 액체 전자 방출 재료의 내부에 포함되는 탄소 원자의 청정화를 위해 필요한 광촉매의 설치에 대한 설명도이다(부호 901, 906는 액체 전자총 전체의 도면을 나타냄). 탄소 원자는 수소화 란탄의 전자 방출 효율을 현저히 악화시키는 것을 알 수 있다. 이 때문에, 중공의 커버 튜브 용기의 재료에 포함되는 탄소 원자에 의한 전자 방출 재료, 예를 들어 란탄, 수소화 란탄의 란탄 원자와의 화합물을 만들 가능성이 있다. 이를 저지하고, 란탄 액체 중의 잔류 산소 또는 전자총 챔버 내의 잔류 산소를 활성화하기 위해 잘 알려져 있는 자외광에 의한 광 촉매인 이산화 티탄과, 가시광에 의한 광촉매인 삼산화 텅스텐을 사용하여 란탄 액체 중의 탄소 성분의 일산화 탄소화에 의한 제거를 목적으로 한다.

[0075] 이산화 티탄 TiO_2 와 삼산화 텅스텐 WO_3 의 분체(902)를 수소화 란탄액 중 "903"에 혼입한다. 또는, 도 7(b)에서는 중공의 커버 튜브 용기의 내면에 이산화 티탄 또는 삼산화 텅스텐의 산화 피막(907)을 광촉매로서 부착 형성한다. 전자총은 PG 히터에 의해 1000 °C 이상에서는 적어도 가시광 이상의 광을 발광하므로, 자기가 내는 광 에너지를 이용하여 탄소 불순물의 산화에 의한 제거가 가능해진다. "904", "909"는 전자총 방출면의 이면으로부터 수소화 란탄이 증발하는 것을 막기 위한 커버 튜브 용기의 내측 덮개이다. "905", "910"은 중공의 커버 튜브 용기이다. "903", "908"은 수소화 란탄이다. 본 도면의 설명에 의해 중공의 커버 튜브 용기에 0.1 % 이하의 극히 미소한 탄소 성분이 있던 경우에도 액체 전자총의 방출 전류를 일정하게 유지하는 것이 가능해진다. 단, 커버 튜브 용기의 탄소 불순물을 저감할 수 있으면 광 촉매는 불필요해질 가능성이 있지만, 전자총 챔버 내로부터의 탄소 오염이 생각되므로, 안전을 위해서는 광 촉매는 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 이산화티탄은 금속 티탄의 자연 산화막을 이용하고, 삼산화 텅스텐은 금속 텅스텐의 자연 산화막을 이용해도 되므로, 사용하는 분체(902) 또는 산화 피막(907)은 금속 티탄 또는 금속 텅스텐이어도 된다.

[0076] 도 8은 액체 전자총이 설치된 진공의 전자총 챔버 내부에 수소 가스를 유입시키는 형태를 설명하는 도면이다. 액체 전자 방출 재료의 수소화 란탄(1001)의 수소량이 부족한 경우에는 전자총 챔버 내에 수소 가스 분자(1007)를 유입시켜 가스 분압을 제어하고, 적절한 수소량을 보급할 필요가 있다. 수소 가스는 수소 가스 분배(1020)로부터 수소 가스 조정용 매스 플로우 컨트롤러(1021)를 통하여 전자총 챔버 내(1022)에 수소 가스를 유입시킨다. 통상은 터보 분자 펌프(1011a)는 밸브(1010)를 개방하여 전자총 챔버 내를 진공으로 하고 있다. 그러나, 전자총 챔버에 수소 가스를 1×10^{-4} pascal이면 그만큼 터보 분자 펌프(1011a)에는 부하가 가해지지만, 예를 들어 단시간에 란탄을 수소화하고자 하는 경우에, 수소 가스 분압을 10^{-3} pascal 이상 전자총 챔버에 흘리고 싶어지는 경우가 있다. 이 경우, 터보 분자 펌프(1011a)는 부하가 걸려 고열을 발하게 되므로, 밸브(1010)를 닫고 제2 단 칼럼(1019)을 터보 분자 펌프(1011b)로 진공 형성을 실시한다. 그와 같이 하면, 전자총 챔버의 수소 분압을 높게 유지하고, 터보 분자 펌프에 부하를 가하는 일이 적어진다. 이것은 제2 단째 칼럼과 제3 단째 칼럼 사이의 진공 격벽(1012)의 원 구멍이 작음으로써 전자총 챔버와 제2 단째 칼럼 사이에 수소 가스 분압의 차가 발생할 수 있기 때문이다. 참고로, 전자빔(1008)은 진공 격벽(1013)을 통과하고, 전자빔 편향용 전극(1017)과 전자빔 수축용 자계 렌즈(1018)를 사용하여 전자빔 조사 작업이 실시되는 제3 단째 칼럼(1016) 내부의 전자빔이 조사되는 작업용 기관이고, 전자선 관찰 또는 전자선 묘화 또는 전자선 용접이 실시되는 "1015"에 전자빔이 조사되고, 소요의 작업이 수행된다. 이 경우, 수소 가스 분압은 전자총 챔버가 가장 크고, 다음으로 제2 단째 칼럼, 제3 단째 칼럼의 순으로 수소 분압이 낮아진다.

[0077] 또한, "1002"는 중공의 커버 튜브 용기, "1003"은 액체 전자총 재료가 해방 된 커버 튜브 용기 선단의 개구의 액체 표면(표면 장력으로 대략 평면 또는 반경이 큰 구면의 일부를 형성하고 있음), "1004"는 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극, "1005a", "1005b"는 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "1006a", "1006b"는 PG(열분해 흑연) 히터, "1009"는 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "1011a", "1011b", "1011c"는 터보 분자 펌프, "1014"는 러핑용 드라이 펌프를 나타낸다.

[0078] 도 9는 중공의 커버 튜브 용기의 내부에 액체의 전자 방출 재료를 충전하는 제1 방법에 대해서 설명하는 도면이다. 중공의 커버 튜브 용기(1102)는 중공의 커버 튜브 용기를 유지하여 횡방향과 상하 방향으로 움직이기 위한 기계 장치(1101)에 의해 매달려 있다. 한편 액체 금속을 넣기 위한, 도가니, 또는 보트(1103) 중에 액체 금속인 란탄액(1107)이 액체 금속 용해용 히터(1111)에 의해, 고온 가열되어 액체화되어 있다. 이 중공의 커버 튜브 용기(1102)는 란탄 액체(1107)에 접촉될 때까지 기계적으로 하강하여 중공의 커버 튜브 용기(1102) 내부에 란탄 액체(1107)가 모세관 현상으로 빨아 올려진다. 커버 튜브 용기(1102) 내부는 진공이고 커버 튜브 용기 전체가 란탄 액체(1107)로 충전된다. 이것을 끌어 올려 커버 튜브 용기(1102) 내부의 란탄 액체 충전이

완료된다. 이 작업 중에 진공 장치(1106) 내가 진공 펌프(1108)로 진공 형성되고, 또한 수소 가스 bombe(1110)로부터 수소 가스가 "1109" 수소 가스 유량 조정용 매스 플로우 컨트롤러(1109)에 의해 진공 챔버(1106) 내부에 수소 가스가 도입된다. 이에 의해, 진공 챔버 내부의 란탄 액체가 수소화된다. 중공의 커버 튜브 용기 내의 란탄 액체도 수소화된다. 이에 의해, 수소화 란탄의 중점이 완료된다.

[0079] 또한, "1104"는 액체 금속을 용해하기 위한 히터용 전원, "1105"는 액체 금속을 용해하기 위한 히터용 전원으로 부터 히터까지의 전송선, "1108"은 진공 펌프, "1109"는 수소 가스 유량 조정용 매스 플로우 컨트롤러, "1110"은 수소 가스 bombe를 나타낸다.

[0080] 도 10은 중공의 커버 튜브 용기의 내부에 액체의 전자 방출 재료를 충전하는 제2 방법에 대해서 설명하는 도면이다. 중공의 커버 튜브 용기(1207)는 중력에 대하여 하방향(1204)을 향하고 있다. 커버 튜브 용기의 이면으로부터 수소화 란탄분을 저장하는 용기(1205)에 수소화 란탄분을 저장해 두고, 비스듬히 기울임으로써, 수소화 란탄분이 중공의 커버 튜브 용기의 이면측으로부터 분체가 충전된다. 충전된 수소화 란탄분(1208)은 진공 챔버(1213) 내에서 히터(1203)의 가열에 의해 고온화되어 액체 수소화 란탄(1212)이 된다. 진공 챔버(1213)는 진공 펌프(1214)로 진공 형성되어 있고, 필요에 따라서 수소 가스 bombe(1215)로부터 수소 가스가 유량 제어용 매스 플로우 컨트롤러(1216)로부터 적시적 또는 연속적으로 수소 가스가 유입된다. 이에 의해, 중공의 커버 튜브 용기 내부에 수소화 란탄이 충전된다.

[0081] 또한, "1201"은 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "1202"는 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "1206"은 중공의 커버 튜브 용기 내에 저장된 수소화 란탄의 분말, "1209"는 중력의 방향, "1210"은 액체 금속을 용해하기 위한 히터용 전원으로 부터 히터까지의 전송선, "1211"은 액체 금속을 용해하기 위한 히터용 전원, "1217"은 중력의 방향을 나타낸다.

[0082] 도 11은 액체의 전자 방출 재료의 내부에 분체로 혼입된, 수소를 다량으로 흡장한 수소 흡장 합금이 수소를 공급하는 모습을 도시한 도면이다. 커버 튜브 용기 내에 수소 흡장이 합금을 액체 금속 재료와 함께 내포한다. 수소화 란탄 유체 중에 혼입된 수소 흡장 합금(1301)은 대량의 수소 분자(1302)를 흡장하고 있다. 진공 챔버 내에서 감압되고, 가열되면 수소 흡장 합금은 수소 분자(1303)를 방출하고, 수소화 란탄 액체 중에 수소 원자가 증가한다. 이와 같이 하여, 수소화 란탄 액체 중의 수소 원자량을 제어할 수 있다. 수소 흡장 합금(1301)은 주성분으로서 팔라듐, 또는 티탄, 또는 지르코늄, 또는 바나듐, 또는 니켈을 함유하는 수소 흡장 합금이다.

[0083] 도 12(a), 도 12(b)는 일체의 커버 튜브의 전자 방출면에 박막의 다수의 개구를 갖는 부재를 설치하고, 다수의 전자 방출을 실시하여, 멀티빔을 형성하는 전자총에 대해서 설명하는 도면이다. 도 12(a)는 전자총의 전체도이다. 도 12(b)는 멀티 전자원의 선단부의 확대도이다.

[0084] 멀티빔용 전자총은 중공의 커버 튜브 용기(1410)의 선단 개방면에 복수의 원, 또는 사각의 다수개의 구멍이 설치된 얇은 고용점 도전성 재료로 형성된 판 형상 부재(1411)를 구비한 것을 사용한다. 수소화 란탄의 액체는 모든 복수의 원 또는 사각 구멍의 면에 노출된다. 노출된 수소화 란탄 액체로부터 진공 중에 전자가 병렬적으로 방출된다. 웨넬트 전극(1404)을 통과하여 양극(1405)에 의해 가속된 복수의 전자빔(1406)이 사출된다.

[0085] 또한, "1401"은 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부, "1402"는 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "1403"은 PG(열분해 흑연) 히터, "1407"은 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "1408"은 액체 전자 방출 재료의 불필요한 증발을 막기 위한 중공의 커버 튜브 용기의 내측 덮개, "1409"는 액체 전자 방출 재료인 수소화 란탄을 나타낸다.

[0086] 도 13(a), 도 13(b)는 필요로 되는 전자 방출 면적이 큰 경우에 다수의 모세관으로서 중공의 커버 튜브 용기를 복수개 묶음으로써 소요의 대면적의 전자 방출면을 형성하는 것의 설명도이다. 도 13(a)는 전자총의 전체도이다. 도 13(b)는 선단부의 확대도이다.

[0087] 다수개(여기에서는 7 개)의 중공의 커버 튜브 용기를 묶은(다수개 묶음으로 함) 대면적의 커버 튜브 용기(1509)의 각각의 개별의 중공의 커버 튜브 용기에 충전된 수소화 란탄 전자 방출 액체 재료(1508)을 구비한다. 수소화 란탄 액체의 노출된 면으로부터 각각 전자빔(1506)이 방출된다. 이와 같이 대면적의 커버 튜브 용기를 사용하지 않고, 미세한 커버 튜브 용기를 복수개 묶는 것은 모세관 현상으로 모세관 내에 유지할 수 있는 액체의 양이 일정량에 한정되기 때문이다. 즉 액체의 모세관 현상의 액면의 높이는 모세관의 내경의 원주 거리에 반비례하므로, 작은 모세관쪽이 높은 액면을 형성할 수 있다. 이 방법에서도 멀티빔을 형성할 수 있다.

[0088] 또한, "1501"은 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부, "1502"는 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "1503"은 PG(열분해 흑연) 히터, "1504"는 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부, "1505"은 양극, "1507"은 파

지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "1510"은 액체 전자 방출 재료의 불필요한 증발을 저지하기 위한 중공의 커버 튜브 용기의 내측 덮개를 나타낸다.

- [0089] 도 14는 액체 전자총의 전자 방출 재료의 소모를 보전하기 위해 고체의 전자 방출 재료를 정기적으로 중공의 커버 튜브 용기에 낙하시키는 방법에 대하여 나타내는 도면이다.
- [0090] 수소화 란탄 액체 전자총을 장시간 사용하면 액체 수소화 란탄(1613)이 증발하여 액면이 낮아진다. 그래서, 새로운 고체 수소화 란탄(1601)을 보전할 필요가 있다. 복수의 고체 수소화 란탄(1601)이 정기적 고체 공급 기구(1603)의 정기적 인 벨트 컨베이어의 회전에 의해, 한 알씩 시스의 상면으로 낙하한다. "1605a", "1605b", "1605c"가 낙하하는 고체 수소화 란탄을 나타내고 있다. 낙하한 고체 수소화 란탄은 PG(열분해 흑연) 히터(1608)로 용점 이상으로 가열되어 있는 액체 수소화 란탄(1613)과 접촉함으로써 용해된다. 이와 같이 하여 액체 수소화 란탄의 소모량을 보전할 수 있다.
- [0091] 도 14는 커버 튜브 용기로 고체 수소화 란탄을 공급함으로써 보전하는 것이다. 이 예에서는 중공의 커버 튜브 용기의 전자선 방출측의 면과 대향하는 측으로부터 분체, 고체, 또는 액체의 형태로 수소화된 액체 금속의 재료를 보전한다. 또한, 커버 튜브 용기의 이면으로부터 전기적으로 접촉되지 않는 파이프를 통하여, 액체 수소화 란탄을 보전해도 된다. 도 14에서 중력의 방향(1602)은 고체의 낙하 방향을 향하고 있다. 또한, 고체 수소화 란탄은 분체이어도 된다.
- [0092] 또한, "1604"는 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판, "1606"은 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부, "1607"은 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구, "1609"는 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부, "1610"은 양극, "1611"은 중력 방향으로 방출되는 전자빔, "1612"는 중공의 커버 튜브 용기를 나타낸다.
- [0093] 도 15(a), 도 15(b)는 중력의 하향 방향(중력 벡터의 방향)의 전자총을 비스듬히 약 45도 정도 기울였을 때의 액체 전자 방출 재료의 액체의 노출면은 대략 평면(1702)으로 되어 있다. 이 면은 45도 기울어져 있어도 수직 방향일 때와 거의 변화되어 있지 않다. 즉 커버 튜브 측면의 개구에 표면 장력으로 부착된 면에서 커버 튜브의 중심축과 수직인 면을 유지하고 있다.
- [0094] 한편, 중공의 커버 튜브를 중력에 대하여 기울였을 때에는 액체 금속의 표면은, 상면은 중력의 방향을 향하고, 액면은 중력과 수직이 된다.
- [0095] 액체 금속의 하면은 그 위치에서의 중력과 전계와 표면 장력의 균형의 결과, 이 경우는 표면 장력이 지배적이므로, 중공의 커버 튜브의 선단 단면을 따른 평면 즉 커버 튜브축과 수직인 평면이 된다. 이것은 커버 튜브를 중력에 대하여 플러스 마이너스 60도 기울였을 때까지는 올바르게 성립된다.
- [0096] 본 발명자들은 전자빔의 사출 방향이 중력의 방향(1701)으로부터 플러스 마이너스 60도 이내의 범위(원추의 내부)이면 액체 전자총의 기능은 거의 정상으로 만족되는 것을 확인했다. 따라서 액체 전자 방출 재료를 이용한 전자총은 하방향으로 플러스 마이너스 60도에서 사용할 수 있다. 단, 중력의 방향과 수직인 방향으로 향했을 때에는 모세관 내를 액체가 횡방향으로 움직이므로, 커버 튜브 용기의 선단부에 액체 수소화 란탄의 노출면이 형성되지 않는다. 이를 방지하기 위해서는 액체 수소화 란탄에 수평 방향의 압력을 가할 필요가 있다고 생각된다.
- [0097] 「변형예 등에 대하여」
- [0098] 본 실시 형태에서는 수소화되는 금속 재료를 란탄과 세륨 등 수 종류의 원소로 한정했지만, 그 밖의 원소이어도 수소화하여 전자 발생 효율이 현저하게 올라가는 액체 전자 방출 재료로서 사용할 수 있는 것이면, 사용이 가능한 것은 물론이다.
- [0099] 또한, 수소화에 의해 소재 물질의 일 함수가 저감되고, 전자빔 방출량이 증가하는 것은 상대의 원소에 따라 정도의 차는 있지만, 거의 공통되는 것으로 생각된다. 지금까지의 설명은 주로 수소화 란탄에 대해서 설명했지만, 수소화된 액체 금속의 액체 금속이 란타노이드계열의 금속으로, 란탄, 또는 세륨, 또는 가돌리늄, 또는 터븀, 또는 프라세오디뮴이어도 된다. 이들 금속의 수소화는 진공 챔버 내부에서는 수소 가스를 흘림으로써 실현할 수 있다.
- [0100] 전자총의 대기 증으로의 취출에 대해 수소화 란탄 등의, 액체 금속 수소화물을 전자총으로서 가동시킨 후 진공 챔버로부터 대기 중에 취출하는 경우에는 대기 중의 산소에 의해, 액체 금속 재료가 산화될 가능성이 있다. 이를 진공 중에 넣고, 다시 전자총으로서 가동시키는 경우에는, 전자총 챔버에 수소 가스를 흘리는 것이 바람직하다. 그러나, 장치의 디자인을 복잡화하므로 수소화 란탄의 경우에는 일정한 조건에서 커버 튜브 용기의 전자

방출면에 고체의 수소화 란탄(LaHx : x = 2.8이고 황색 고체) 고체로 표면을 덮음으로써 자연 산화를 방지할 수 있다.

- [0101] <지르코늄의 테일러 콘 전자총에 대하여>
- [0102] 액체 전자총에 대하여, 종래에도 텅스텐의 첨예한 선단에 지르코늄의 액체를 테일러콘이라고 부르는 선단의 뾰족한 액체 표면을 사용하여, 전자 방출면으로서 사용하는 것이 있다. 이 전자총에서는 일정 시간 경과하면 지르코늄이 증발하여 소멸되고, 다시 지르코늄을 액화시킬 필요가 있었다. 즉, 본 실시예에서는 안정적인 액체의 중력 방향에 수직인 평면을, 시간 경과적으로 안정적인 고휘도 전자총으로서 사용하는 것에 비하여, 테일러 콘을 사용하는 지르코늄 액체의 전자총은 형태도 목적과 동작 원리가 전혀 다르다.
- [0103] <압력을 가한 유체 분무기 기술에 대해서>
- [0104] 중공의 커버 튜브 용기의 후방으로부터 압력을 가하고 선단에 전계를 형성하여, 액체나 기체를 방출하고, 분무 노즐을 이용해서 분사하여 막이나 고체를 형성하거나, 대상이 되는 작업 물체를 새기거나 연마하는 기술이 있다. 이 기술과 본 실시 형태에는 비슷한 점이 있다. 분무 노즐이 본 실시 형태의 중공의 커버 튜브 용기와 형상이 유사하다. 그러나, 본 실시 형태는 중공의 커버 튜브 용기에 압력을 가한 유체를 상시 흘리지 않는다. 본 형태는 전혀 유동하지 않는 액체 전자 방출 재료인 수소화 란탄을 정적으로 유지하여, 전자 방출면으로부터 고휘도 전자를 방출하여 장기 안정성을 실현하는 것으로, 사용 분야와 구성이 전혀 다르다. 그 때문에, 분무 노즐로부터 당업자가 용이하게 구성할 수 있던 것이라는 지적을 받을 이유는 없다.
- [0105] 「이용 분야에 대해」
- [0106] 본 실시 형태의 전자총은 종래의 전자총과 비교하여 훨씬 우수하여 고휘도 또한 장수명이고, 안정적으로 전자 방출을 실시하므로, 통상 전자빔 묘화 장치에 사용할 수 있다.
- [0107] 또한, 본 실시 형태에서는 액체 전자총을 사용하므로, 선단의 전자 방사면의 증발 재료가 증발해도, 전자총 평면의 높이도 형상도 전혀 변화되지 않으므로, 초고안정적이고 고정밀도의 전자총을 형성할 수 있다. 이점은 종래 전자총의 결점을 완전히 극복한다. 그 때문에 종래 전자총의 수명에 관하여 혁신적인 장수명화를 달성하고 있다.
- [0108] 또한, 전자총 교환을 하지 않고 수명 1년 이상을 달성할 수 있으므로, 멀티 전자빔 묘화 장치에 적합한 전자총을 실현할 수 있다. 또한, X선원 전자총에도 사용할 수 있다. 또한, 커버 튜브 용기 선단 개구의 직경을 10 μm 이하로 제작하면, 고휘도 장수명의 주사형 전자 현미경 또는, 투과형 전자 현미경의 전자총으로서 사용할 수 있다. 또한, 수소 가스를 흘리는 경우, 저진공도에서도 사용할 수 있으므로, 전자빔을 이용한 3차원 전자빔 용접 조형기에서도 전자총으로서 사용할 수 있다.
- [0109] 또한, 전자총 커버 튜브 용기 선단부는 끝이 뾰족하게 되어, 개구부를 미소한 개구로 하면 초미세 패턴의 묘화 장치나 관찰용 전자 현미경에 사용하는 것도 바람직하다.
- [0110] 이상에 의해, 전자총으로서 고휘도 또한 장수명을 달성하므로, 본 실시 형태에 의한 전자총은 전자빔 묘화 장치, 전자선 현미경, 전자빔 검사 장치, 엑스선 발생기 등을 포함하여, 전자총을 기초로 한 전자빔 응용 장치 산업 분야 전반에서 많은 공헌을 이룬다.
- [0111] (산업상의 이용 가능성)
- [0112] 전자빔 묘화 장치에서는 1개의 전자총으로부터 종래의 LaB6 또는 CeB6 전자총의 10 배 이상의 고휘도화가 필요로 되고 있다. 50 kV로 10⁷ A/cm² steradian의 휘도가 필요하다. 이 때문에, 종래의 LaB6 또는 CeB6 전자총의 통상 사용 온도 1500 °C였던 것을, 1600 °C까지 고온화하여 사용할 필요가 있다. 이렇게 하면 전자총의 수명은 짧아지고, 1 개월에서 70 μm 정도 승화되어 소모된다. 이 때문에, 1개월에 1번 정도의 빈도로 진공 챔버를 대기 리크되어 전자총의 교환을 필요로 하고 있었다. 그러나, 본 실시 형태의 전자총에서는 무보수로 1년 이상 가동시키고, 종래의 10 배 이상의 전자빔 강도를 달성할 수 있다. 본 실시 형태의 전자총에서는 1년에 1일의 보수 시간으로 할 수 있으므로, 보수 비용을 저렴하게 끝마칠 수 있다.
- [0113] 이것을 멀티 칼럼화하고 멀티빔화 함으로써, 10 mm 내지 5 mm의 반도체 제조의 미세화가 가능해진다. 또한 집적도가 올라감으로써 미세 패턴을 갖는 인공 지능 및 뉴런 모방에 기초한 두뇌형 컴퓨터 산업과 자동 운전차, 각종 로봇, 위험 개소 작업용 로봇, 개호용 로봇, 대화형 공존 로봇, 대규모 건축물과 대규모 공사를 신속하게 작업하는 로봇, 인간의 의식을 업로드하고 그 시점에서의 인간의 기억 의식, 사고 과정을 모사하고, 그 이후는

- 207: 사용 개시시의 LaB6 단결정
- 208: 사용 개시시에서의 전자 방출 분포
- 209: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부
- 210: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부
- 211: 가열 전류가 흐르는 금속제의 파지 기구
- 212: PG(열분해 흑연) 히터
- 213: 양극
- 214: "211"을 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판
- 215: 히터로 끼워진 LaB6 결정 부분
- 216: PG 히터 상에 내려와 쌓여 히터 저항값을 감소시켜 온도 저하의 원인이 되는 LaB6 결정의 증발물
- 217: 고온에 의해 승화하여 감모한 LaB6 단결정의 형상
- 218: 사용 개시시의 소모가 없는 LaB6 단결정의 형상
- 219: 사용 개시시의 전자 방출 분포가 LaB6 단결정의 감모에 의해 변화된 후의 전자 방출 분포
- 220: 사용 개시시의 전자 방출 분포
- 301: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부
- 302: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부
- 303: 가열 전류가 흐르는 금속제의 파지 기구
- 304: PG(열분해 흑연) 히터
- 305: 중공의 커버 튜브 용기
- 306: 양극
- 307: "303"을 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판
- 308: 커버 튜브 용기 이면으로부터 액체 전자 방출 재료가 증발하는 방향
- 309: 액체 전자 방출 재료
- 310: 중력의 방향으로 사출하는 전자빔
- 311: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부
- 312: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부
- 313: 가열 전류가 흐르는 금속제의 파지 기구
- 314: PG(열분해 흑연) 히터
- 315: 중공의 커버 튜브 용기
- 316: 양극
- 317: "313"을 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판
- 318: 커버 튜브 용기 이면으로부터 액체 전자 방출 재료가 증발하는 방향
- 319: 시간 경과에 의해 증발하여 총액량이 감소된 액체 전자 방출 재료
- 320: 중력의 방향으로 사출하는 전자빔
- 401: 유리 기판
- 402: 물
- 403: 유리관
- 404: 물의 용기
- 405: 물

- 406: 모세관 현상으로 올라간 수면의 상면
- 407: 물 용기의 유리관 이외의 수면 408: 유리관
- 409: 모세관 현상으로 물 용기로부터 분리했을 때의 유리관 내부의 물
 최하면은 표면 장력에 의해 대략 평면으로 되어 있다.
- 410: 유리 기관 411: 예를 들어 수은
- 412: 유리관 이외의 수은 액면 413: 수은의 용기
- 414: 수은 415: 유리관
- 416: 유리관 내부의 낮아진 수은의 상면
- 417: 수은 용기로부터 분리했을 때의 비어 있는 유리관. 접촉 각도가 90 도보다 큰 유리관과 수은은 습윤성이 나빠 모세관 현상으로는 관내에는 수은이 남는 일은 없다
- 601: 액체 전자총 전체의 도면
- 602: 중력의 방향으로 방출되는 전자빔
- 603: 전자 방출 재료인 란탄 원자
- 604: 액체 전자총 전체의 도면
- 605: 중력의 방향으로 방출하는 전자빔
- 606: 란탄 원자 액체 중에 침입한 수소 원자
- 703: 수소화 란탄의 방출 전류 특성
- 704: LaB6 단결정의 방출 전류 특성
- 705: 텅스텐의 방출 전류 특성
- 901: 액체 전자총 전체의 도면
- 902: 란탄액의 내부의 카본 오염을 청정화하기 위한 고온 광촉매의 분말로, TiO₂ 또는 WO₃
- 903: 액체 전자 방출 재료의 수소화 란탄
- 904: 전자총 방출면의 이면으로부터 수소화 란탄이 증발하는 것을 막기 위한 커버 튜브 용기의 내측 덮개
- 905: 중공의 커버 튜브 용기
- 906: 액체 전자총 전체의 도면
- 907: 란탄액의 내부의 카본 오염을 청정화하기 위한 고온 광촉매의 막으로 TiO₂ 또는 WO₃
- 908: 액체 전자 방출 재료의 수소화 란탄
- 909: 전자총 방출면의 이면으로부터 수소화 란탄이 증발하는 것을 막기 위한 커버 튜브 용기의 내측 덮개
- 910: 중공의 커버 튜브 용기
- 1001: 액체 전자 방출 재료의 수소화 란탄
- 1002: 중공의 커버 튜브 용기
- 1003: 액체 전자총 재료가 해방된 커버 튜브 용기 선단의 개구의 액체 표면이고, 표면 장력으로 대략 평면 또는 반경이 큰 구면의 일부를 형성하고 있다.
- 1004: 전자 방출량 제어용 웨넬트 진극
- 1005a, 1005b: 가열 전류가 흐르는 금속제 파지 기구
- 1006a, 1006b: PG(열분해 흑연) 히터

- 1007: 전자총 챔버에 유입시키는 수소 가스
- 1008: 중력의 방향으로 방출하는 전자빔
- 1009: 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판
- 1010: 전자총 챔버와 터보 분자 펌프 사이에 넣은 밸브
- 1011a, 1011b, 1011c: 터보 분자 펌프
- 1012: 양극 검 전자총 챔버와 하류의 제2 단계 칼럼의 진공 격벽
- 1013: 제2 단계 칼럼과 제3 단계 칼럼 사이의 진공 격벽
- 1014: 러핑용 드라이 펌프
- 1015: 전자빔이 조사되는 작업용 기관이고, 전자선 관찰 또는 전자선 묘화 또는 전자선 용접이 실시된다
- 1016: 전자빔 조사 작업이 실시되는 제3 단계 칼럼
- 1017: 전자빔 편향용 전극
- 1018: 전자빔 수속용 자계 렌즈
- 1019: 제2 단계 칼럼
- 1020: 수소 가스 봄베
- 1021: 수소 가스 유량 조정용 매스 플로우 컨트롤러
- 1101: 중공의 커버 튜브 용기를 유지하여 횡방향과 상하 방향으로 움직이기 위한 기계 장치
- 1102: 중공의 커버 튜브 용기
- 1103: 액체 금속을 넣기 위한, 도가니, 또는 보트
- 1104: 액체 금속을 용해하기 위한 히터용 전원
- 1105: 액체 금속을 용해하기 위한 히터용 전원으로부터 히터까지의 전송선
- 1106: 액체 금속 용해용의 진공 챔버
- 1107: 액체 금속인 란탄액
- 1108: 진공 펌프
- 1109: 수소 가스 유량 조정용 매스 플로우 컨트롤러
- 1110: 수소 가스 봄베
- 1111: 액체 금속 용해용 히터
- 1201: 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판
- 1202: 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구
- 1203: PG(열분해 흑연) 히터
- 1204: 중력의 방향
- 1205: 수소화 란탄분을 저장하는 용기
- 1206: 중공의 커버 튜브 용기 내에 저장된 수소화 란탄분
- 1207: 중공의 커버 튜브 용기
- 1208: 중공의 커버 튜브 용기 내에 저장된 수소화 란탄분
- 1209: 중력의 방향
- 1210: 액체 금속을 용해하기 위한 히터용 전원으로부터 히터까지의 전송선

- 1211: 액체 금속을 용해하기 위한 히터용 전원
- 1212: 용해된 액체 금속 재료인 수소화 란탄
- 1213: 액체 금속 용해용 진공 챔버
- 1214: 진공 펌프
- 1215: 수소 가스 봄베
- 1216: 수소 가스 유량 조정용 매스 플로우 컨트롤러
- 1217: 중력의 방향
- 1301: 액체 금속 재료인 수소화 란탄에, 추가로 수소를 공급하기 위한 수소 흡장 합금 원자
- 1302: "1301"에 흡장된 수소 분자
- 1303: 수소 흡장 합금으로부터 방출된 수소 분자
- 1401: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부
- 1402: 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구
- 1403: PG(열분해 흑연) 히터
- 1404: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부
- 1405: 양극
- 1406: 병렬로 방출되는 복수의 전자빔
- 1407: 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판
- 1408: 액체 전자 방출 재료의 불필요한 증발을 저지하기 위한 증공의 커버 튜브 용기의 내측 덮개
- 1409: 액체 전자 방출 재료인 수소화 란탄
- 1410: 증공의 커버 튜브 용기
- 1411: 선단 개방면에 복수의 원 또는 사각의 구멍이 설치된 얇은 고용점 도전성 재료로 형성된 부재를 설치한 것
- 1501: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부
- 1502: 가열 전류가 흐르는 금속체의 파지 기구
- 1503: PG(열분해 흑연) 히터
- 1504: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부
- 1505: 양극
- 1506: 복수의 증공의 커버 튜브 용기의 액체 전자 방출 재료로부터 방출하는 복수의 전자빔
- 1507: 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판
- 1508: 액체 전자 방출 재료인 수소화 란탄
- 1509: 복수의 증공의 커버 튜브 용기를 묶음으로 한 것
- 1510: 액체 전자 방출 재료의 불필요한 증발을 저지하기 위한 증공의 커버 튜브 용기의 내측 덮개
- 1601: 액체 금속 전자총에 정기적으로 보충하기 위한 고체 수소화 란탄
- 1602: 중력의 방향
- 1603: 액체 금속 전자총에 정기적으로 보충하기 위한 기구
- 1604: 파지 기구를 고정하는 전기 절연체의 세라믹 원판

1605a, 1605b, 1605c: 중공의 커버 튜브 용기의 이면 개구부의 바로 위에서 낙하하는 고체 수소화 란탄

1606: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 상부

1607: 가열 전류가 흐르는 금속제 파지 기구

1608: PG(열분해 흑연) 히터

1609: 전자 방출량 제어용 웨넬트 전극 하부

1610: 양극

1611: 중력 방향으로 방출되는 전자빔

1612: 중공의 커버 튜브 용기

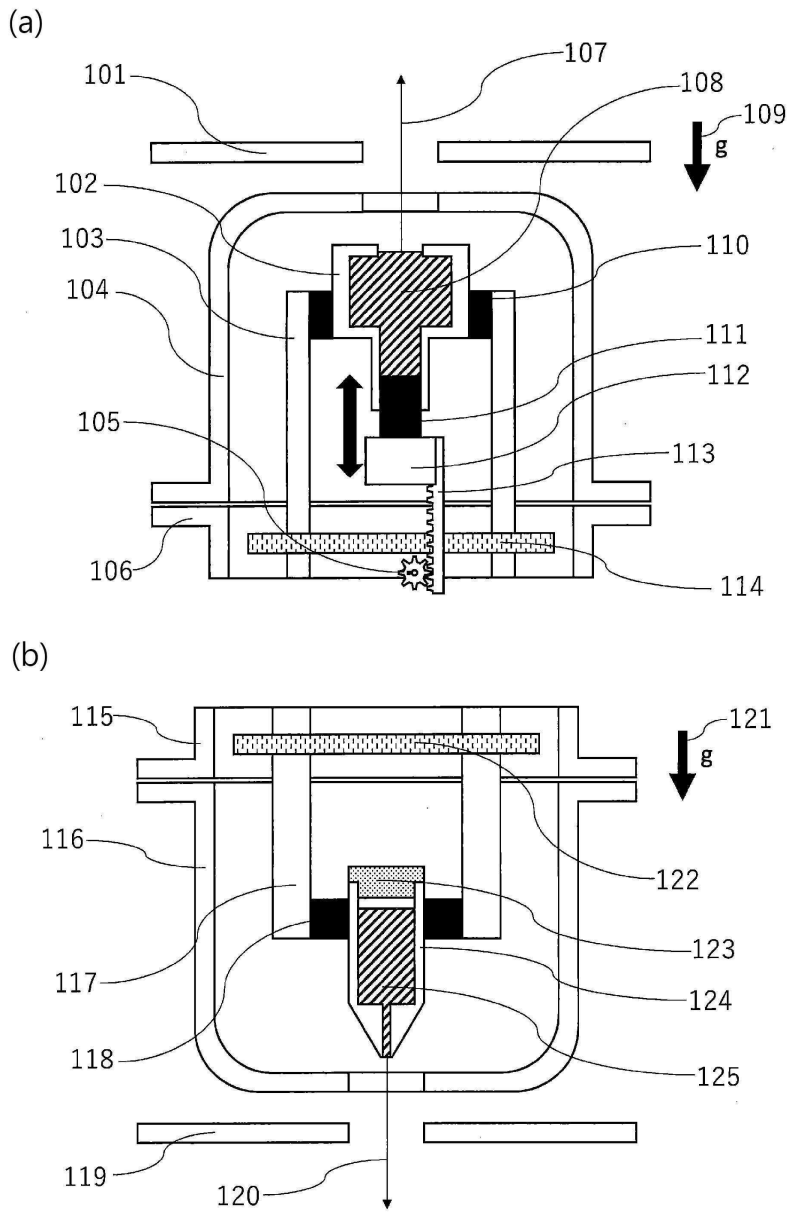
1613: 액체 전자 방출 재료인 수소화 란탄

1701: 중력의 방향

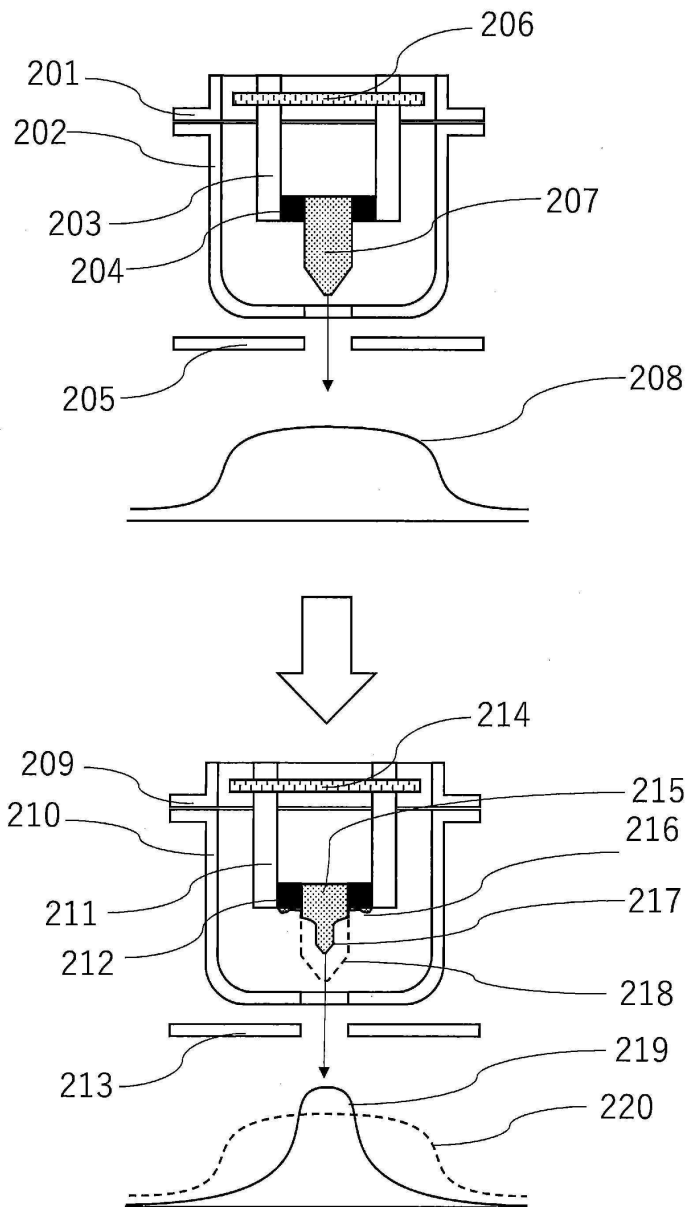
1702: 중력의 하향 방향의 전자총을 비스듬히 45 도 정도 기울였을 때의 액체 전자 방출 재료의 액체의 대략 평면. 수직시와 거의 변화되지 않는다.

도면

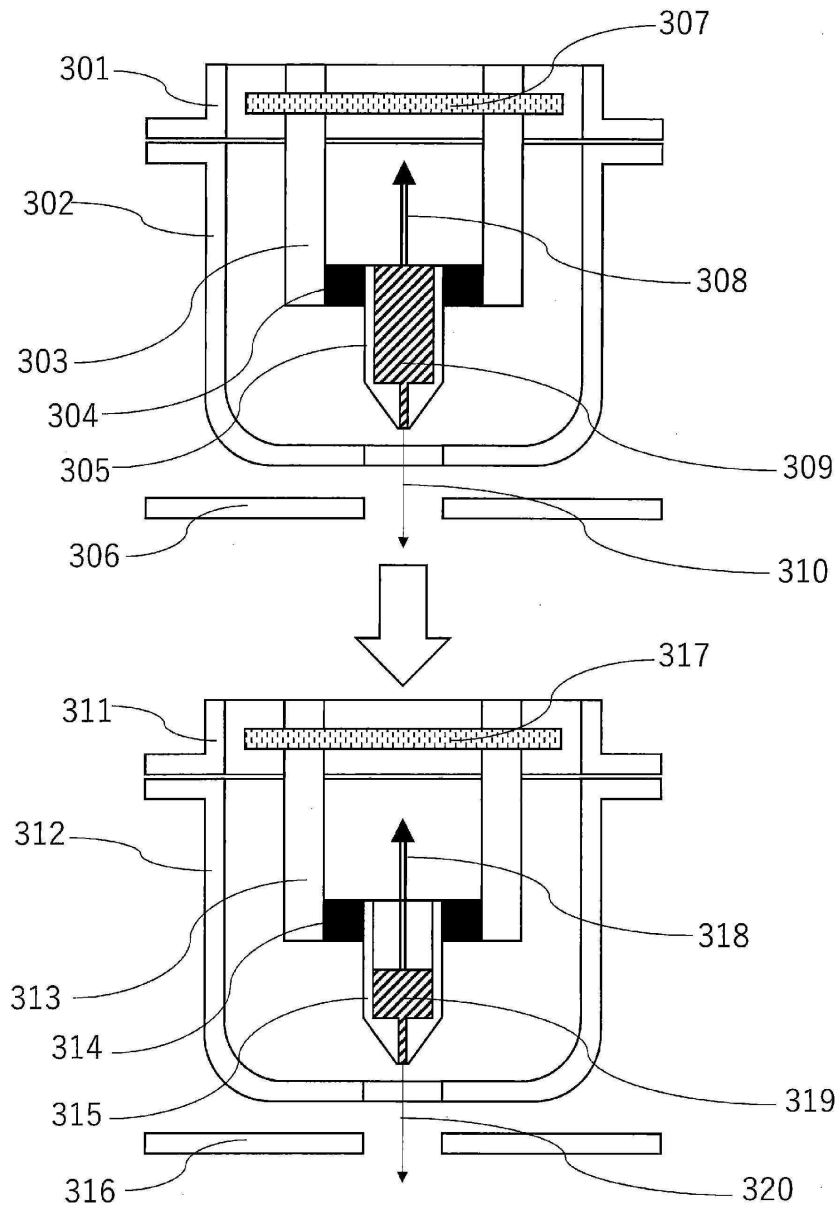
도면1



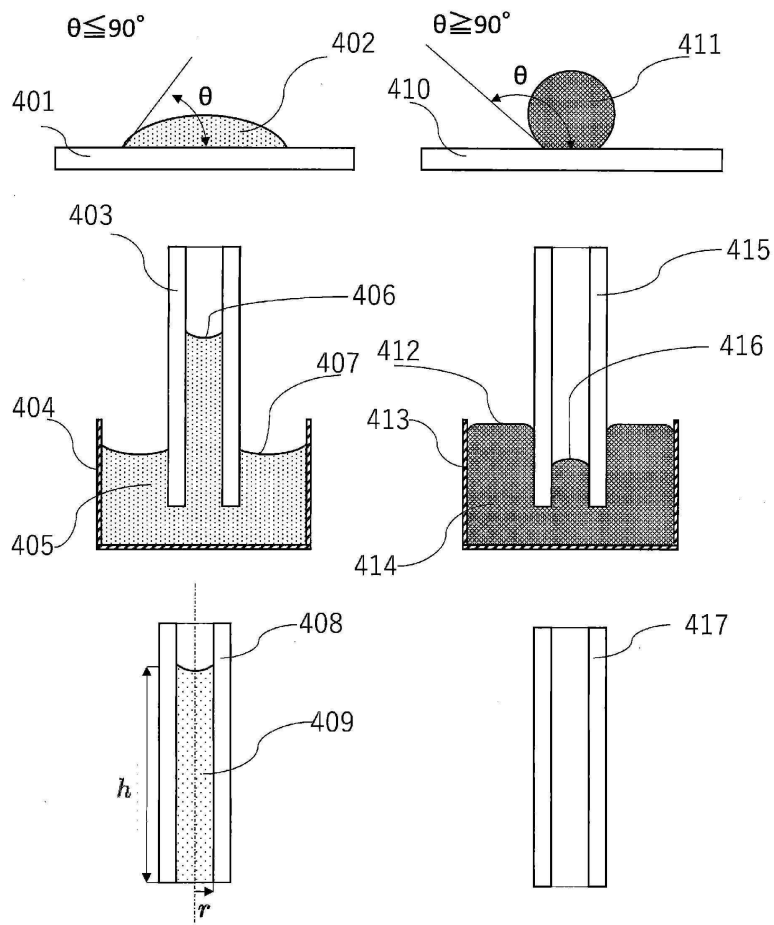
도면2



도면3

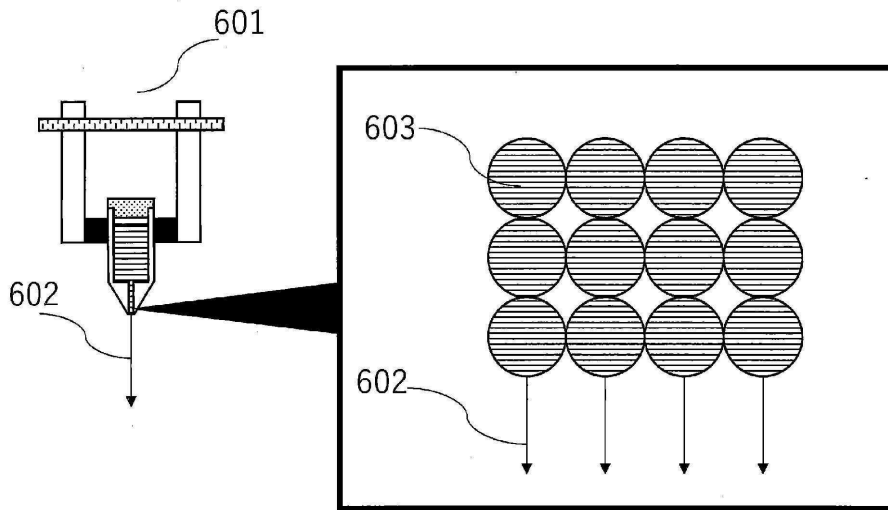


도면4

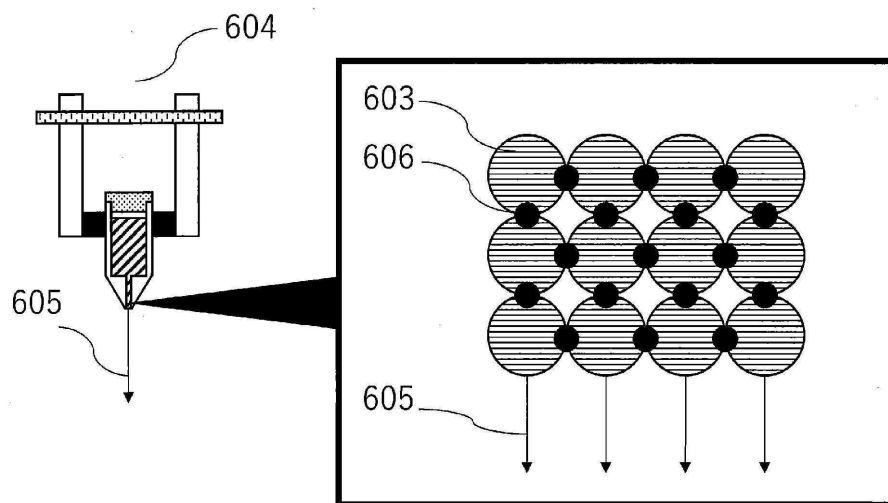


도면5

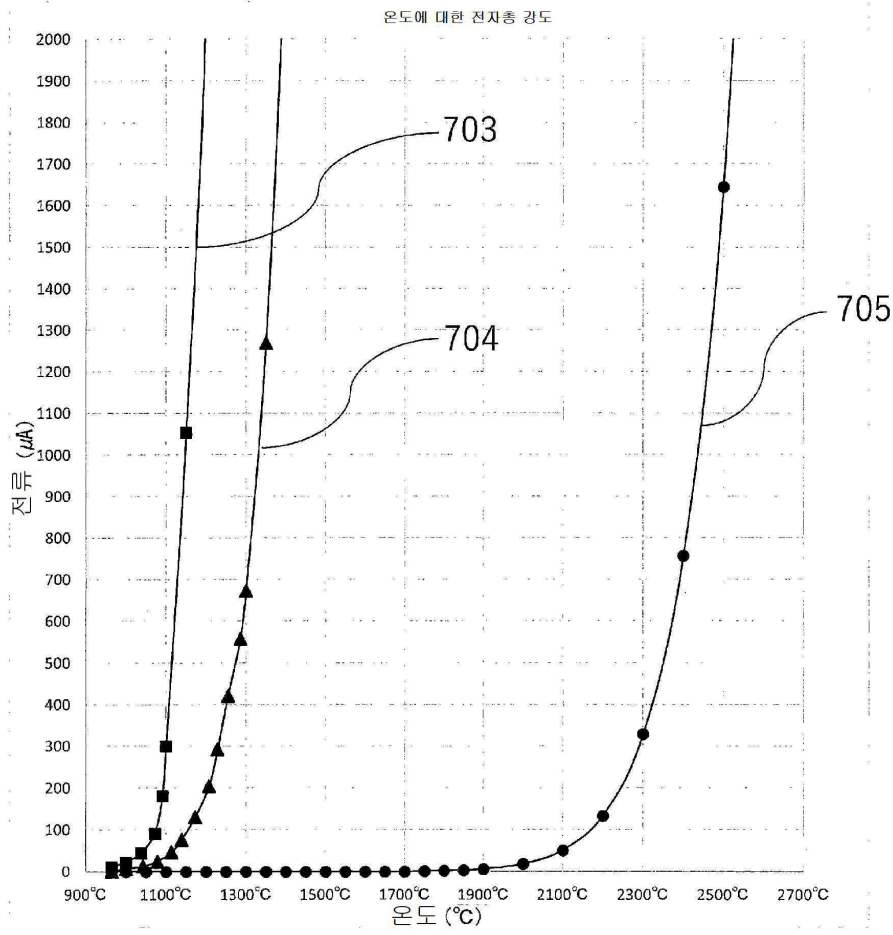
(a)



(b)

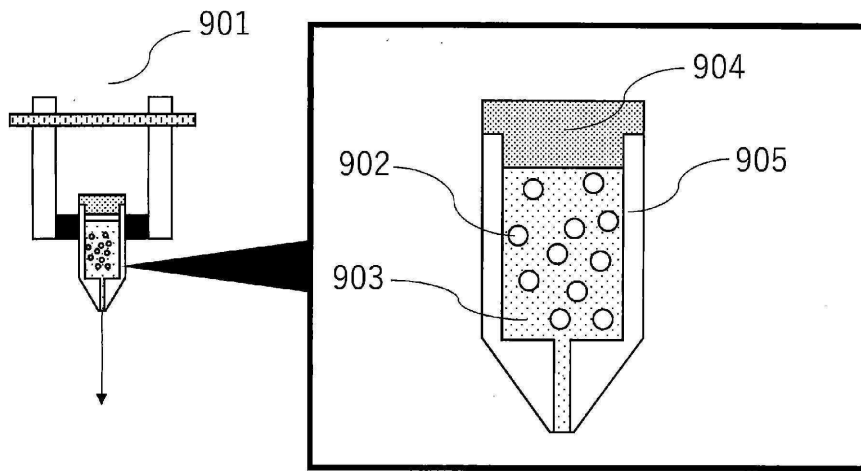


도면6

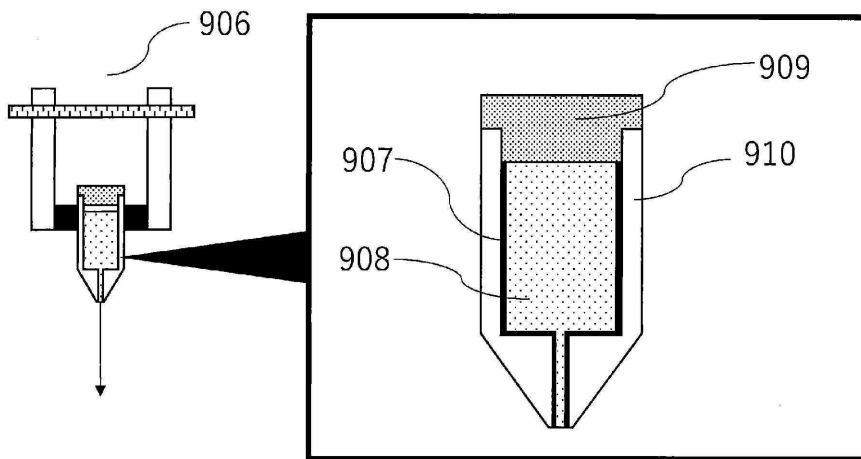


도면7

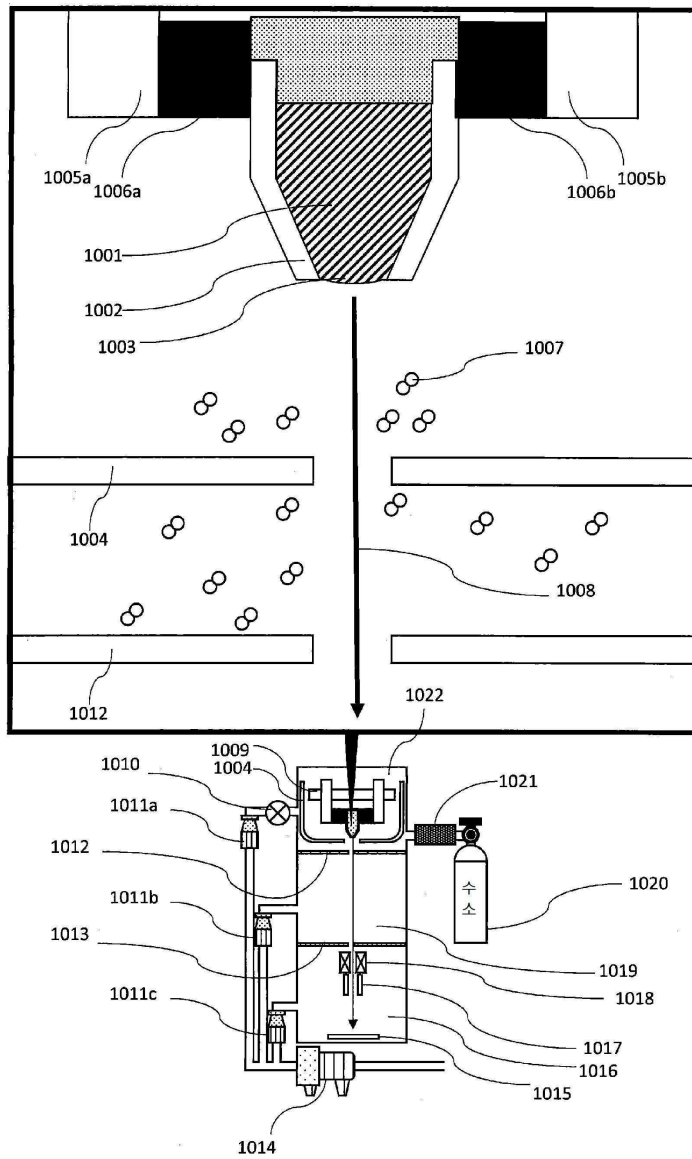
(a)



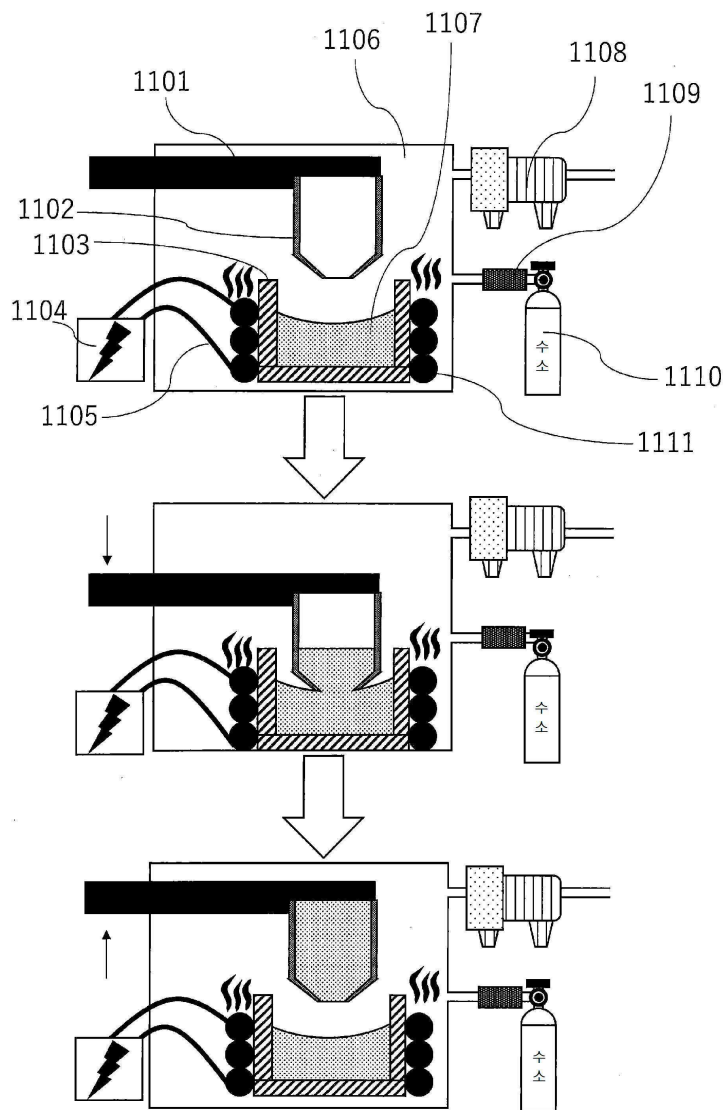
(b)



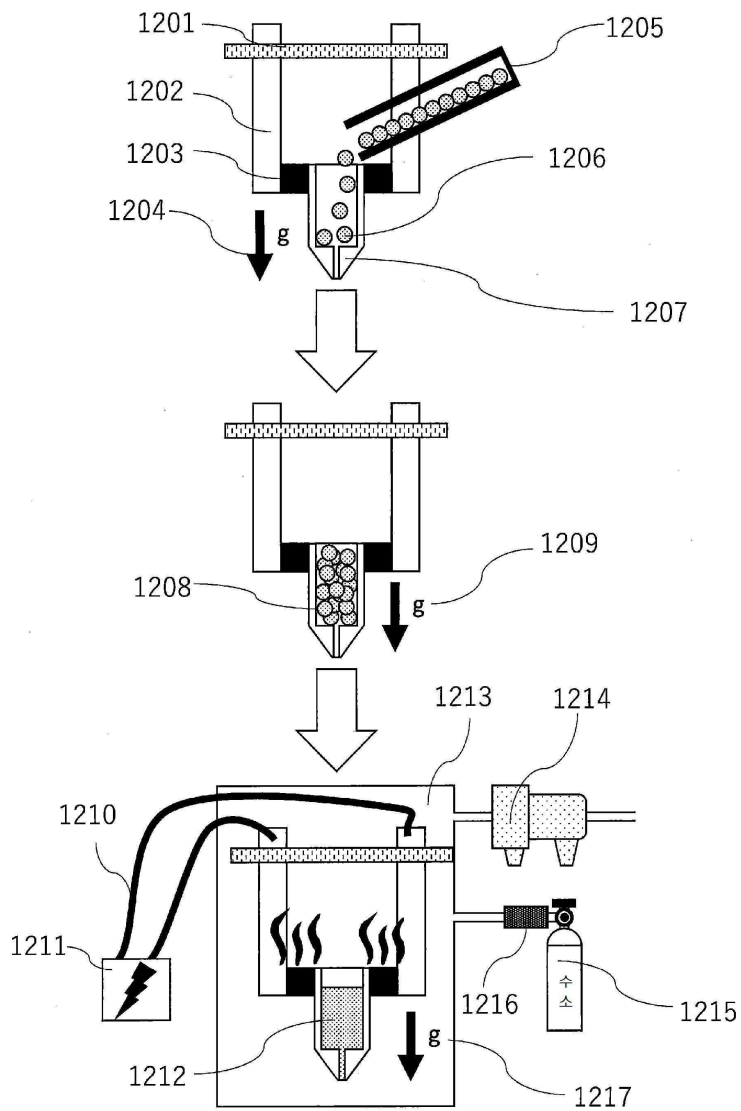
도면8



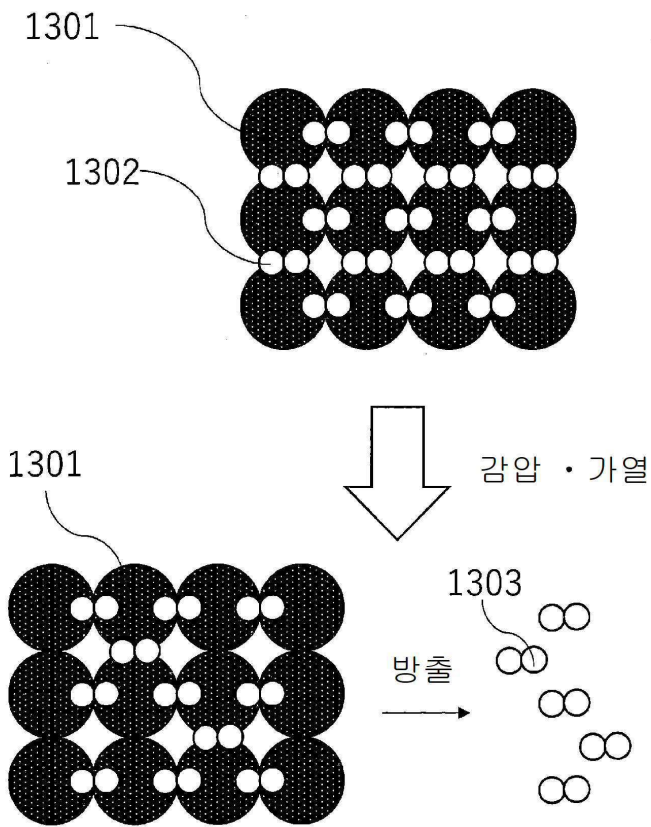
도면9



도면10

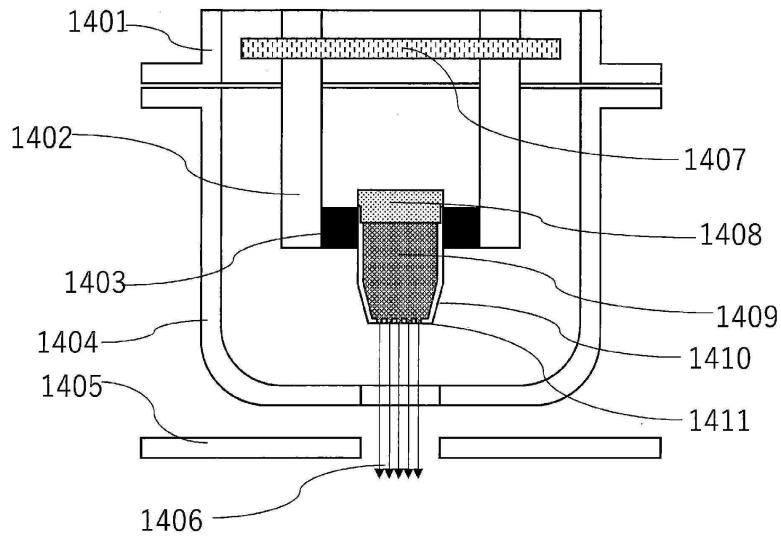


도면11

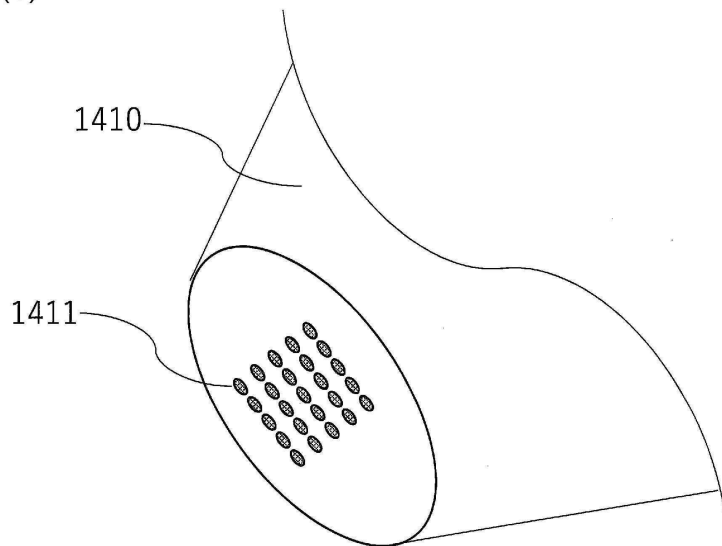


도면12

(a)

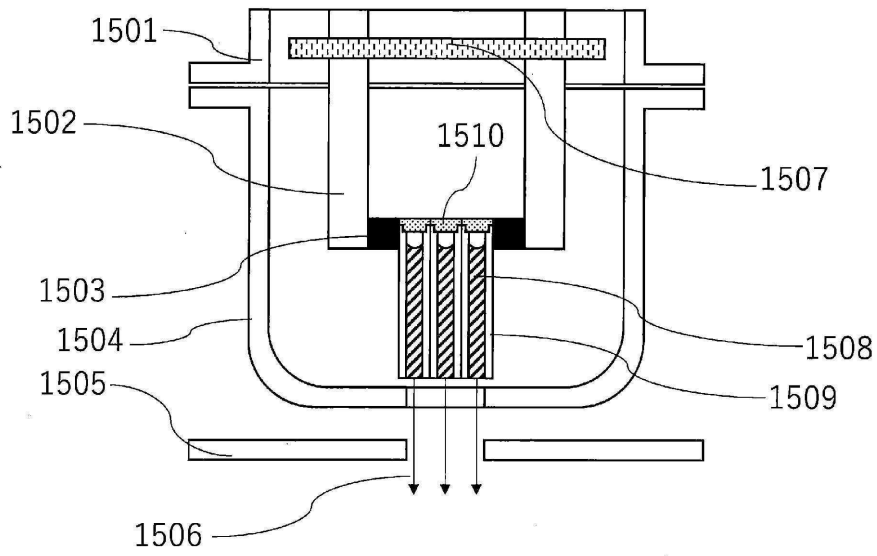


(b)

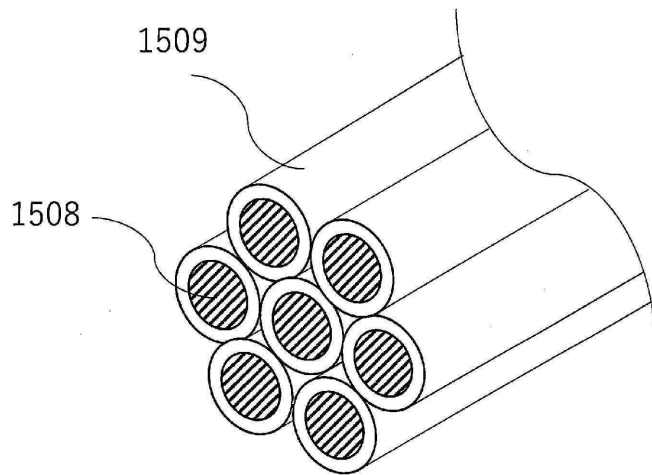


도면13

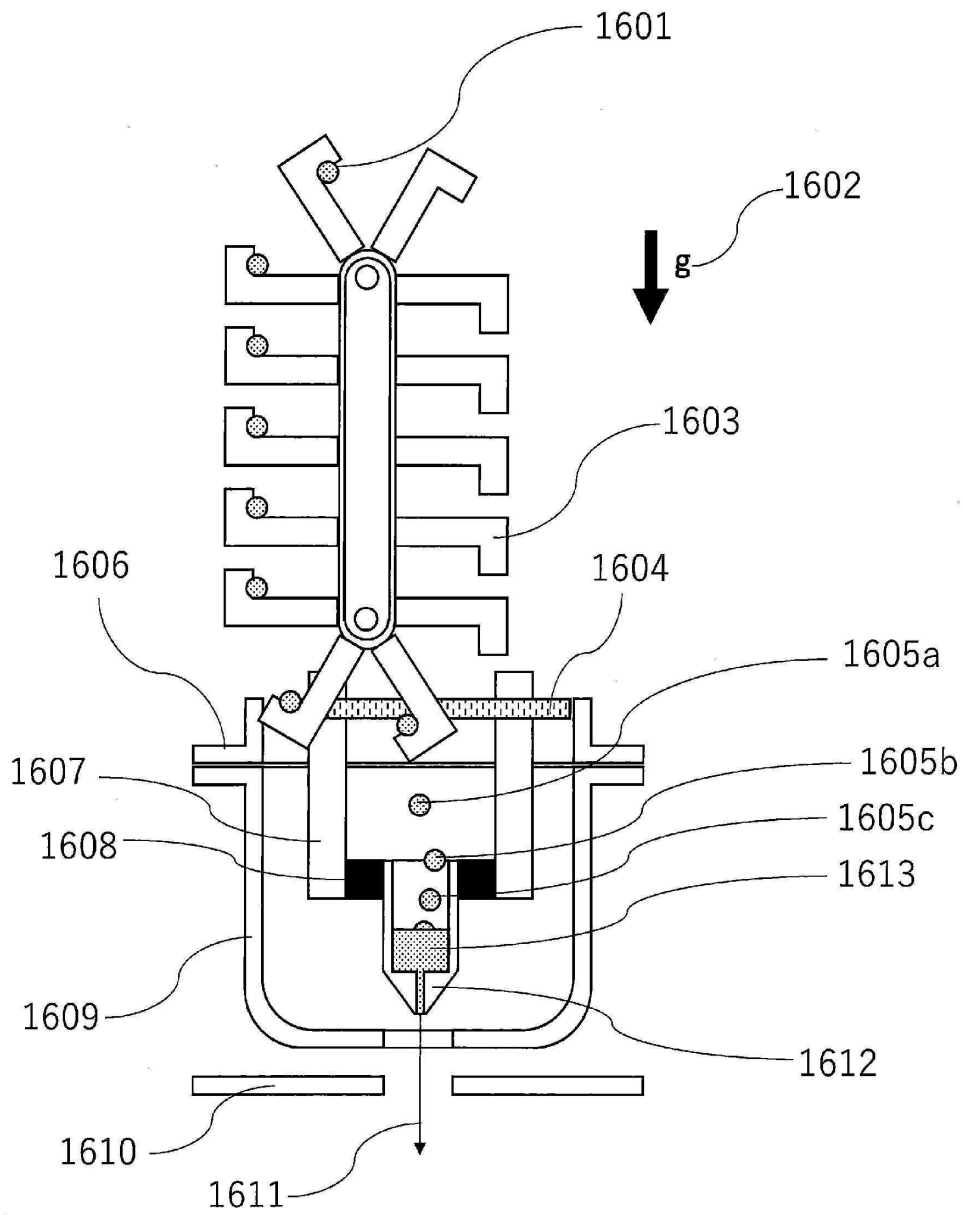
(a)



(b)



도면14



도면15

