



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0047940  
(43) 공개일자 2012년05월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
F27B 3/20 (2006.01) F27D 99/00 (2010.01)  
C22B 9/16 (2006.01) H01J 37/305 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7003615  
(22) 출원일자(국제) 2010년08월10일  
심사청구일자 없음  
(85) 번역문제출일자 2012년02월10일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/044944  
(87) 국제공개번호 WO 2011/025648  
국제공개일자 2011년03월03일  
(30) 우선권주장  
12/546,785 2009년08월25일 미국(US)

(71) 출원인  
에이티아이 프로퍼티즈, 인코퍼레이티드  
미국, 오레곤 97321-0580, 알바니, 1600 엔.이.  
올드 살렘 로드  
(72) 발명자  
포베스 존스, 로빈, 엠.  
미국, 노스 캐롤리나 28277, 샬럿, 굴레인 코트  
11700  
(74) 대리인  
강명구

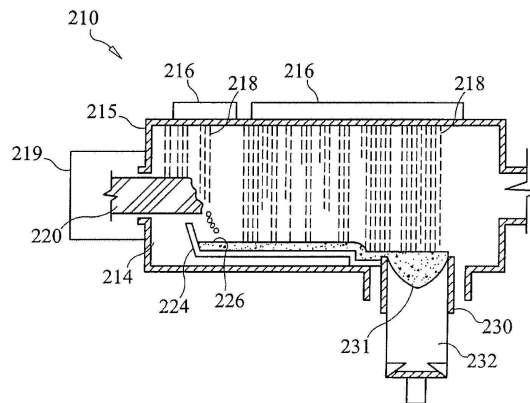
전체 청구항 수 : 총 58 항

(54) 발명의 명칭 용해로를 위한 이온 플라스마 전자 방출기

(57) 요약

전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치는, 제 1 형태의 단면도를 갖는 집속된 전자 필드를 생성하도록 구성된 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 포함한다. 상기 장치는, 집속된 전자 필드가 전기 전도성 금속 물질의 적어도 일부분으로 충돌하여, 전기 전도성 금속 물질의 고형화된 부분, 전기 전도성 금속 물질 내 고형 응축물, 및/또는 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상을 용해 또는 가열하기 위해 상기 집속된 전자 필드를 지향하도록 구성된 조향 시스템을 더 포함한다.

대표도 - 도3



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치에 있어서, 상기 장치는 진공 챔버와,

상기 진공 챔버 내에 배치되는 노상(hearth)과,

진공 챔버 내에, 또는 진공 챔버에 인접하게 배치되고, 전기 전도성 금속 물질을 상기 물질의 용해점까지로 가열하기에 충분한 에너지를 가지며 제 1 단면적을 갖는 제 1 전자 필드를 상기 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기와,

노상으로부터의 전기 전도성 금속 물질을 수용하도록 위치하는 주형(mold) 및 분무 장치(atomizing apparatus) 중 한 가지 이상과,

진공 챔버 내에, 또는 진공 챔버에 인접하게 배치되고, 전기 전도성 금속 물질의 일부분을 상기 일부분의 용해점 이상으로 가열하기, 전기 전도성 금속 물질 내 고형 응축물을 용해하기, 및 형성되는 잉곳(ingot)의 영역을 가열하기 중 하나 이상에 충분한 에너지를 가지며 제 2 단면적을 갖는 제 2 전자 필드를 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 보조 이온 플라스마 전자 방출기

를 포함하며,

제 1 전자 필드의 제 1 단면적은 제 2 전자 필드의 제 2 단면적과 상이하고, 보조 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 방출되는 제 2 전자 필드는 조향 가능한(steerable) 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

최소한 노상의 영역 위의 위치에서 전기 전도성 금속 물질을 진공 챔버 내로 도입하도록 구성된 하나 이상의 공급기(feeder)

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 방출되는 제 1 전자 필드가 상기 공급기에 의해 진공 챔버 내로 도입되는 전기 전도성 금속 물질에 최소한 부분적으로 충돌하도록, 공급기 및 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기가 배치되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서, 노상은 용해 물질 보유 영역(molten material holding region)을 포함하고, 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 방출되는 제 1 전자 필드가 상기 용해 물질 보유 영역에 최소한 부분적으로 충돌하도록, 상기 노상과 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기가 배치되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서, 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기는, 양이온 플라스마를 생성하도록 구성된 전극을 포함하는 플라스마 영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

### 청구항 6

제 5 항에 있어서, 전극은 플라스마 영역의 일부분을 따라 위치하는 와이어(wire)를 포함하는 것을 특징으로 하

는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 7

제 5 항에 있어서, 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기는, 캐소드를 음으로 대전하도록 구성된 고전압 전력 공급기로 전기 연결되어 있는 상기 캐소드를 포함하는 캐소드 영역을 더 포함하고,

전극에 의해 발생하는 양이온이 캐소드 쪽으로 가속되어 캐소드에 충돌하여 상기 캐소드로부터 제 1 전자 필드를 해방(liberate)하도록, 상기 캐소드는 전극에 대해 위치하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 8

제 7 항에 있어서, 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기는 전자 투과성 박막 창(electron transmissive foil window)을 더 포함하고, 상기 박막 창은 진공 챔버의 벽 내에 위치하여, 캐소드로부터 해방된 제 1 전자 필드가 상기 박막 창을 통해 진공 챔버로 들어가도록 하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 9

제 7 항에 있어서, 고전압 전력 공급기는 캐소드에 20,000볼트 이상의 음전압까지 전력을 공급하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서, 전자 투과성 창을 통과하지 않고 제 1 전자 필드가 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기로부터 직접 진공 챔버로 통과할 수 있도록 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기가 진공 챔버 내부로 연결되어 있는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 11

제 1 항에 있어서, 장치는 전자 빔 저온 노상 용해로(electron beam cold hearth melting furnace)이고, 전기 전도성 금속 물질은, 티타늄, 티타늄 합금, 텅스텐, 니오븀, 탄탈럼, 백금, 팔라듐, 지르코늄, 인듐, 니켈, 니켈기합금, 철, 철기합금, 코발트, 및 코발트기합금 중에서 선택된 하나 이상의 물질인 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 12

제 1 항에 있어서, 제 1 단면적의 제 1 전자 필드는 대면적 전자 필드인 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 13

제 1 항에 있어서, 제 1 전자 필드의 제 1 단면적은 제 2 전자 필드의 제 2 단면적보다 큰 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 14

제 1 항에 있어서, 제 2 전자 필드의 제 2 단면적은 실질적으로 원형의 단면도와 실질적으로 직사각형의 단면도 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 15

제 1 항에 있어서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기로부터 방출된 제 2 전자 필드를 조향하기 위한 조향 장치를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 16

제 1 항에 있어서, 전기 전도성 금속 물질의 일부분을 상기 일부분의 용해점까지 가열하기, 전기 전도성 금속 물질 내 고형 응축물을 용해하기, 및 형성되는 잉곳의 영역을 가열하기 중 하나 이상을 가능하게 하도록, 제 2

전자 필드는 래스터링되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 17

제 1 항에 있어서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기는, 양이온 플라스마를 생성하도록 구성된 전극을 포함하는 플라스마 영역을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 18

제 17 항에 있어서, 전극은, 최소한 노상의 영역 위의 위치에서 전기 전도성 금속 물질을 진공 챔버 내부로 도입시키도록 구성된 공급기로부터 반대편에 있는 진공 챔버의 단부에 인접한 플라스마 영역 내에 위치하는 와이어(wire)를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 19

제 17 항에 있어서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기는, 캐소드를 음으로 대전하도록 구성된 고전압 전력 공급기로 전기 연결된 캐소드를 포함하는 캐소드 영역을 더 포함하고, 전극에 의해 발생하는 양이온이 캐소드 쪽으로 가속되어 상기 캐소드에 충돌하여 상기 캐소드로부터 제 2 전자 필드가 해방되도록 상기 캐소드는 전극에 대해 위치하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 20

제 19 항에 있어서, 실질적으로 원형인 단면도의 제 2 전자 필드를 생성하기 위해, 전극과 캐소드 중 하나 이상은 실질적으로 원형인 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 21

제 19 항에 있어서, 실질적으로 직사각형의 단면도의 제 2 전자 필드를 생성하기 위해 전극과 캐소드 중 하나 이상이 실질적으로 직사각형인 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 22

제 19 항에 있어서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기는 전자 투과성 박막 창(electron transmissive foil window)을 더 포함하고, 상기 박막 창은 진공 챔버의 벽 내에 위치하여, 캐소드로부터 해방된 제 2 전자 필드가 박막 창을 통해 진공 챔버로 들어가게 하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 23

제 19 항에 있어서, 상기 캐소드는 높은 용해점과 낮은 일함수를 갖는 인서트(insert)를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 24

제 19 항에 있어서, 고전압 전력 공급기는 캐소드에 20,000볼트 이상의 음전압까지 전력을 공급하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 25

제 1 항에 있어서, 제 2 전자 필드가, 전자 투과성 창을 통과하지 않고, 보조 이온 플라스마 전자 방출기로부터 진공 챔버로 직접 통과할 수 있도록 보조 이온 플라스마 전자 방출기가 진공 챔버 내부로 연결되어 있는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 26

전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치에 있어서, 상기 장치는

진공 챔버와,

상기 진공 챔버에 배치되는 노상(hearth)과,

전기 전도성 금속 물질을 용해하도록 구성된 용해 장치와,

노상으로부터 용해된 전기 전도성 금속 물질을 수용하도록 위치하는 주형(mold)과 분무 장치(atomizing apparatus) 중 하나 이상과,

진공 챔버 내에, 또는 상기 진공 챔버에 인접하게 배치되고, 전기 전도성 금속 물질의 일부분을 용해하기, 상기 전기 전도성 금속 물질 내 고형 응축물을 용해하기, 및 고형화되는 잉곳(ingot)의 영역을 가열하기 중 한 가지 이상을 위해 충분한 에너지를 갖고 단면적을 갖는 집속된 전자 필드(focused electron field)를 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 보조 이온 플라스마 전자 방출기

를 포함하며, 집속된 전자 필드가 전기 전도성 금속 물질의 일부분, 고형 응축물, 및 고형화되는 잉곳 중 한 가지 이상 쪽으로 지향되도록, 상기 집속된 전자 필드는 조향 가능(steerable)한 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 27

제 26 항에 있어서, 용해 장치는, 진공 챔버 내에, 또는 상기 진공 챔버에 인접하여 배치되며, 대면적 전자 필드(wide-area electron field)를 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기를 포함하며, 상기 대면적 전자 필드는 전기 전도성 금속 물질을 상기 물질의 용해점까지로 가열하기에 충분한 에너지를 갖는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 28

제 26 항에 있어서, 용해 장치는, 전기 전도성 금속 물질을 상기 물질의 용해점까지로 가열하기에 충분한 에너지를 갖는 전자 빔을 방출하도록 구성되는 하나 이상의 열-이온 전자 빔 진을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 29

전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치에 있어서, 상기 장치는

제 1 형태의 단면도를 갖는 집속된 전자 필드(focused electron field)를 발생하도록 구성된 보조 이온 플라스마 전자 방출기와,

전기 전도성 금속 물질의 고형화된 부분을 용해하기, 상기 전기 전도성 금속 물질 내 고형 응축물을 용해하기, 형성되는 잉곳(ingot)의 영역을 가열하기 중 한 가지 이상을 위해, 상기 집속된 전자 필드가 전기 전도성 금속 물질의 최소한 일부분에 충돌하도록 상기 집속된 전자 필드를 지향하도록 구성된 조향 시스템(steering system)을 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 30

제 29 항에 있어서, 제 2 형태를 갖는 전극과 제 3 형태를 갖는 캐소드를 더 포함하며, 상기 제 1 형태는 상기 제 2 형태와 상기 제 3 형태 중 하나 이상과 실질적으로 유사한 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 31

제 29 항에 있어서, 상기 제 1 형태는 실질적으로 원형 및 실질적으로 직사각형 중 하나인 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 32

제 31 항에 있어서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기는, 실질적으로 원형의 단면도를 갖는 집속된 전자 필드를 생성하도록 구성된 실질적으로 원형의 전극과 실질적으로 원형의 캐소드를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 33

제 31 항에 있어서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기는, 실질적으로 직사각형의 단면도를 갖는 집속된 전자 필드를 생성하도록 구성된 실질적으로 직사각형의 와이어 전극과 실질적으로 직사각형의 캐소드를 포함하는 것을

특징으로 하는 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치.

#### 청구항 34

물질을 가공하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

금속과 금속성 합금 중 하나 이상을 포함하는 물질을, 대기압에 비해 저압으로 유지되는 노 챔버(furnace chamber) 내부로 도입하기 위한 단계와,

하나 이상의 제 1 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 제 1 단면적을 갖는 제 1 전자 필드를 생성하는 단계와, 노 내의 물질을 상기 제 1 전자 필드에 노출시켜, 상기 물질을, 상기 물질의 용해점 이상의 온도까지로 가열하는 단계와,

제 2 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 제 2 단면적을 갖는 제 2 전자 필드를 생성하는 단계와,

조향 시스템을 이용해, 물질 내 응축물, 물질의 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상을 제 2 전자 필드에 노출시켜, 고형 응축물, 상기 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상을 용해 또는 가열하는 단계

를 포함하며, 상기 제 1 전자 필드의 제 1 단면적은 제 2 전자 필드의 제 2 단면적과 상이한 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 35

제 34 항에 있어서, 물질은 티타늄, 티타늄 합금, 텅스텐, 니오븀, 탄탈럼, 백금, 팔라듐, 지르코늄, 이리듐, 니켈, 니켈기합금, 철, 철기합금, 코발트, 및 코발트기합금 중 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 36

제 34 항에 있어서,

물질을 최소한 제 1 전자 필드에 노출시키는 것 후에, 또는 이와 동시에, 물질로부터 주조(casting) 또는 파우더를 형성하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 37

제 34 항에 있어서,

티타늄, 티타늄 합금, 텅스텐, 니오븀, 탄탈럼, 백금, 팔라듐, 지르코늄, 이리듐, 니켈, 니켈기합금, 철, 철기합금, 코발트, 및 코발트기합금 중에서 선택된 하나 이상의 전기 전도성 물질을 노 챔버 내로 도입시키는 단계와,

하나 이상의 합금 첨가제를 물질에 첨가하는 선택적 단계와,

물질을 제 1 전자 필드 노출시키는 것 후에, 또는 이와 동시에, 물질로부터 주조(casting) 또는 파우더(powder)를 형성하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 38

제 34 항에 있어서,

제 1 이온 플라스마 전자 방출기 및 제 2 이온 플라스마 전자 방출기 내부 압력을, 노 챔버 내 압력과 실질적으로 동일하게 유지하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 39

제 34 항에 있어서,

노 챔버 내 압력을 제 1 이온 플라스마 전자 방출기 및 제 2 이온 플라스마 전자 방출기 내 압력보다 낮게 유지하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 40

제 34 항에 있어서,

노 챔버 내 물질의 가열 동안, 물질로부터 휘발성 원소가 원치 않게 증발하는 것을 감소 또는 없애기 위해, 노 챔버 내 압력을, 40  $\mu$  이상으로 유지하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 41

제 34 항에 있어서,

노 챔버 내 물질의 가열 동안, 물질로부터 휘발성 원소가 원치 않게 증발하는 것을 감소 또는 없애기 위해, 노 챔버 내 압력을 300  $\mu$  이상으로 유지하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 42

제 34 항에 있어서, 제 1 전자 필드의 제 1 단면적은 제 2 전자 필드의 제 2 단면적보다 큰 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 43

제 34 항에 있어서,

제 2 전자 필드를, 고형 응축물, 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 위로 래스터링하여, 고형 응축물, 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나를 용해 또는 가열하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 44

제 34 항에 있어서, 자기 조향 시스템을 이용해, 제 2 전자 필드를, 고형 응축물, 고형화된 부분, 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 쪽으로 지향시키는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 45

제 34 항에 있어서, 제 2 전자 필드는 실질적으로 원형의 단면도와 실질적으로 직사각형의 단면도 중 하나를 갖는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 46

물질을 가공하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

금속과 금속성 합금 중 하나 이상을 포함하는 물질을, 대기압에 비해 저압으로 유지되는 노 챔버(furnace chamber) 내로 도입하는 단계와,

노 챔버 내 물질을, 상기 물질을 상기 물질의 용해점 이상의 온도까지로 가열하도록 구성된 용해 장치로 노출시키는 단계와,

보조 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계와,

물질 내 고형 응축물, 물질의 고형화된 부분, 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상을 집속된 전자 필드에 노출

시키는 단계와,

조향 시스템을 이용하여, 고형 응축물, 고형화된 부분, 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상의 용해 또는 가열하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 47

제 46 항에 있어서, 용해 장치는 전자 빔을 방출하도록 구성된 하나 이상의 열-이온 전자 빔 권을 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법

#### 청구항 48

제 46 항에 있어서, 용해 장치는 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기를 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 49

물질을 가공하기 위한 방법에 있어서, 상기 방법은

보조 이온 플라스마 방출기를 이용해 제 1 형태의 단면도를 포함하는 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계와,

집속된 전자 필드를 물질에 충돌시키고, 물질 내 고형 응축물, 물질의 고형화된 부분, 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상의 용해 또는 가열하도록, 집속된 전자 필드를 조향시키는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 50

제 49 항에 있어서, 상기 방법은

제 2 형태를 갖는 전극과 제 3 형태를 갖는 캐소드를 이용해, 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계

를 더 포함하며, 제 1 형태는 제 2 형태 및 제 3 형태 중 하나 이상과 실질적으로 유사한 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 51

제 49 항에 있어서, 상기 방법은

보조 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해, 실질적으로 원형인 단면도와 실질적으로 직사각형인 단면도 중 하나를 갖는 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 52

제 51 항에 있어서,

실질적으로 원형의 전극과 실질적으로 원형의 캐소드를 이용해, 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 53

제 51 항에 있어서,

실질적으로 직사각형인 전극과 실질적으로 직사각형인 캐소드를 이용해, 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 물질을 가공하기 위한 방법.

#### 청구항 54

용해로 내 전기 전도성 물질을 용해하도록 전자 필드를 발생시키는 방법에 있어서, 상기 방법은



제 1 비선형 형태를 갖는 애노드를 제공하는 단계와,  
 애노드에 전압을 인가하는 단계와,  
 상기 애노드에서 양이온을 포함하는 플라스마를 발생시키는 단계와,  
 제 2 형태를 갖는 캐소드를 제공하는 단계와,  
 상기 애노드에 대해 캐소드를 위치-설정하는 단계와,  
 캐소드에, 캐소드를 음으로 대전하도록 구성된 전압을 인가하는 단계와,  
 양이온을 캐소드 쪽으로 가속시켜, 자유 2차 전자를 발생시키는 단계와,  
 자유 2차 전자를 이용해 전자 필드를 형성하는 단계  
 를 포함하며, 상기 전자 필드는 제 3 형태의 단면도를 가지며, 상기 제 3 형태는 애노드의 제 1 비선형 형태에 대응하는 것을 특징으로 하는 전자 필드를 발생시키는 방법.

#### 청구항 55

제 54 항에 있어서, 전자 필드의 제 3 형태는 캐소드의 제 2 형태에 대응하는 것을 특징으로 하는 전자 필드를 발생시키는 방법.

#### 청구항 56

제 55 항에 있어서, 전기 필드의 제 3 형태는 캐소드의 제 2 형태와 실질적으로 동일한 것을 특징으로 하는 전자 필드를 발생시키는 방법.

#### 청구항 57

제 54 항에 있어서, 애노드는, 와이어(wire), 전기 전도성 박판(thin plate), 전기 전도성 박판 시트(thin sheet), 및 전기 전도성 박막(thin foil) 중 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 전자 필드를 발생시키는 방법.

#### 청구항 58

제 54 항에 있어서, 전자 필드의 제 3 형태는 애노드의 제 1 비선형 형태와 실질적으로 동일한 것을 특징으로 하는 전자 필드를 발생시키는 방법.

### 명세서

#### 기술분야

- [0001] 관련 출원들의 상호 참조
- [0002] 본 발명은 35 U.S.C. § 120 하에서 우선권을 주장하며, 35 U.S.C. § 119(e) 하에서, 2007년03월30일자 가특허출원 제60/909,118호를 기초로 우선권 주장하는 2008년03월26일자 US 특허 출원 제12/055,415호의 일부계속출원이다. 두 미국 출원은 모두, 본원에서 참조로서 포함된다.
- [0003] 기술분야
- [0004] 본 출원은 금속 및 금속 합금(이하 "합금")을 용해시키기 위한 기기와 기법에 관한 것이다. 더 구체적으로 본 발명은 전자를 이용하여 합금을 용해 또는 가열하기 위한 기기 및 기법 및/또는 용해된 합금 내에 형성된 응축물에 대한 것이다.

#### 배경기술

- [0005] 배경기술의 설명
- [0006] 합금 용해 공정은 적합한 물질의 차지(charge)를 제조하고, 그 후 상기 차지를 용해시키는 과정을 포함한다. 그

후, 용해된 차지, 즉 "용해물(melt)"이 정제 및/또는 가공되어, 용해물 화학이 변화, 및/또는 용해물로부터 원치않는 성분이 제거, 및/또는 상기 용해물로부터 주조된 물품의 미세구조가 영향을 받을 수 있다. 용해로는 전기, 또는 화석연료의 연소에 의해 전력을 공급받고, 적합한 장치를 선택하는 것은 상대적 비용 및 해당 환경적 규제에 의해 크게 영향받을 뿐 아니라, 제조되는 물질의 고유성에 의해서도 영향을 받는다. 현재, 다양한 용해 기법 및 장치가 이용 가능하다. 용해 기법의 일반적 범주는, 예를 들어, 유도 용해(가령, 진공 유도 용해), 아크 용해(가령, 진공 아크 스킴 용해), 도가니 용해, 및 전자 빔 용해를 포함한다.

[0007] 통상적으로, 전자 빔 용해는, 표적 물질을 가열하기 위해 사용되는 높은 에너지의 실질적으로 선형의 전자 스트림을 발생시키도록 열-이온 전자 빔 건(thermo-ionic electron beam gun)을 이용하는 과정을 포함한다. 열-이온 전자 빔 건은 전류를 필라멘트로 통과시키고, 이로써 필라멘트를 고온으로 가열하고, 필라멘트로부터 전자를 "증발(boiling)"시키함으로써 동작한다. 그 후, 필라멘트로부터 발생된 전자는 매우 좁은, 실질적으로 선형의 전자 빔의 형태로, 표적을 향해 집중되고 가속된다. 또한 합금 용해물을 제조하기 위해 일종의 이온 플라스마 가속 빔도 사용된다. 특히, V. A. Chernov, "Powerful High-Voltage Glow Discharge Electron Gun and Power Unit on Its Base", 1994 Intern. Conf. on Electron Beam Melting (Reno, Nevada), pp. 259-267에 기재된 "글로 방전(glow discharge)" 전자 빔 건이, Antares(우크라이나, 키예브)에 의해 상용화된 특정 용해로에 포함된다. 이러한 장치는 캐소드에 충돌하여 전자를 발생시키는 양이온을 포함하는 저온 플라스마(cold plasma)를 발생시킴으로써 동작하고, 이러한 전자는 집중되어 실질적으로 선형의 전자 빔이 형성된다.

[0008] 앞서 언급된 유형의 전자 빔 건에 의해 발생하는 실질적으로 선형인 전자 빔은 전자 빔 용해로의 진공 용해 챔버 내부로 지향되고, 용해될 물질 및/또는 용해 상태로 유지된 물질에 충돌한다. 전기 전도성 물질을 통과하는 전자의 전도가 특정 용해 온도를 초과하는 온도까지로 상기 물질을 빠르게 가열한다. 실질적으로 선형의 전자 빔의 에너지가 높다고 가정되면(가령, 약  $100\text{kW}/\text{cm}^2$ 일 수 있음), 선형 전자 빔 건은 매우 고온의 열원이고, 실질적으로 선형의 빔이 충돌하는 물질의 용해점, 일부 경우, 기화점을 쉽게 초과할 수 있다. 자체 편향 또는 이와 유사한 지향 수단(directional means)을 이용해, 실질적으로 선형인 전자 빔이 용해 챔버 내 표적 물질에 걸쳐 고주파수로 래스터링되어, 상기 빔이 넓은 영역에 걸쳐, 그리고 다중의 복합 형태를 갖는 표적에 걸쳐 지향될 수 있다.

[0009] 전자 빔 용해가 표면 가열 방법이기 때문에, 얇은 용해지(molten pool)만 생성하는 것이 일반적이며, 이는 주조 잉곳(cast ingot)의 가공과 편석을 제한하는 측면에서 바람직할 수 있다. 전자 빔에 의해 생성된 과열된 메탈 풀이 노상 용해 챔버의 고 진공 환경 내에 놓이기 때문에, 기법은 용해된 물질을 탈기(degas)하는 경향을 갖는 것이 유리하다. 또한 비교적 높은 증기압을 갖는, 합금 내 바람직하지 않은 금속성 및 비-금속성 구성물이 용해 챔버에서 선택적으로 증발될 수 있으며, 이로써 합금 순도가 향상될 수 있다. 한편, 고도로 집중되는 실질적으로 선형인 전자 빔에 의해 발생하는 바람직한 구성물의 증발도 고려해야 한다. 바람직하지 않은 증발이 생산에 기여함이 틀림없고, 전자 빔 용해로를 이용할 때, 합금 생산을 상당히 복잡하게 할 수 있다.

[0010] 다양한 용해 및 정제 방법이 열-이온 전자 건을 이용한 공급원료의 전자 빔 용해를 포함한다. 드립 용해(drip melting)는, 내화 금속(가령, 탄탈럼 및 니오븀)을 가공하기 위한 열-이온 전자 빔 건 용해로에서 사용되는 전통적인 방법이다. 막대(bar) 형태의 원재료가 노상 챔버로 공급되고 상기 막대에 집중되는 선형 전자 빔이 상기 원재료를 직접 정적 또는 회수 주형으로 드립-용해(drip-melt)한다. 회수 주형(withdrawal mold)으로 주조될 때, 액체 풀 레벨은, 잉곳 바닥을 회수함으로써, 성장하는 잉곳의 상부로 유지된다. 앞서 기재된 탈기 및 선택적 증발 현상의 결과로, 공급물질이 정제된다.

[0011] 반응성 금속 및 합금의 가공 및 재활용 시, 전자 빔 저온 노상 용해 기법(electron beam cold hearth melting technique)이 흔하게 사용된다. 실질적으로 선형인 전자 빔을 공급원료 막대의 단부에 충돌시킴으로써, 공급원료가 드립-용해된다. 용해된 공급원료가 수냉각식 구리 노상(water-cooled copper hearth)의 단부 영역으로 떨어져서(drip), 보호 스킴(protective skull)이 형성된다. 용해된 물질이 노에 모아짐에 따라, 상기 물질은 넘치고 중력에 의해 인출 주형 또는 그 밖의 다른 주조 장치로 흘러 내린다. 용해된 물질이 노에 머무르는 시간 동안, 실질적으로 선형인 전자 빔이 물질의 표면을 가로질러 빠르게 래스터링되어 상기 물질을 용해된 형태로 유지시킨다. 이는 또한, 높은 증기압 성분의 증발을 통한, 용해된 물질의 탈기 및 정제의 효과를 가진다. 상기 노의 크기는 고밀도 고품질 개재물과 저밀도 고품질 개재물 간 중력 분리(gravity separation)를 촉진시키도록 정해질 수 있고, 이 경우, 고밀도 입자가 바닥으로 가라앉고 스킴에 포획되는 동안 용해를 가능하게 할 충분한 시간 동안 산화물 및 그 밖의 다른 상대적으로 저밀도의 개재물이 용해된 금속에 남아 있다.

[0012] 종래의 전자 빔 용해 기법의 다양한 이점을 제공하면서, 이 기법을 더 개선하는 것이 바람직할 것이다.

## 발명의 내용

### 과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 하나의 비제한적 양태에 따라, 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치가 기재된다. 상기 장치는 진공 챔버와, 상기 진공 챔버 내에 배치되는 노상(hearth)과, 상기 진공 챔버 내에 또는 인접하게 위치하며 제 1 단면적을 갖는 제 1 전자 필드를 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기를 포함한다. 제 1 전자 필드는 전기 전도성 금속 물질을 상기 물질의 용해점까지로 가열하기에 충분한 에너지를 가진다. 상기 장치는, 노상으로부터 상기 전기 전도성 금속 물질을 수용하도록 위치하는 주형과 분무 장치 중 하나 이상과, 진공 챔버 내에 또는 인접하여 배치되고 제 2 단면적을 갖는 제 2 전자 필드를 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 더 포함한다. 제 2 전자 필드는, 전기 전도성 금속 물질의 일부를 상기 물질의 일부의 용해점 이상으로 가열하기, 전기 전도성 금속 물질 내 고형 응축물을 용해하기, 및 형성되는 잉곳의 영역을 가열하기 중 하나 이상을 위해 충분한 에너지를 가진다. 제 1 전자 필드의 제 1 단면적은 제 2 전자 필드의 제 2 단면적과 상이하다. 보조 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 방출되는 제 2 전자 필드는 조향 가능하다.

[0014] 본 발명의 또 다른 비제한적 양태에 따라, 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치가 바람직하다. 상기 장치는 진공 챔버와, 상기 진공 챔버 내 배치되는 노상과, 전기 전도성 금속 물질을 용해하도록 구성된 용해 장치를 포함한다. 상기 장치는, 용해된 전기 전도성 금속 물질을 노상으로부터 수용하도록 위치하는 주형과 분무 장치 중 하나 이상과, 상기 진공 챔버 내에, 또는 인접하여 배치되고, 단면적을 갖는 집속된 전자 필드를 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 더 포함한다. 집속된 전자 필드는, 전기 전도성 금속 물질의 일부분을 용해하기, 전기 전도성 금속 물질 내 고형 응축물을 용해하기, 및 고형화되는 잉곳의 영역을 가열하기 중 하나 이상에 충분한 에너지를 가진다. 집속된 전자 필드를 전기 전도성 금속 물질의 일부분, 고형 응축물, 및 고형화되는 잉곳 중 하나 이상 쪽으로 지향시키도록, 집속된 전자 필드는 조향 가능하다.

[0015] 본 발명의 또 다른 비제한적 실시예에 따라, 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치가 기재된다. 상기 장치는 제 1 형태의 단면도를 갖는 집속된 전자 필드를 생성하도록 구성된 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 포함한다. 상기 장치는 집속된 전자 필드를 지향시켜 집속된 전자 필드를, 전기 전도성 금속 물질의 일부로 충돌시켜, 전기 전도성 금속 물질의 임의의 고형화된 부분을 용해하기, 전기 전도성 금속 물질의 내 임의의 고형 응축물을 용해하기, 및 형성되는 잉곳의 영역을 가열하기 중 하나 이상을 하기 위한 조향 시스템을 더 포함한다.

[0016] 본 발명의 또 다른 양태에 따라, 물질을 가공하는 방법이 제공된다. 상기 방법은 금속과 금속성 합금 중 하나 이상을 포함하는 물질을, 대기압에 비해 저압으로 유지되는 노 챔버 내부로 도입시키는 단계와, 적어도 제 1 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 제 1 단면적을 갖는 제 1 전자 필드를 발생시키는 단계를 포함한다. 상기 방법은 노 챔버 내 물질을 제 1 전자 필드에 노출시켜, 물질을 상기 물질의 용해점 이상의 온도까지로 가열하는 단계와, 제 2 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 제 2 단면적을 갖는 제 2 전자 필드를 발생시키는 단계를 포함한다. 상기 방법은, 조향 시스템을 이용해, 물질 내 고형 응축물, 물질의 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상을 제 2 전자 필드로 노출시켜, 고형 응축물, 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상을 용해 또는 가열하는 단계를 포함한다. 제 1 전자 필드의 제 1 단면적은 제 2 전자 필드의 제 2 단면적과 상이하다.

[0017] 본 발명이 또 다른 양태에 따라, 물질을 가공하기 위한 방법이 제공된다. 상기 방법은, 금속과 금속성 합금 중 하나 이상을 포함하는 물질을 대기압에 비해 저압으로 유지된 노 챔버로 도입시키는 단계와, 노 챔버 내 물질을, 물질을 물질의 용해 온도 이상으로 가열하도록 구성된 용해 장치로 노출시키는 단계를 포함한다. 상기 방법은 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계와, 조향 시스템을 이용해 물질 내 임의의 고형 응축물, 물질의 임의의 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역을 집속된 전자 필드로 노출시켜, 고형 응축물, 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상을 용해 또는 가열하는 단계를 포함한다.

[0018] 본 발명의 또 다른 양태에 따라, 물질을 가공하기 위한 방법이 제공된다. 상기 방법은 보조 이온 플라스마 전자

방출기를 이용하여 제 1 형태의 단면도를 포함하는 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계와, 집속된 전자 필드를 물질에 충돌시키고, 물질 내 고형 응축물, 물질의 고형화된 부분, 및 고형화되는 잉곳의 영역 중 하나 이상을 용해 또는 가열하도록, 집속된 전자 필드를 조향시키는 단계를 포함한다.

[0019] 본 발명의 또 다른 양태에 따라, 용해로 내 전기 전도성 물질을 용해하기 위해 전자 필드를 발생시키는 방법이 제공된다. 상기 방법은 제 1 비선형적 형태를 갖는 애노드를 제공하는 단계와, 애노드에 전압을 인가하는 단계와, 양이온을 함유하는 플라스마를 애노드에서 생성하는 단계를 포함한다. 상기 방법은 제 2 형태를 갖는 캐소드를 제공하는 단계와, 애노드에 대해 캐소드를 위치설정하는 단계와, 캐소드에 전압을 인가하는 단계를 더 포함한다. 전압은 캐소드를 음으로 대전하도록 구성된다. 상기 방법은, 양이온을 캐소드 쪽으로 가속시켜, 자유 2차 전자를 발생시키는 단계와, 자유 2차 전자를 이용해 전자 필드를 형성하는 단계를 포함한다. 전자 필드는 제 3 형태를 갖는 단면도를 가진다. 제 3 형태는 애노드의 제 1 비선형 형태에 대응한다.

### 도면의 간단한 설명

[0020] 본원에서 기재된 본 발명의 장치와 방법의 특징 및 이점이 다음의 도면을 참고하여 더 잘 이해될 수 있다.

도 1은 종래의 열-이온 전자 빔 건 용해로의 하나의 실시예의 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 2는 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 하나의 실시예의 특정 구성요소들의 단순화된 도시이다.

도 3은 본 발명에 따라 복수의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기를 포함하는 전자 빔 저온 노상 용해로의 하나의 비제한적 실시예의 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 4는 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 하나의 비제한적 실시예의 개략적 도시이다.

도 5는 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기를 전자 공급원으로서 포함하는 전자 빔 용해로의 본원에 따르는 하나의 비제한적 실시예의 개략적 도시이다.

도 6은 본원에 따라 전자 빔 용해로에서 사용되기에 적합할 수 있는 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 하나의 비제한적 실시예의 투시도이다.

도 7은 도 6에 도시된 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 동작을 도시한 도면이다.

도 8은 본 발명에 따라 전자 빔 저온 노상 용해로의 하나의 실시예의 단면도로 도시된다.

도 9는 본 발명에 따르는 복수의 이온 플라스마 전자 방출기와 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 포함하는 전자 빔 저온 노상 용해로의 하나의 비제한적 실시예의 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 10은 본 발명에 따르는 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 포함하는 전자 빔 저온 노상 용해로의 하나의 비제한적 실시예의 단면도를 개략적으로 도시한다.

도 11은 본 발명에 따르는 보조 이온 플라스마 전자 방출기에 대한 조향 시스템의 하나의 비제한적 실시예를 개략적으로 도시한다.

도 12는 본 발명에 따라 보조 이온 플라스마 전자 방출기용 조향 시스템의 한 가지 비제한적 실시예의 상부 투시도를 도시한다.

도 13은 본원에 따라 보조 이온 플라스마 전자 방출기의 한 가지 비제한적 실시예의 평면도를 개략적으로 도시한다.

도 14는 본 발명에 따라 보조 이온 플라스마 전자 방출기의 하나의 비제한적 실시예의 평면도를 개략적으로 도시한다.

도 15는 본 발명에 따라 보조 이온 플라스마 전자 방출기의 한 가지 비제한적 실시예의 평면도를 개략적으로 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 동작 예시가 아닌, 또는 그 밖의 다른 방식으로 나타난 한정하지 않는 실시예에 대한 본원의 기재에서, 구성요소 및 산물의 양 또는 특징, 가공 조건 등을 표현하는 모든 수치는, 모든 경우에서, 용어 "약(about)"에 의해



변형되는 것으로 이해될 것이다. 따라서 다르게 명시되지 않는 한, 다음의 기재에서 제공되는 임의의 수치 파라미터는, 본 발명에 따르는 장치 및 방법에서 얻으려 하는 희망 속성에 따라 달라질 수 있는 근삿값이다. 적어도, 그리고 균등론의 적용을 청구범위로만 한정하지 않도록, 각각의 수치 파라미터는 보고된 다수의 유의미한 숫자를 고려해, 보통의 뺏음법을 적용함으로써 파악되어야 한다.

[0022] 그 일부가 또는 전체가, 본원에서 참조로서 포함된다고 말해지는 임의의 특허, 출판물, 또는 그 밖의 다른 공개물은, 포함되는 사항이 본원에 이미 있는 정의, 서술, 또는 그 밖의 다른 기재와 충돌하지 않는 범위까지만 본원에 포함된다. 따라서 본원의 내용은, 참조로서 본원에 포함되는 임의의 충돌하는 사항을 배제한다. 본원에서 참조로서 포함되나, 이미 있는 정의, 서술, 또는 그 밖의 다른 기재와 충돌하는 임의의 사항 또는 그 일부분은, 포함된 사항과 기존 본원의 사항 간에 어떠한 충돌도 없을 범위까지만 포함된다.

[0023] 본원은, 부분적으로, 금속 및 금속성 합금을 용해하기 위한, 및/또는 금속성 주조 또는 파우더로 사용되도록 물질을 용해된 상태로 유지하기 위한 전자 빔 노(electron beam furnace)의 개선된 설계에 관한 것이다. 종래의 열-이온 전자 빔 건 용해로가 도 1에 개략적으로 도시되어 있다. 노(110)는 챔버 벽(115)으로 둘러싸인 진공 챔버(114)를 포함한다. 복수의 열-이온 전자 빔 건(116)이 챔버(114) 외부 인근에 위치하고, 이산 선형 전자 빔(118)을 챔버(114) 내부로 지향시킨다. 종래의 막대 공급기(119) 및 종래의 입자 또는 과립 공급기(117)에 의해 각각, 금속성 막대(120) 및 합금 파우더(122) 형태로 된 공급 물질이 챔버(114) 내로 도입된다. 전자 빔 건(116) 중 하나의 선형 전자 빔(118)이 막대(120)의 단부에 충돌하여 용해시키고, 최종 용해된 합금(124)이 챔버(114) 내부의 수냉각식 구리 정제 노상(water-cooled copper refining hearth, 126)("저온 노상")으로 흘러내린다. 열-이온 전자 빔 건(116)은 종래의 설계를 가지며, 적합한 필라멘트 물질을 가열함으로써, 전자를 발생시킨다. 상기 건(116)은 발생된 전자를 한 점에 집중시키고, 전자가 상기 건(116)으로부터 정확히 집중되며 실질적으로 선형인 빔의 형태로 투사된다. 따라서 건(116)으로부터 투사된 전자가 점원(point source)으로서 표적에 충돌한다. 전자의 점원에 의한 표적의 가열은, 음극선 텔레비전 튜브의 형광면(phosphor screen)에 전자를 래스터링하는 것과 유사한 방식으로, 표적의 적어도 일부분에 걸쳐 선형 전자 빔(118)을 래스터링함으로써, 촉진된다. 열-이온 전자 빔 건(116)의 실질적으로 선형인 전자 빔(118)을 막대(120)의 단부 영역에 래스터링함으로써, 막대(120)가, 예를 들어, 용해된다.

[0024] 도 1을 더 참조하면, 실질적으로 선형인 전자 빔(118)의 특정 부분을 지정되고 프로그램된 패턴으로, 용해된 합금(124)의 표면에 래스터링함으로써, 노상(126)에 증착된 용해된 합금(124)이 용해 상태로 유지된다. 공급기(feeder, 117)에 의해, 용해된 합금(124)으로 도입되는 파우더 또는 과립 합금 물질(122)이 용해된 물질로 혼입된다. 용해된 물질(124)은 노상(126)을 가로질러 전진하여, 중력에 의해 상기 노상으로부터 구리 회수 주형(withdrawal mold, 130)으로 적하(drop)된다. 회수 몰드(130)는, 성장하는 잉곳(132)의 길이를 수용하도록 병진 운동 가능한 바닥(traslatable base, 134)을 포함한다. 먼저, 용해된 합금(124)은 용해지(131)로서 회수 주형(130)에 모이고, 점차, 잉곳(132)으로 고형화된다. 실질적으로 선형인 전자 빔(118)의 하나 이상을 용해지의 표면에 래스터링함으로써 용해지(131)로 전자를 충돌시키는 것은 용해지(131)의 영역(특히, 용해지 변부)을 용해 상태로 유지한다.

[0025] 노 챔버 내 물질을 가열하기 위해 하나 이상의 실질적으로 선형인 전자 빔을 이용하는 노, 가령, 종래의 열-이온 전자 빔 건 용해로에서, 휘발성 원소, 즉, 노 용해 온도에서 비교적 높은 증기압을 갖는 원소를 포함하는 합금이 용해지로부터 증발되고 노 챔버의 상대적으로 차가운 벽에 응축되는 경향이 있다. (전자 빔 용해에 의해 일반적으로 얻어지는 온도에서 비교적 높은 증기압을 갖는 원소들의 일반적인 합금은, 예를 들어, 알루미늄 및 크롬을 포함한다.) 실질적으로 선형인 전자 빔 용해 기법은 특히 휘발을 촉진시키며, 이는, 적어도 두 가지 이유로, 정제 또는 정화와 달리 합금의 경우 종래의 전자 빔 노의 상당한 단점이 된다. 첫째, 용해지로부터 높은 휘발성의 원소가 손실되는 것을 피할 수 없기 때문에, 용해 동안 합금의 전체 및 국부 화학적 조성이 제어하기 어려워진다. 둘째, 기화된 원소의 응축물은 시간의 흐름에 따라 노벽 상에 쌓이는 경향이 있어서, 용해물로 다시 적하(drop)될 수 있고, 이로써 용해물이 개재물로 오염되고 용해 화학에 국부적 변동이 발생할 수 있다.

[0026] 어떠한 특정 이론에도 구애받지 않고, 본 발명의 발명자는 종래의 전자 빔 용해로에 대한 앞서 언급된 단점이 종래의 실질적으로 선형인 전자 빔이 상기 전자 빔 노 내에서 가공될 물질에 미치는 작용 때문이라고 생각한다. 도 1의 설명과 관련하여 앞서 기재된 바와 같이, 종래의 전자 빔 저온 노상 용해 기법은 실질적으로 선형인 전자 빔을, 노 내부로 도입되는 원 물질을 용해하는 데, 그리고 용해된 물질이 저온 노상을 따라 흐르고, 상기 저온 노상에서 넘쳐, 주조 주형 내로 흐르도록, 용해된 물질의 온도를 유지하는 데 모두 사용한다. 이러한 노는 복수의 전자 빔 공급원을 포함하고, 여기서 각각의 공급원은 실질적으로 점원(point source)인 실질적으로 선형

인 전자 빔을 발생시킨다. 표적 영역 전체에서, 물질을 용해하고 용해된 물질이 적절하게 흐르도록 하기 위해 필요한 평균 온도에 도달하도록, 집중적인 전자 집중의 이러한 "점(point)"은 가열될 영역에서 빠르게 래스터링되어야 한다. 그러나 선형 전자 빔의 점원의 속성 때문에, 전자 빔이 합금에 충돌하는 스팟(spot)이 극도로 높은 온도까지로 가열된다. 이러한 국부적으로 집중적인 가열 현상이, 노 내부에서 전자 빔이 고형 또는 용해된 합금과 충돌하는 특정 스팟으로부터 발산되는 가시적 백색 복사선으로서 관찰될 수 있다. 노 챔버 내에 유지되는 고 진공과 함께, 이들 스팟에서 발생하는 집중적인 과열 효과가, 합금 내의 비교적 휘발성인 원소를 쉽게 증발시키고, 휘발성 원소의 과도한 증발 및 이에 수반되는 챔버 벽 상의 응축을 야기한다. 앞서 언급된 바와 같이, 이러한 응축은 응축된 물질이 용해된 합금으로 적하됨에 따른 배쓰(bath) 오염의 위험을 가지며, 이는, 예를 들어, 주형 잉곳에 현저한 조성적 불균일(compositional heterogeneity)을 초래할 수 있다.

[0027] 본원에 기재되는 전자 빔 용해로에 대한 개선된 설계는 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기, 가령 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(wire-discharge ion plasma electron emitter)를 이러한 노에서 전자 공급원의 적어도 일부로서 이용한다. 본원에서 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 예시적 이온 플라스마 전자 방출기로서 기재되었지만, 본 발명에서 그 밖의 다른 적합한 이온 플라스마 전자 방출기(가령, 비-와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기)가 사용될 수 있음이 이해될 것이다. 본원에서 사용될 때, 용어 "이온 플라스마 전자 방출기" 및 "와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기"가, 양으로 대전된 이온을 캐소드로 충돌시키고, 이로써, 상기 캐소드로부터 2차 전자의 필드가 방출됨으로써, 비교적 넓고 비선형의 전자 필드를 발생시키는 장치를 지칭한다. 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 발생하는 전자 빔은 선형 빔이 아니고, 대신, 표적에 충돌할 때 2차원 영역을 커버하는 전자의 3차원 필드, 즉, "플러드(flood)"이며, 상기 커버되는 2차원 영역은, 실질적으로 선형의 전자 빔을 표적에 충돌시킴으로써 커버되는 작은 점에 비교할 때 매우 넓다. 따라서 본원에서, 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 발생하는 전자 필드를, 전자 빔 용해로에서 사용되는 종래의 전자 검에 의해 발생하는 상대적으로 훨씬 더 작은 접촉점에 비교할 때, "대면적(wide-area)" 전자 필드라고 지칭한다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는 종래 기술에서 알려져 있으며, 다양하게, 가령, "와이어 이온 플라스마(WIP) 전자" 건 또는 방출기, "WIP 전자" 건 또는 방출기, 다소 혼란스럽게는, (장치의 특정 실시예 내 플라스마-발생 와이어 전극의 선형 속성을 참조하여) "선형 전자 빔 방출기"라고 지칭된다.

[0028] 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는 다양한 설계로 이용 가능하지만, 이러한 모든 방출기는 특정 기본 설계 속성을 공유한다. 이러한 방출기 각각은, 양이온을 포함하는 플라스마를 발생시키기 위한 기다란 와이어 애노드의 형태로 된 양의 이온 소스를 포함하는 플라스마 또는 이온화 영역과, 상기 와이어에 의해 발생하는 양이온을 가로채도록 이격되어 위치하는 캐소드를 포함한다. 높은 음 전압이 캐소드에 인가되어, 와이어 양이온 공급원에 의해 발생된 플라스마 내 양이온의 조각이 캐소드 표면쪽으로 가속되어 상기 표면과 충돌하여, 캐소드로부터 2차 전자가 방출된다("1차" 전자는 플라스마 내에 양이온과 함께 존재함). 캐소드 표면으로부터 생성된 2차 전자가, 캐소드와 충돌하는 양이온 플라스마의 3차원 형태를 갖는 비선형 전기장을 형성한다. 그 후, 2차 전자가 캐소드의 인접부에서 애노드 쪽으로 다시 가속되며 방출기 내 저압 가스를 통과하는 과정에서 몇 번의 충돌을 겪는다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 다양한 구성요소를 적절하게 설계하고 배열함으로써, 활성의(energetic) 2차 전자의 넓은 필드가 캐소드에서 형성될 수 있고, 방출기로부터 표적 쪽으로 가속될 수 있다. 도 2는 와이어-방전 플라스마 이온 전자 방출기의 구성요소에 대한 단순화된 도시이며, 여기서 전류가 낮은 와이어 애노드(12)로 인가되어, 플라스마(14)를 발생시킬 수 있다. 플라스마(14) 내 양이온(16)은 음으로 대전된 캐소드(18) 쪽으로 가속되어, 충돌하고, 대면적 2차 전자 클라우드(electron cloud, 20)를 해방시키며, 상기 전자 클라우드는, 전극들 간 전기장의 작용에 의해, 애노드(12) 쪽으로 가속되어, 표적을 향한다.

[0029] 본 발명에 따르는 하나의 한정하지 않는 실시예에 따르면, 전자 빔 용해로의 형태로 된, 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치는 진공 챔버(용해 챔버)와, 상기 진공 챔버 내에 배치되고 용해된 물질을 보유하기에 적합한 노상(hearth)을 포함한다. 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 진공 챔버 내에, 또는 상기 진공 챔버에 인접하게 배치되며, 방출기에 의해 발생된 비선형이고 대면적의 전자 필드를 챔버 내부로 지향시키도록 위치한다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가, 전기 전도성 금속 물질을 상기 물질의 용해점까지로 가열하기에 충분한 에너지를 갖는 비선형 전자 필드를 생성한다. 주형, 또는 그 밖의 다른 구조 또는 분무 장치가 챔버와 연통되도록 배치되고, 노상으로부터 물질을 수용하도록 위치되고 구성된다. 종래의 전자 빔 용해로를 이용해 용해될 수 있는 임의의 물질, 가령, 티타늄, 티타늄 합금, 텅스텐, 니오븀, 탄탈럼, 백금, 팔라듐, 지르코늄, 인듐, 니켈, 니켈합금, 철, 철합금, 코발트, 및 코발트합금을 용해하도록 노가 사용될 수 있다.

- [0030] 본 발명에 따르는 전자 빔 용해로의 실시예는, 전기 전도성 물질, 또는 그 밖의 다른 합금 첨가제를 진공 챔버로 도입시키기에 적합한 하나 이상의 물질 공급기를 포함할 수 있다. 중력에 의해 물질이, 고정 또는 용해된 형태로, 노상으로 흘러내릴 수 있도록, 공급기는 적어도 노상 영역 위의 위치에서, 물질을 진공 챔버로 도입시키는 것이 바람직하다. 공급기 유형은, 예를 들어, 막대 공급기 및 와이어 공급기를 포함할 수 있고, 선택된 공급기 유형은 노에 대한 특정 설계 요건에 따라 달라질 것이다. 본 발명에 따르는 노의 특정 실시예에서, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 방출되는 전자 필드가 상기 공급기에 의해 챔버 내로 도입되는 물질과 적어도 부분적으로 충돌하도록, 상기 물질 공급기, 및 노의 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기들 중 적어도 하나가 배치된다. 공급기에 의해 진공 챔버로 도입되는 물질이 전기적으로 전도성인 경우, 충분한 세기를 갖는 전자 필드라면, 물질을 가열하고 용해시킬 것이다.
- [0031] 본 발명에 따르는 용해로의 실시예에 포함된 노상은, 종래 기술의 다양한 노상 유형 중에서 선택될 수 있다. 예를 들어, 노는, 저온 노상, 또는 더 구체적으로, 예를 들어 수냉각식 구리 저온 노상을 진공 챔버 내에 포함함으로써, 전자 빔 저온 노상 용해로의 속성을 가질 수 있다. 해당업계 종사자에게 알려져 있다시피, 저온 노상은, 노상 내 용해된 물질이 노상 표면으로 결빙하고, 보호 층을 형성하도록 하는 냉각 수단을 포함한다. 또 다른 일례로서, 노상은 노에서 용해되는 합금으로 도금된 또는 상기 합금으로 제조된 노상인 "자생적 (autogenous)" 노상일 수 있으며, 이 경우, 용락(burn-through)을 방지하기 위해, 노상의 바닥 표면도 수냉각될 수 있다.
- [0032] 진공 챔버에 포함되는 특정 노상은 용해 물질 보유 영역을 포함할 수 있고, 진공 챔버와 유체 연통된 주조 또는 분무 장치로 전달되기 전에 상기 용해 물질 보유 영역에 용해된 물질이, 특정 체류 시간 동안 위치한다. 본 발명에 따르는 노의 특정 실시예에서, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 방출되는 전자 필드가 용해 물질 보유 영역에 적어도 부분적으로 충돌하도록, 노상 및 노의 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기들 중 하나 이상이 배치된다. 이러한 방식으로, 물질을 용해 물질 보유 영역 내에서 용해된 상태로 유지하도록 전자 필드가 인가될 수 있고, 또한 전기장의 가열 동작은 용해된 물질을 탈기하고 정제하도록 기능할 수 있다.
- [0033] 본 발명에 따르는 노의 특정한 비한정적 실시예는 용해 물질을 주조하기 위한 주형을 포함한다. 주형은 종래 기술에서 알려진 적합한 주형일 수 있으며, 가령, 정적 주형(static mold), 회수 주형(withdrawal mold), 또는 연속 주조 주형일 수 있다. 대안적으로, 노는, 예를 들어, 용해된 물질로부터 파우더형 물질을 생산하기 위한 분무 장치를 포함하거나, 분모 장치와 연계될 수 있다.
- [0034] 본 발명에 따르는 전기 빔 용해로의 한 가지 특정한 비한정적 실시예가 진공 챔버와, 상기 진공 챔버 내에 배치되는 노상을 포함하고, 여기서 노상은 용해 물질 보유 영역을 포함한다. 노는 진공 챔버 내에 또는 상기 진공 챔버에 인접하게 배치되는 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기를 더 포함한다. 방출기에 의해 발생하는 전자 필드가 용해 물질 보유 영역에 적어도 부분적으로 충돌하도록, 상기 노상과 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 배치된다. 회수 주형은 진공 챔버와 연통되고, 노상으로부터 용해된 물질을 수용하도록 위치한다. 하나 이상의 공급기가 노 내부에 포함되는데, 적어도 상기 노상 영역 위의 위치에서 물질을 진공 챔버로 도입하도록 구성된다.
- [0035] 적합한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가, 본 발명에 따르는 장치와 연결되어 사용될 수 있다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 적합한 실시예가, 예를 들어, 미국 특허 제4,025,818호, 제4,642,522호, 제4,694,222호, 제4,755,722호, 및 제4,786,844호에 기재되어 있고, 상기 미국 특허들의 전체 내용은 본원에서 참조로서 포함된다. 적합한 방출기의 예로는, 노의 진공 챔버 내부로 지향될 수 있고 노 챔버 내에 위치하는 전기 전도성 공급 물질을 원하는 온도까지 가열할 비선형의 대면적 전자 필드를 발생시킬 수 있는 방출기가 있다.
- [0036] 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 하나의 실시예에서, 상기 방출기는 플라스마 영역 및 캐소드 영역을 포함한다. 플라스마 영역은, 양이온을 포함하는 플라스마를 생성하기에 적합한 하나 이상의 기다란 와이어 애노드를 포함한다. 상기 캐소드 영역은, 캐소드를 음으로 대전시키기에 적합한 고전압 전력 공급기와 전기적으로 연통되는 캐소드를 포함한다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기에서, 플라스마를 발생시키기 위해 사용되는 전극은, 플라스마 영역의 길이 방향을 따라 위치하는 하나의 와이어 또는 복수의 와이어일 수 있다. 양이온이 충돌하는 캐소드의 적어도 일부분이, 전자를 발생시키기에 적합한 물질로 구성된다. 방출기의 캐소드 영역에 배치된 특정 비제한적 실시예는, 전자의 발생을 촉진시키기 위한 높은 용해점과 낮은 일함수를 갖는 인서트(insert), 가령, 몰리브데넘 인서트를 포함할 수 있다. 전극과 전극 사이의 전기장의 영향 하에서, 와이어 애노드에 의해 발생하는 플라스마 내 양이온이 캐소드 쪽으로 가속되어 충돌하도록, 상기 캐소드와 애노드는 서로에



대해 위치하여, 캐소드로부터 대면적의 2차 전자 필드를 방출시킨다.

[0037] 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 특정 비제한적 실시예는, 노 진공 챔버의 벽에서 개방되어 있는 하나 이상의 적합한 전자 투과성 창(electron transmissive window), 가령, 얇은 전자 투과성 티타늄 또는 알루미늄 박막(foil)을 포함한다. 전자 투과성 창을 구성할 수 있는 대안적 물질은, 예를 들어, BN, 다이아몬드, 및 그 밖의 다른 낮은 원자 번호 원소로 구성된 특정 물질을 포함한다. 본원에서 설명될 때, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 또 다른 실시예가 전자 투과성 창을 포함하지 않으며, 이 경우, 방출기의 플라스마 영역은 용해 물질을 보유하는 진공 챔버와 유체 연통되어 있다. 어느 경우라도, 얻어진 대면적 전자 필드가 노 챔버로 들어가고, 상기 챔버 내 물질과 충돌할 수 있다. 전자 투과성 창이 전자 방출기의 내부를 진공 챔버로부터 분리하는 경우(이하에서 더 설명됨), 전자 필드가 전자 방출기로부터 진공 챔버로 투사될 때, 상기 전자 필드가 상기 창을 통과한다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 특정 비제한적 실시예에서, 캐소드에 전기적으로 연통된 고전압 전력 공급기가 20,000 볼트 이상의 음전압까지 캐소드에 전력을 공급한다. 상기 음전압은 플라스마 내 양이온을 캐소드 쪽으로 가속시키는 기능을 수행하고, 캐소드로부터 애노드 쪽으로 2차 전자 필드를 밀어내는 기능을 수행한다.

[0038] 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기 내 압력이 노 챔버 내 압력과 유의미하게 다른 경우, 전자 투과성 창이 필수적인데, 이 경우, 박막 창(foil window)이 차이나는 압력의 두 인접 영역들을 분리시키도록 기능한다. 비-가스 함유 전자 방출기, 가령, 열-이온 전자 빔 건에 비한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 이점은 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 플라스마 공급원으로 기능하도록 플라스마 영역 내에 가스를 포함해야 한다는 것이다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는 매우 낮은 가스압으로 동작할 수 있지만, 이러한 장치는 비교적 높은 가스압에서도 동작할 수 있다. 이와 반대로, 종래의 전자 빔 용해로는 일반적으로 극도로 낮은 진공 상태에서 동작하고, 이 경우, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기 내 가스층과 노 챔버 내 준진공 분위기를 분리하기 위해 전자 투과성 창이 필수일 것이다. 그러나 노 챔버 내부의 가스압을 종래의 선형(열-이온 방출기) 전자 빔 용해로의 극도로 낮은 수준 이상으로 증가시킴으로써, 노 챔버 내 휘발성 원소의 증발이 축소될 수 있는 것으로 보인다. 이들 종래의 압력 수준은  $10^{-3}$  내지  $7.5 \mu(10^{-3}$  내지 1Pa)의 범위 내이며,  $15 \mu(2Pa)$ 를 초과하지 않는 것이 일반적이다. 노 챔버 내 압력을 종래 수준 이상으로 증가시키는 것, 즉,  $40 \mu(5.3Pa)$ 를 초과하는 압력까지로, 또는 더 바람직하게는  $300 \mu(40Pa)$ 를 초과하는 압력까지로 증가시키는 것이, 노 내부의 용해된 물질의 표면에서의 압력을 증가시키고, 이로써, 바람직하지 않은 증발에 대한 구동력이 감소될 수 있다. 예를 들어, H. Duval 등의 "Theoretical and Experimental Approach of the Volatilization in Vacuum Metallurgy"에 제공된 데이터에 의하면, 4.27Pa(35mTorr) 아르곤에 비해, 66.7Pa(500mTorr) 아르곤에서 크롬 기상 수송의 상당한 감소가 있음을 알 수 있다. 와이어-방전 플라스마 이온 전자 방출기는 이미 (통상, 헬륨의) 부분 가스압 분위기가 작용될 것을 필요로 하기 때문에, 본 발명은 와이어-방전 플라스마 이온 전자 방출기와 노 챔버 모두가 실질적으로 동일한 압력에서 동작하는 것이 가능함을 고려하며, 여기서 압력은, 전자 방출기가 동작하기에 충분히 높으며, 종래의 전자 빔 노에서 압력보다도 높아서, 노 챔버 내에서 바람직하지 않은 휘발 반응이 감소된다. 이러한 경우, 방출기와 노 챔버 내 가스 분위기가 실질적으로 동일하도록, 전자 투과성 창이 생략될 수 있다. 또는, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 또 다른 실시예에서, 방출기에 의해 발생된 전자가, 전자 투과성이며 기체-불침투성인 창(gas-impermeable window)을 통과하고, 여기서 방출기 내부의 이온화 가능한 가스(ionizable gas)의 압력이 전자 방출기 동작을 위해 적합하고, 노 챔버는 전자 빔 노 내의 종래 압력보다 큰 압력으로 동작하고, 바람직하지 않은 휘발 반응을 최소화 또는 감소시키는 데 적합하다. 집중적인 가열점을 생성하지 않는 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기와 전자 빔 노의 종래의 압력보다 높은 노 챔버 압력을 이용함으로써, 바람직하지 않은 원소의 기화가 최적화될 것이다.

[0039] 전자 빔 용해로의 가능한 실시예 및 본 발명에 따르는 노와 함께 사용되기 유용한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 가능한 실시예에 대한 추가적인 설명이 이하에서 제공된다.

[0040] 도 3은 본 발명에 따르는 개선된 전자 빔 용해로의 한 가지 가능한 비제한적 실시예를 개략적으로 도시한다. 노(210)는 챔버 벽(215)에 의해 적어도 부분적으로 형성되는 진공 챔버(214)를 포함한다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)는 챔버(214) 외부 인근에 위치한다. 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)는 대면적 전자 필드(218)를 챔버(214)의 내부로 투사한다. 도 1에 도시된 종래의 노(110)와 유사하게, 막대 공급기(bar feeder, 219)에 의해, 합금 막대(alloy bar, 220)가 챔버(214) 내부로 도입된다. 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)의 대면적 전자 필드(218)를 막대(220)로 충돌시킴으로써, 용해 합금(226)이 생성된다. 막대(220)로부터 용해된 용해 합금(226)이 수냉각식 구리 노상(water-cooled copper hearth, 224) 내부로 적하(drop)되고, 특정 체류 시간 동안 상기 노상(224)에 위치하며, 여기서 방출기(216)에 의해 발생되는



대면적 전자 필드(wide-area electron field)들 중 하나 이상에 의해 가열, 탈기, 및 정제된다. 용해 합금(226)은 마지막으로 노상(224)으로부터 구리 주형(230)으로 적하되고, 용해지(molten pool, 231)를 형성한다. 용해지(231)는 주형(230)에서 최종적으로, 그리고 점진적으로 고형화되어, 잉곳(232)을 형성한다. 대면적 전자 필드(218) 중 적어도 하나는, 용해지(231) 내 용해된 합금을, 잉곳(232)을 형성하는 고형화 속도를 제어하기에 바람직한 방식으로 가열하는 것이 바람직하다.

[0041] 앞서 설명된 바와 같이, 노(210)의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)는, 종래의 전자 빔 노에서 사용되는 전자 빔 건에 의해 생성되는 실질적으로 선형의 빔의 스팟 커버리지에 비해 대면적(wide area)을 커버하는 활성 전자의 필드 또는 "플러드(flood)"를 발생시키도록 설계된다. 전자 필드 방출기(216)가 대면적에 걸쳐 전자를 확산시키고, 노(210) 내에서 용해될 및/또는 용해 상태로 유지될 물질에 충돌시킨다. 상기 방출기가 생성하는 전자 필드가 노 챔버 내 대면적을 커버할 것이기 때문에, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는 종래의 전자 빔 노에 비해, 전자 빔 용해로 내에 훨씬 고른 온도를 유지할 것이며, 또한 고도로 집속된 전자 스팟을 래스터링할 필요성을 없앤다. 그럼에도 불구하고, 본 발명에 따르는 전자 빔 노의 특정 실시예는, 전기장을 발생시키는 구성요소, 또는 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 발생된 전자 필드를 원하는 대로 조향하기 위한 그 밖의 다른 적합한 구성요소를 포함할 수 있다. 예를 들어, 노(210)에서 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)에 의해 생성된 넓은 필드를 좌우로 래스터링하여, 노상(224)의 변부에 추가적인 열을 제공하는 것이 바람직할 수 있다. 비교적 넓은 면적을 전자의 점원으로 래스터링하는 것이 아니라, 활성 전자의 필드에 의해 잠기(flooding) 함으로써, 종래의 전자 빔 용해로를 이용할 때의 실질적으로 선형인 전자 빔과 연계된 국부 집중적인 가열 효과(가령, 단위 면적당 전력)가 상당히 감소된다. 이는, 비교적 극도로 높은 온도의 점이 발생되지 않기 때문에, 비교적 휘발성인 합금 원소가 원치 않게 증발되는 영역을 제거, 또는 적어도 실질적으로 감소시킨다. 이로 인해, 부분적으로 또는 전적으로, 조성적 제어(compositional control)와, 종래의 전자 빔 노 설계의 내재적인 오염 문제가 피해진다.

[0042] 앞서 언급된 바와 같이, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 다양한 실시예가, 양이온 플라스마를 발생시키는 하나 이상의 기다란 와이어 애노드를 포함하는 것이 일반적이며, 여기서 플라스마가 캐소드에 충돌하여, 2차 전자의 필드가 발생되고, 상기 2차 전자의 필드는 가열될 표적에 충돌하도록 가속될 수 있다. 그 밖의 다른 무관한 적용예에서 이전에 사용된 와이어-방전 이온 플라스마 방출기의 한 가지 알려진 설계의 개략적 표현이 도 4에 도시되어 있다. 이 방출기(310)는, 양이온 플라스마가 생성되는 이온화 또는 플라스마 영역(314)과, 캐소드(318)를 포함하는 캐소드 영역(316)을 포함한다. 상기 플라스마 영역(314)은 저압의 이온화 가능한 가스로 충전되고, 상기 가스는 플라스마 영역에서 이온화되어, 양이온-함유 플라스마를 생성할 수 있다. 예를 들어, 이온화 영역(314)이, 예를 들어, 약 20mTorr의 헬륨 가스로 충전될 수 있다. 작은 직경의 기다란 와이어 애노드(319)가 플라스마 영역(314)의 길이 방향을 따라 통과한다. 전력 공급기(322)에 의해, 와이어 애노드(319)에 양전압이 인가되고, 이로써, 헬륨 가스가 헬륨 양이온 및 자유 전자("1차" 전자)를 갖는 플라스마로 이온화되는 것이 개시된다. 헬륨 가스의 이온화가 개시되면, 전압을 얇은 와이어 애노드(319)에 인가시킴으로써, 플라스마가 지속된다. 플라스마 내에서 양으로 대전된 헬륨 이온이 이온화 챔버(314)로부터, 높은 음 전기 전위로 유지되는 추출 격자(extraction grid, 326)를 통해 추출되고, 고전압 접을 통해 캐소드 영역(316)으로 가속되는데, 여기서 플라스마의 양이온이 높은 음전압 캐소드(318)에 충돌한다. 상기 캐소드(318)는, 예를 들어, 코팅된, 또는 코팅되지 않은 금속 또는 합금일 수 있다. 캐소드(318)로 헬륨 이온이 충돌함으로써, 캐소드(318)로부터 2차 전자가 방출된다. 고전압 접(328)이 추출 격자(326)를 통해 2차 전자를 헬륨 양이온의 이동 방향과 반대 방향으로 가속시켜, 플라스마 영역(314)으로 보내고, 그 후, 비교적 전자 투과성인 물질로 만들어진 얇은 금속성 박막 창(329)을 통과시킨다. 앞서 언급된 바와 같이, 전자 방출기 및 노 챔버 내 상대적 가스압에 따라, 박막 창(329)을 생략하는 것이 가능할 수 있고, 이 경우, 방출기에 의해 발생하는 전자는 노 챔버로 직접 들어갈 것이다.

[0043] 와이어 전극(319) 및 캐소드(318)는 양으로 대전된 헬륨 이온이 캐소드(318) 쪽으로 이동하는 것을 더 잘 촉진시키도록 설계 및 배치될 수 있다. 또한 캐소드(318) 및 추출 격자(326)는 격자(326)를 통과하는 2차 전자 투과를 최대화하고, 박막 창(329)(존재할 경우)을 통한 침투에 적합한 빔 프로파일(beam profile)을 갖도록 설계 및 배열될 수 있다. 방출기(310)를 빠져나가는 활성 전자의 대면적 필드는, 박막 창(329) 반대편에, 그리고 용해로의 진공 챔버 내에 위치하는 표적에 충돌하도록 지향될 수 있다. 또한, 방출기(310)로부터의 전자 투과를 최대화하기 위해 창(329)의 크기는 가능한 얇게 정해질 수 있다. 방출기(310) 내에 연진공(soft vacuum) 분위기를 유지하면서 충분한 전자 투과를 허용하는 두께를 갖는 알루미늄 유형, 또는 티타늄 유형의 박막이, 필요에 따라 박막 창(329)으로서 사용될 수 있다. 장치에서 창으로서(존재할 경우) 사용될 수 있는 그 밖의 다른 적절하게 강력하고 허용 가능한 전자 투과성 물질이 해당업계 종사자에게 자명할 것이다. 본원에서 일반적으로 언급된 바

와 같이, 방출기(310)의 내부와 표적이 위치하는 진공 챔버 간 압력차가 유의미하지 않은 경우, 창(329)이 생략될 수 있다.

[0044] 본 발명에 따르면, 활성 전자를 전자 빔 용해로의 진공 챔버로 공급하기 위해, 실질적으로 선형인 전자 빔을 발생시키는 전자 빔 건을 대체하여, 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기, 가령, 방출기(310)가 제공될 수 있다. 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따르는 전자 빔 용해로(330)의 한 가지 비제한적 실시예가 진공 챔버(311) 인근에 위치하는 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(310)를 포함한다. 대면적 전자 필드(332)는 필름 창(329)을 통해 방출기(310)를 빠져나와, 노상(338) 내 용해된 합금(334)의 표면의 적어도 일부 영역을 잠식해, 합금을 가열하여, 이를 용해 상태로 유지할 수 있다. 노상(336)에서 합금에 충돌하는 전자가 비교적 대면적에 걸쳐 확산되기 때문에, 임의의 특정 국부 영역으로 용해된 물질에 집중되는 에너지는, 문제되는 수준으로 합금으로부터의 원소의 휘발 반응을 야기할 정도로 충분히 크지 않으며, 따라서, 종래의 전자 빔 용해로를 사용할 때 내재적인 합금 오염 및 불균일성 문제가 감소되거나 제거된다. 앞서 언급된 바와 같이, 방출기(310)와 진공 챔버(311) 간 작동 압력 차이가 유의미하지 않은 경우, 필름 창(329)은 생략될 수 있다. 또한, 앞서 언급된 바와 같이, 원치 않는 원소 기화를 추가로 감소 또는 제거하기 위해, 진공 챔버(311)가 종래의 압력보다 높은 압력에서 동작하는 것이 바람직하며, 이러한 경우, 노 챔버로부터 전자 방출기를 구분하는 필름 창에 대한 필요성은 다시 설계에 내재된 특정 압력차에 따라 달라진다. 선택사항으로서, 대면적 전자 필드를 자기적으로 조향하기 위한 구성요소(340)가 제공되어, 진공 챔버(311) 내 용해 가공의 추가로 개선된 제어 가능하게 할 수 있다.

[0045] 도 5는 단일 전자 방출기를 포함하는 본 발명에 따르는 와이어-방전 이온 플라스마 전자 용해로의 하나의 실시예의 단순화된 도시를 제공하지만, 해당업계 종사자라면 이러한 장치의 실제 또는 대안적 실시예가 복수의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기를 가질 수 있음이 자명할 것이다. 또한 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 이러한 장치에 포함되어, (1) 가령 합금 막대나 와이어의 형태로 노로 도입되는 원 물질을 용해시키고, (2) 노상에 위치하는 용해된 합금을 합금 용해 온도 이상의 온도로 유지하며(그리고 아마도 상기 용해된 합금을 탈기 및/또는 정제하며), (3) 점진적으로 전진하는 주조 잉곳의 표면 상의 용해지의 희망 영역을 용해 상태로 유지하며, 이로써, 원하는 방식으로 잉곳 고형화 속도에 영향을 미칠 수 있음도 자명할 것이다. 또한, 특정 실시예에서, 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가, 종래의 실질적으로 선형인 전자 빔을 발생시키는 하나 이상의 전자 빔 건과 함께 사용될 수 있다.

[0046] 도 6 및 7은 본 발명에 따르는 전자 빔 용해로의 하나의 실시예에서, 활성 전자의 공급원으로서 사용되기에 적합할 수 있는 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(510)의 한 가지 가능한 비제한적 실시예와 관련된 추가 세부사항을 제공한다. 도 6은 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기 실시예(510)의 투시 단면도이다. 도 7은 방출기(510)의 동작을 단순화된 방식으로 도시한 개략도이다. 방출기(510)는 캐소드 영역(511), 이온화 또는 플라스마 영역(514), 및 전자 투과성 박막 창(515)을 포함하는 전기 접지되는 합체(enclosure, 513)를 포함한다. 기다란 와이어 전극(516)은 이온화 영역(514)의 길이 방향을 통해 뻗어 있다. 박막 창(515)은 챔버(513)로 전기 연결되어 있고, 따라서 챔버(513) 내부의 전자를, 화살표 "A"의 일반적인 방향으로 가속시켜 상기 챔버(513)를 빠져나가도록 하는 애노드를 형성한다. 챔버(513)는 저압(가령, 1-10mTorr)의 헬륨 가스로 충전되고, 가스 공급기(517)에 의해 가스를 공급받는다. 가스 공급기(517)는, 밸브(521)를 통과하는 도관(519)에 의해 합체(513)로 연결된다. 도관(524)에 의해 챔버(513)로 연결된 펌프(523)에 의해 챔버(513) 내에서 연진공(soft vacuum) 환경이 유지된다.

[0047] 캐소드 영역(511)이 캐소드(518)를 포함하고, 캐소드(518)는 하부 표면에 장착된 인서트(520)를 포함한다. 상기 인서트(520)는, 예를 들어, 몰리브데넘으로 구성될 수 있지만, 적절하게 높은 2차 전자 방출 계수를 갖는 임의의 물질로 구성될 수 있다. 캐소드(518)는 파셴 브레이크다운(Paschen breakdown)을 방지하기 위해 합체(513)의 벽으로부터 균일하게 이격되어 있다. 캐소드(518)는, 절연체(526)와 저항체(528)를 통과하는 케이블(525)에 의해 고전압 전력 공급기(522)로 연결되어 있다. 전력 공급기(522)는 높은 음 전위, 가령, 200-300kV를 캐소드(518)로 공급한다. 캐소드(518) 및 인서트(520)는, 예를 들어, 도관(527)을 통해 오일 또는 또 다른 적합한 냉각 유체를 순환시킴으로써, 적절하게 냉각될 수 있다.

[0048] 이온화 영역(514)은 전기적으로도 기계적으로도 연결되어 있는 복수의 얇은 금속성 리브(rib, 530)를 포함한다. 각각의 리브(530)는, 와이어 전극(516)이 이온화 챔버(514)를 통과하도록 하는 중앙 컷-아웃 영역을 포함한다. 캐소드(518)를 바라보는 리브(530)의 측이 추출 격자(534)를 형성한다. 모든 또는 일부 리브(530)의 마주보는 측이 전자 투과성 박막 창(515)용 지지 격자(536)를 제공한다. 이온화 영역(514)으로부터 열을 제거할 수 있도록, 리브(530)를 통과하여, 또는 상기 리브(530) 인근에서 냉각 유체를 순환시키기 위해 냉각 채널(540)이 제공

될 수 있다. 전자 투과성 박막 창(515)은 예를 들어 알루미늄 또는 티타늄 박막으로 구성될 수 있고, 격자(536) 상에 지지되고, 0-링, 또는 함체(513) 내부에 고진공 헬륨 가스 분위기를 유지하기에 충분한 그 밖의 다른 구조물에 의해 함체에 대해 밀봉된다. 방출기(510)의 특정 실시예에서, 가령, 가압된 질소를 이용해 박막 창(515)을 냉각시키기 위해 가스 다기관(gas manifold)이 제공된다. 본원에서 일반적으로 언급될 때, 방출기(510)의 챔버(513)의 내부와 전자 필드의 표적을 갖고 있는 챔버 간 압력차가 유의미하지 않은 경우 창(515)은 생략될 수 있다.

[0049] 전기 제어 장치(548)가 커넥터(549)를 통해 와이어 전극(516)으로 연결된다. 제어 장치(548)의 활성화 시, 와이어 전극(516)이 높은 양의 전위까지로 여기되고, 이온화 영역(514) 내 헬륨이 이온화되어, 헬륨 양이온을 포함하는 플라스마가 생성될 수 있다. 플라스마가 이온화 영역(514)에 개시되면, 캐소드(518)는 전력 공급기(522)에 의해 여기된다. 캐소드(518)로부터 플라스마 영역(514)으로 확장되는 전기장에 의해, 이온화 영역(514) 내에서의 헬륨 양이온이 캐소드(518)에 전기적으로 당겨진다. 헬륨 양이온이 필드 라인을 따라, 추출 격자(534)를 통과해, 캐소드 영역(511) 내부로 이동한다. 캐소드 영역(511)에서, 헬륨 양이온은 활성화된 캐소드(518)에 의해 발생된 전기장의 전체 전위를 넘어 가속되며, 시준된 양이온 빔으로서 캐소드(518)에 힘차게 충돌한다. 충돌하는 양이온이 인서트(520)로부터 2차 전자를 해방한다. 인서트(520)에 의해 발생하는 2차 전자 필드가, 헬륨 양이온의 이동 방향과 반대 방향으로, 와이어 전극(516) 쪽으로, 박막 창(515)(존재하는 경우)을 통과하도록 가속된다.

[0050] 압력의 변화가 헬륨 이온 플라스마의 밀도에 영향을 미칠 수 있고, 따라서 캐소드(518)에서 발생하는 2차 전자 필드의 밀도에 영향을 미칠 수 있기 때문에, 챔버(513) 내 실제 가스압을 모니터링하기 위한 수단이 제공될 수 있다. 밸브(521)를 적절하게 조절함으로써, 초기 압력이 함체(513) 내에 설정될 수 있다. 플라스마 영역(514)에서 양이온 함유 플라스마가 개시되면, 챔버(513) 내 순간 정적 압력(instantaneous quiescent pressure)을 간접적으로 모니터링하기 위해, 전압 모니터(550)가 제공될 수 있다. 전압의 상승은 낮아진 챔버 압력을 나타낸다. 전압 모니터(550)의 출력 신호가 사용되어, 밸브 제어기(552)를 통해 밸브(521)를 제어할 수 있다. 또한 제어 장치(548)에 의해 와이어 전극(516)으로 공급되는 전류가 전압 모니터(550)의 신호에 의해 제어된다. 가스 공급 밸브(521)와 제어 장치(548)를 제어하기 위해 전압 모니터(550)에 의해 발생하는 신호를 이용함으로써, 안정적인 전자 필드가 방출기(510)로부터 출력될 수 있다.

[0051] 캐소드(518)에 충돌하는 양이온의 밀도에 의해 방출기(510)에 의해 발생하는 전류가 결정될 수 있다. 제어 장치(548)를 통해 와이어 전극(516)에 걸리는 전압을 조정함으로써, 캐소드(518)에 충돌하는 양이온의 밀도가 제어될 수 있다. 전력 공급기(522)를 통해 캐소드(518)에 걸리는 전압을 조정함으로써, 캐소드(518)로부터 방출되는 전자의 에너지가 제어될 수 있다. 방출된 전자의 전류와 에너지 모두 독립적으로 제어될 수 있고, 이들 파라미터와 인가된 전압 간 관계가 선형이어서, 방출기(510)의 제어를 효과적이고 효율적으로 만든다. 이와 달리, 종래의 열-이온 전자 빔 건은, 빔 파라미터를 조정할 때 이에 대응하는 선형 방식으로 제어될 수 없다.

[0052] 도 8은 본 발명에 따르는 전자 빔 용해로의 하나의 실시예를 개략적으로 도시하며, 여기서 노(610)는, 도 6 및 7에서 도시되어 있고, 이들 도면과 관련하여 앞서 기재된 바와 같은 설계를 갖는 2개의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(614, 616)를 포함한다. 노(610)는 진공 챔버(620), 물질 공급기(material feeder, 622), 및 주조 또는 분무 장치(624)를 포함한다. 앞서 언급된 바와 같이, 전력선(626)에 의해, 방출기(614 및 616)의 동작을 위해 요구되는 전류가 방출기로 유입되고, 방출기(614, 616)와 진공 챔버(620) 간 경계부는, 방출기(614, 616)에 의해 발생하는 전자 필드(638)가 진공 챔버(620)로 들어오도록 하는 전자 투과성 박막 창(634, 636)을 포함한다. 방출기(614, 616)와 진공 챔버 내 동작 압력이 서로 동일한 경우, 또는 유의미하게 다르지 않은 경우, 박막 창(634, 636)은 생략될 수 있다. 전자 필드(638)를 자기적으로 조향하기 위한 수단(639)이 진공 챔버(620) 내에 포함되어, 추가 공정 제어를 제공할 수 있다. 예를 들어, 저온 노상일 수 있는 노상(640)이 진공 챔버(620) 내에 배치된다. 동작 중에, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(614, 616)가 여기되고, 전자 필드(618)를 발생시킨다. 공급기(622)에 의해, 전기 전도성 공급 물질(644)이 진공 챔버(620)로 도입되고, 방출기(614)로부터 방출된 전자 필드(638)에 의해 용해되고, 노상(640)으로 적하(drop)된다. 방출기(616)에 의해 방출된 대면적 전자 필드(638)가 용해된 물질(642)이 노상(640)에 있는 동안 상기 용해된 물질(642)을 가열, 탈기, 및 정제한다. 용해된 물질(642)이 노상(640)을 따라 전진하고, 주조 또는 분무 장치(624) 내로 적하되며, 원하는 형태로 가공된다.

[0053] 이온 플라스마 전자 방출기의 다양한 비제한적 실시예, 가령, 앞서 언급된 본 발명의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 종래의 열-이온 전자 빔 건보다 더 높은 진공 압력에서 동작할 수 있다. 이러한 더 높은 압력에서의 용해로의 동작은, 용해되는 물질 내 휘발성 원소의 기화 반응을 감소시킬 수 있으며, 이는 이하에서 더



상세히 설명된다. 그러나 용해로 내 더 높은 증기압 상태에서라도 이들 휘발성 원소 중 임의의 원소가 용해된 물질로부터 증발되고 용해로의 상대적으로 저온인 벽에 응축되는 경우, 형성된 응축물이 챔버 벽으로부터 분리되어 용해물로 떨어질 수 있다. 용해물로 떨어지는 응축물이 용해물을 개재물로 오염시키거나, 및/또는 용해 화학에 국부적인 변동을 발생시킬 수 있다. 본 발명의 발명자는 이온 플라스마 전자 방출기 용해로 및 그 밖의 다른 유형의 용해로에서 이러한 응축물의 형성을 방지 또는 억제하기 위한 장치 및 방법을 개발하는 것이 바람직할 것을 안다.

[0054] 따라서, 본 발명은 부분적으로, 이온 플라스마 전자 방출기(가령, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기)의 형태로 된 하나 이상의 보조 전자 방출기를 포함하는 장치에 관한 것이며, 여기서, 상기 보조 전자 방출기는, 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 하나 이상의 또 다른 이온 플라스마 전자 방출기(가령, 와이어-방전 이온 플라스마 방출기)를 포함하는 용해로와 함께 사용되도록 구성된다. 본 발명에 따르는 또 다른 비제한적 실시예는 이온 플라스마 전자 방출기(가령, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기)의 형태로 된 하나 이상의 보조 전자 방출기를 포함하는 장치에 대한 것이며, 상기 보조 전자 방출기는 하나 이상의 열-이온 전자 빔 건 및/또는 또 다른 용해 장치를 포함하는 용해로와 함께 사용되도록 구성된다. 본 발명에 따르는 보조 전자 방출기가 전자 공급원으로서 이온 플라스마 전자 방출기를 포함하기 때문에, 본원에서 보조 이온 플라스마 전자 방출기라고 일컬어지거나, 한 예시적 실시예에서, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기라고 일컬어진다. 해당업계 종사자라면, 본원을 읽은 후, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기 및 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 본원에서 상세히 언급되지만, 그 밖의 다른 임의의 적합한 이온 플라스마 전자 방출기 또는 보조 이온 플라스마 전자 방출기가 사용될 수 있고, 본원의 범위 내에 있음을 알 것이다. 또 다른 적합한 이온 플라스마 전자 방출기 및 그 밖의 다른 적합한 보조 이온 플라스마 전자 방출기의 예가 이하에서 더 상세하게 제공된다. 또한, 이하에서 언급될 때, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기 및 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 "와이어(wire)"는, 다양한 형태의 단면적 또는 단면도를 갖는 전자 필드를 형성하기 위한 임의의 적합한 형태(가령, 원형, 선형, 정사각형, 직사각형, 난형(ovate-shaped), 타원형, 또는 삼각형)로 형성될 수 있다.

[0055] 특정한 비제한적 실시예에서, 본 발명에 따르는 보조 전자 방출기가, 앞서 언급된 다양한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기와 동일하거나 유사한 방식으로 구성되고 기능하는 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기를 포함할 수 있다. 예를 들어, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는, 양이온을 포함하는 플라스마를 생성하도록 구성된 와이어 전극(가령, 기다란 와이어 애노드)을 포함하는 플라스마 영역과, 캐소드를 포함하는 캐소드 영역을 포함할 수 있으며, 상기 캐소드는 자신을 음으로 대전시키도록 구성된 고전압 전력 공급기로 전기적으로 연결되어 있다. 다양한 비제한적 실시예에서, 와이어 전극에 의해 발생하는 양이온이 캐소드 쪽으로 가속되어 캐소드에 충돌하여, 상기 캐소드로부터 전자를 해방시켜, 전자 필드(가령, 집중된 전자 필드)를 생성하도록, 캐소드가 와이어 전극에 대해 위치할 수 있다. 상기 집중된 전자 필드(focused electron field)는 전자기적으로 "집속된 것" 및/또는 예컨대 전자석을 사용하여 용해 챔버의 적정 영역으로 지향된 것일 수 있다. 본원의 목적을 위해, "집속된 전자 필드"라는 기제는, 적어도 전자기적으로 집속된 후, 앞서 언급된 다양한 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 방출된 전자의 필드(이하, "대면적 전자 필드")의 단면적보다 작은 단면적을 갖는 필드를 의미한다. 전자 필드의 집속에 의해, 가령, 단위 면적당 더 높은 전자 밀도를 제공함으로써 더 높은 전력의 전자 필드가 만들어질 수 있다. 본원에서 전자 필드의 "단면적" 또는 "단면도"를 언급할 때, 단면은, 특정 순간에 다양한 전자 필드의 이동 경로에 실질적으로 수직인 방향으로 취해진 것임을 알 것이다.

[0056] 특정한 비제한적 실시예에서, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는, 앞서 언급된 다양한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기보다 높은 전력에서 동작할 수 있어서, 상기 다양한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기에 의해 발생하는 전력, 전자 밀도, 및 집중된 전자 필드와 비교할 때, 더 높은 전력, 더 높은 전자 밀도, 및/또는 더 집중된 전자 필드를 제공할 수 있다. 예시적 실시예에서, 캐소드가 더 높은 음전압까지 충전되는 경우, 캐소드를 떠나는 자유 전자의 더 높은 전자 에너지로 인해 전자 필드의 전자 에너지가 더 클 것이다. 덧붙이자면, 더 높은 전압이 애노드에 인가되는 경우, 애노드에서 생성되는 더 많은 수의 이온 때문에, 전자 필드의 전자 밀도가 더 커질 것이다. 또 다른 예시적 실시예에서, 더 높은 에너지 및 더 높은 밀도의 전자 필드를 생성하도록, 더 높은 전압이 애노드와 캐소드(음전압)에 인가될 수 있다. 그 후, 이 전자 필드는 전자기적으로 집속되거나, 및/또는 용해물의 부분으로 지향될 수 있다. 따라서 이러한 실시예의 집중된 전자 필드는 예를 들어 응축물, 용해물 내 응축물, 용해물 내 고형화된 부분, 및/또는 용해물 내 용해되지 않은 부분을 용해시키도록 사용될 수 있다. 또한 집중된 전자 필드는 진공 챔버의 다양한 영역에서, 용해로의 진공 챔버 내 용해된 물질을 적합한 온도로 유지하도록 사용될 수도 있다. 진공 챔버의 영역에서 용해물 내 응축물, 고형화된 부분, 및/또는 용해되지 않은 부분의 제한된 체류 시간 때문에, 더 높은 에너지, 더 높은 밀도, 및/또는 더 집중

된 전자 필드가 사용될 수 있다. 따라서 진공 챔버의 또 다른 영역으로 이동시키기 전에, 응축물, 고형화된 부분, 및/또는 용해되지 않은 부분을 용해시키는 것이 바람직하다. 또한, 보조 전자 방출기에 의해 발생된 집속된 전자 필드의 방향이 용해로의 진공 챔버 내 그 밖의 다른 임의의 적정한 영역으로 이동 및/또는 지향되어, 예를 들어, 특정 회망 표적에 충돌할 수 있도록, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 적합하거나 조향 가능할 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 용해지(231)의 고형화 운동(solidification kinetic) 및 이에 따라 가령 고형화되는 잉곳(232)의 특성에 바람직한 영향을 미치도록, 집속된 전자 필드가 형성 또는 고형화되는 잉곳의 영역에 충돌될 수 있다.

[0057] 해당업계 종사자라면, 본 발명의 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가, 예를 들어, 앞서 설명된 다양한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 임의의 적합한 특징을 포함할 수 있음을 알 것이다. 따라서 간략히 말하자면, 이러한 특징은 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기와 관련해 이 섹션에서 다시 구체적으로 언급되지 않는다. 앞서 설명된 도 1-8의 임의의 구성요소, 원소, 및/또는 부분과 동일한 도면번호를 갖는 도 9-15의 임의의 구성요소, 요소, 및/또는 부분은 서로 동일하거나 유사한 것이며, 동일하거나 유사한 구조 및/또는 기능을 가질 수 있다. 또한, 도 1-8에 기재된 다양한 예시적 실시예에 대해 앞서 기재된 구성요소, 원소, 및/또는 부분들 중 임의의 것이 도 9-15에 기재된 다양한 예시적 실시예와 결합하여 사용될 수 있다.

[0058] 하나의 비제한적 실시예에서, 도 9를 참조하면, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)가 용해로(210)의 진공 챔버(214) 내에, 또는 그 인근에 위치할 수 있다. 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)는 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)와 연계되어, 또는 독립적으로, 사용될 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)가 금속 물질의 막대(220)를 가열하고 용해시키도록 사용될 수 있으며, 하나 이상의 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)는 노상(224)의 용해된 금속 물질(226)을 가열하고 정제하도록 사용될 수 있다. 특정한 비제한적 실시예에서, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)는 진공 챔버(214)의 벽(215)에 형성되는 임의의 응축물을 용해시키도록, 및/또는 노상(224)에 존재하는 용해된 금속 물질 내에 있는, 응축물을 포함하여 임의의 고형화된 부분을 용해시키도록 사용될 수 있다. 또 다른 비제한적 실시예에서, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는 형성 또는 고형화되는 잉곳(232)의 용해지(231) 또는 그 밖의 다른 영역을 가열하도록 사용될 수 있다.

[0059] 따라서 다양한 비제한적 실시예에서, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)는, 챔버 벽(215)에 형성된 응축물을 선택적으로 용해시키고, 이에 따라, 챔버 벽(215)으로부터 고형 응축물이 분리된 용해된 물질(226)로 떨어질 가능성을 방지 또는 감소시키도록 구성될 수 있다. 또한 다양한 비제한적 실시예에서, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)는 추가적인 열을 제공하여, 노상(224)을 따르는 회망 영역에서 고형물(가령, 용해된 물질(226) 내 응축물)을 용해하거나, 및/또는 노상(224)을 따르는 하나 이상의 영역에서 용해된 물질(226)을 용해 상태로 유지하도록 할 수 있다.

[0060] 덧붙여, 다양한 비제한적 실시예에서, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)는 용해지(231)의 영역을 가열하고, 상기 용해지(231)의 고형화 운동(solidification kinetic) 및 잉곳(232)의 특성에 바람직한 영향을 미치도록 구성될 수 있다. 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)에 의해 용해지(231)로 방출되는 집속된 전자 필드의 적용이, 회수 동안 잉곳(232)의 표면 마감을 개선하고, 잉곳(232) 내 금속 파열(tearing)을 최소화하고, 및/또는 잉곳(232)의 최종 미소구조에 바람직한 영향을 미칠 수 있다.

[0061] 하나의 비제한적 실시예에서, 도 9를 계속 참조하면, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)가 집속된 전자 필드, 가령, 집속된 전자 필드(702)를 생성하도록 구성된다. 집속된 전자 필드(702)는 전자의 3차원 필드이며, 따라서 표적에 충돌할 때, 종래의 열-이온 전자 빔 건에 의해 발생된 전자의 실질적으로 선형인 "빔"보다 훨씬 더 넓은 영역을 덮는다. 그러나 집속된 전자 필드(702)는, 예를 들어 앞서 설명된 바와 같은 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)에 의해 방출되는 비교적 대면적의 전자 필드(218)에 의해 덮이는 영역보다 작은, 또는 훨씬 작은 면적을 갖는 영역을 덮을 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 집속된 전자 필드(702)는, 예를 들어, 용해로의 진공 챔버 내 표적에 충돌할 때 0.5 제곱 인치 내지 50 제곱 인치, 또는 1 제곱 인치 내지 30 제곱 인치, 또는 1 제곱 인치 내지 20 제곱 인치의 면적을 가질 수 있다. 특정 실시예에서 용해물 내 응축물 또는 그 밖의 다른 고형 부분에 충돌될 수 있도록, 집속된 전자 빔은 조향 가능(steerable)하거나, 적어도 지향 가능(directional)하다. 해당업계 종사자라면, 본원을 고려할 때, 집속된 전자 필드는 특정 적용예를 위한 임의의 적합한 단면적 또는 단면도를 가질 수 있음을 알 것이다.

[0062] 하나의 비제한적 실시예에서, 집속된 전자 필드(702)의 단면적 및/또는 단면 형태는, 예를 들어, 보조 전자 방

출기의 애노드 및/또는 캐소드의 크기 및 형태에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 특정 비제한적 실시예에서, 애노드와 캐소드는 비교적 큰 크기를 갖고, 집속된 전자 필드(702)가 비교적 넓은 단면적을 덮는다. 그러나 이러한 비교적 큰 단면적은, 대면적 전자 필드의 단면적보다 작은 것이 일반적이지만, 종래의 열-이온 전자 방출기에 의해 방출되는 실질적으로 선형인 "빔"의 실질적으로 "스팟(spot)"인 덮는 범위(coverage)보다 실질적으로 크다. 또한 집속된 전자 필드는 애노드의 형태를 기반으로 다양한 단면 형태, 가령, 원형 또는 사각형을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나의 비제한적 실시예에서, 캐소드와 함께, 원형의 애노드가 사용되어, 원형의, 또는 실질적으로 원형의 단면 형태를 갖는 집속된 전자 필드를 생성할 수 있다.

[0063] 하나의 비제한적 실시예에서, 다시 도 9를 참조하면, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)가 제 1 단면적을 갖는 적어도 하나의 제 1 전자 필드(218)(즉, 대면적 전자 필드)를 방출할 수 있다. 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(700)는 제 2 전자 필드, 가령 제 2 단면적을 갖는 집속된 전자 필드(702)를 방출할 수 있다. 다양한 실시예에서, 제 1 단면적은, 제 2 단면적과 동일하거나 더 작을 수 있다. 특정 전자 필드를 설명하는 것과 관련해, 용어 "면적(area)"은, 전자 필드가 응축물, 용해된 물질 내 고정 부분, 형성 또는 고정화되는 잉곳 영역, 및/또는 그 밖의 다른 진공 챔버의 영역에 충돌될 때, 전자 필드의 덮는 범위(coverage)의 면적을 일컬을 수 있다.

[0064] 하나의 비제한적 실시예에서, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기 의해 방출된 집속된 전자 필드(702)가, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기(216)에 의해 방출되는 대면적 전자 필드보다 더 작은 단면적을 가진다. 상기 실시예에서, 집속된 전자 필드(702)는 와이어-방전 이온 전자 방출기(216)에 의해 방출되는 대면적 전자 필드보다 더 집속되고, 선택사항으로서, 더 높은 전력(가령, 더 높은 전자 밀도, 및/또는 더 높은 에너지의 전자)을 가질 수 있다. 예를 들어, 애노드에서 더 많은 이온을 생성하고, 따라서 캐소드로부터 더 많은 2차 전자를 생성하도록 애노드에 더 높은 전압을 인가함으로써, 더 높은 밀도의 집속된 전자 필드(702)가 생성될 수 있다. 용해물의 응축물 또는 고정 부분의 적합한 용해를 위해, 집속된 전자 필드(702)의 전력이 증가 또는 감소될 수 있다. 이러한 실시예에서, 예를 들어, 적합한 용해를 위해, 캐소드의 전자 가속 전압(kV)과 전자 전류(kW)가 달라질 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 전자 전류(kW)가 증가하여, 더 빠른 용해를 야기할 수 있다. 또 다른 비제한적 실시예에서, 집속된 전자 필드(702)가 더 집속되어, 집속된 전자 필드(702) 내 전자의 밀도를 증가시키고 더 빠른 용해를 야기할 수 있다.

[0065] 하나의 비제한적 실시예에서, 집속된 전자 필드(702)는 용해된 합금(226) 또는 용해지(231) 내 임의의 응축물, 고정 부분, 및/또는 용해되지 않은 부분 쪽으로 지향될 수 있다. 덧붙여, 특정 실시예에서, 집속된 전자 필드(702)가 용해지(231) 쪽으로 지향되어, 잉곳(232) 내의 용해된 물질의 고정화에 영향을 미칠 수 있다. 또한 집속된 전자 필드(702)는 응축물을 갖는 챔버 벽(215)의 영역으로 지향되어 상기 응축물을 용해시키거나, 용해로(210)의 다른 영역으로 지향될 수 있다.

[0066] 다시 도 9를 참조하면, 조향 시스템, 가령, 조향 시스템(704)에 의해, 집속된 전자 필드(702)가 지향될 수 있다. 예를 들어, 용해로(210)의 진공 챔버(214) 내 원하는 영역이나 물체에 충돌하도록 집속된 전자 필드(702)를 조향하기 위해, 조향 시스템(704)은 하나 이상의 전기장 및/또는 자기장을 발생시키고 조작할 수 있다. 해당업계 종사자에게 잘 알려져 있는 전자 필드의 방향을 조작하기 위한 종래의 기법 및 장치, 가령, 자계 편향이 조향 시스템(704)에서 사용되기에 적합할 수 있다. 전자 필드를 조작하기 위한 이러한 기법 및 장치는 해당업계 종사자에게 잘 알려져 있다고 가정하고, 본원에서 상세히 기재되지 않는다. 또한, 예를 들어, 조향 시스템(704)은 보조 이온 플라스마 전자 방출기(700)에 의해 발생하는 집속된 전자 필드(702)를 용해로(210)의 진공 챔버(214) 내 특정 영역에 대해 선택적으로 래스터링하도록 설계될 수 있다. 전자 빔을 래스터링하기 위한 다양한 종래의 기법 및 장치가 해당업계 종사자에게 알려져 있고, 조향 시스템(704)에서 사용되기에 적합할 수 있다. 전자 필드를 래스터링하기 위한 이러한 기법 및 장치가 해당업계 종사자에게 잘 알려져 있다고 가정하고, 본원에서는 상세히 기재되지 않는다. 하나의 비제한적 실시예에서, 집속된 전자 필드(702)를 래스터링함으로써, 챔버 벽(215) 상의 응축된 물질의 영역 위로 필드를 빠르게 이동시켜, 상기 응축물을 용해시키고, 및/또는 용해지 위로 필드를 빠르게 이동시켜, 원하는 대로, 형성되는 잉곳(232)의 고정화에 영향을 미칠 수 있다. 집속된 전자 필드(702)가 충돌하는 응축물, 고정화된 부분, 및/또는 용해된 물질로 집속된 전자 필드(702)에 의해 과량의 전력 또는 에너지가 전달될 가능성을 없애거나, 적어도 감소시키도록, 집속된 전자 필드(702)를 래스터링하는 것이 사용될 수 있다. 응축물, 고정화된 부분, 및/또는 용해된 물질로 단위 면적당 과량의 전자 에너지 및/또는 전자 밀도를 적용하는 것이 응축물 또는 물질 내 휘발성 원소를 기화시킬 수 있으며, 이는 챔버 벽(215) 상의 물질의 응축을 악화시킬 수 있다. 한 가지 비제한적 실시예에서, 조향 시스템(704)이 집속된 전자 필드(702)를, 용해로(210) 내 임의의 적합한 위치로 지향시키도록 사용될 수 있다.



- [0067] 하나의 예시적 실시예에서, 조작자가 집속된 전자 필드(702)를 용해 및/또는 재가열을 필요로 하는 용해물의 특정 부분으로 특정하게 지향시킬 수 있도록, 집속된 전자 필드(702)에 대한 조향 시스템이 선택적으로 동작할 수 있다. 이러한 선택적 조향 시스템이 조향 장치(704), 또는 그 밖의 다른 조향 장치를 이동시켜, 집속된 전자 필드(702)를 진공 챔버 내 적합한 영역, 가령, 용해물 내 응축물 입자로 지향시킬 수 있다. 또 다른 비제한적 실시예에서, 집속된 전자 필드(702)가 진공 챔버 내 지정 영역으로 지향될 수 있도록, 및/또는 조작자에 의해, 진공 챔버의 제 1 지정 영역과 상기 진공 챔버의 제 2 지정 영역 간에, 선택적으로 이동될 수 있도록, 진공 챔버 내에 다양한 조향 장치, 가령, 전자석이 적절하게 배열될 수 있다.
- [0068] 도 10은 전자 빔 용해로(610) 내에 포함된 보조 이온 플라스마 전자 방출기(700'), 가령, 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 또 다른 비제한적 실시예를 도시한다. 전자 빔 용해로(610)의 다양한 원소들이 도 8에 포함된, 그리고 앞서 언급된 도면부호들로 식별된다. 보조 이온 플라스마 전자 방출기(700')는, 노상(640)에 배치된 용해된 물질(642) 및/또는 용해된 물질(642) 내 고체(가령, 챔버 벽에서 떨어진 응축물)에 충돌할 수 있는 집속된 전자 필드(700)와 유사한 집속된 전자 필드(702')를 방출할 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기(700')는, 예를 들어 앞서 언급된 바와 같은 구조를 가질 수 있는 조향 시스템(704')을 포함할 수 있다.
- [0069] 도 11에서 개략적으로 도시된 하나의 비제한적 실시예에서, 일레적 조향 시스템이 보조 이온 플라스마 전자 방출기(700 또는 700')(총칭하여, "700")와 함께 사용되기 적합하다. 보조 이온 플라스마 전자 방출기(700)의 집속된 전자 필드(702)의 조향 시스템이 제 1 자기 및/또는 전기 조향 장치(706)와 제 2 자기 및/또는 전기 조향 장치(708)를 포함할 수 있다. 제 1 조향 장치(706)는 집속된 전자 필드(702)의 제 1 측에 위치하고, 제 2 조향 장치(708)는 집속된 전자 필드(702)의 제 2 측에 위치할 수 있다. 제 1 및 제 2 조향 장치(706 및 708)는, 집속된 전자 필드(702)를 원하는 방향으로 지향시키도록 이동 가능한 자기장 및/또는 전기장을 자신들 사이에 발생시키도록 구성될 수 있다. 따라서, 제 1 및 제 2 조향 장치(706 및 708)는 집속된 전자 필드(702)를, 용해로의 진공 챔버 내 원하는 영역 또는 위치로 지향시키도록 사용될 수 있다. 진공 챔버 내에서, 집속된 전자 필드(702)가 임의의 적합한 방향으로 지향될 수 있도록, 조향 시스템이 추가적인 조향 장치를 포함할 수 있다. 도 11에 도시된 일레적 조향 시스템은 또한, 집속된 전자 필드(702)를 더 집속시키도록 사용될 수 있다.
- [0070] 집속된 전자 필드(702)를 위한 조향 시스템의 또 다른 하나의 비제한적 실시예가 도 12에 개략적으로 도시되어 있다. 이러한 실시예에서, 조향 시스템은, 집속된 전자 필드(702)(도 12에 도시되지 않지만, 일반적으로 도면 종이에 수직인 경로로 투영됨) 근방에 위치하는 둘 이상의 조향 장치(710)를 포함할 수 있다. 앞서 언급된 제 1 및 제 2 조향 장치(706 및 708)와 마찬가지로, 조향 장치(710) 각각은 집속된 전자 필드(702)에 따라 작용하도록 구성되는 자기장 및/또는 전기장을 발생시킬 수 있다. 예를 들어, 둘 이상, 셋 이상, 또는 넷 이상의 조향 장치(710)를 제공함으로써, 집속된 전자 필드(702)가 용해로의 진공 챔버 내 임의의 희망 영역 또는 물체로 정교하게 지향될 수 있다. 해당업계 종사자라면, 전자 필드를 조향하기 위한 그 밖의 다른 종래 시스템이, 집속된 전자 필드(702)의 방향을 조향하도록, 본원에서 기재된 보조 이온 플라스마 전자 방출기와 함께 사용될 수 있음을 알 것이다. 도 11의 일레적 조향 시스템과 마찬가지로, 도 12의 일레적 조향 시스템도 집속된 전자 필드(702)를 더 집속하도록 사용될 수 있다.
- [0071] 하나의 비제한적 실시예에서, 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치는, 제 1 형태를 갖는 단면도를 포함하는 집속된 전자 필드를 생성하도록 구성된 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기와, 집속된 전자 필드를 전기 전도성 금속 물질의 적어도 일부분으로 충돌시켜, 그 안의 임의의 고품 응축물 또는 그 밖의 다른 고품 물질을 용해하도록, 상기 집속된 전자 필드를 지향시키도록 구성된 조향 시스템을 포함할 수 있다. 또한, 조향 시스템에 의해, 집속된 전자 필드가 용해지, 또는 형성 또는 고품화되는 잉곳의 또 다른 영역으로 지향되어, 잉곳의 고품화 운동(solidification kinetic)에 바람직한 영향을 미칠 수 있다. 이러한 비제한적 실시예에서, 장치는 제 2 형태를 갖는 와이어 전극과 제 3 형태를 갖는 캐소드를 포함할 수 있다. 하나 이상의 실시예에서, 제 1 형태는 제 2 형태 및/또는 제 3 형태와 실질적으로 유사하거나 동일할 수 있다. 전자 필드의 단면도의 제 1 형태는 예를 들어 실질적으로 원형, 삼각형, 직사각형, 정사각형, 타원형, 또는 난형(ovate-shape)이거나, 그 밖의 다른 임의의 형태일 수 있다. 따라서 해당업계 종사자라면 집속된 전자 필드의 단면도의 제 1 형태는, 응축물을 용해하고, 용해물 내 고품물을 용해하기, 용해물 내 금속 물질의 용해되지 않은 부분을 용해하기, 및/또는 고품화되는 잉곳의 용해지를 원하는 방식으로 가열하기에 적합한 임의의 형태일 수 있음을 알 것이다. 가령, 실질적으로 삼각형 단면의 프로파일을 갖는 집속된 전자 필드가 바람직한 경우, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기가 실질적으로 삼각형인 와이어 전극 및/또는 실질적으로 삼각형인 캐소드를 포함할 수 있다.
- [0072] 하나의 비제한적 실시예에서, 이온 플라스마 전자 방출기 또는 보조 이온 플라스마 전자 방출기가, 와이어형 애

노드가 아닌 애노드(또는 양이온 발생 전극)를 포함할 수 있다. 이러한 실시예에서, 애노드는, 캐소드로부터 방출되는 집속된 전자 필드가 쉽게 통과할 수 있도록 구성된 전기 전도성의 박판(thin plate), 박판 시트(sheet), 또는 박막(foil)일 수 있다. 또 다른 실시예에서, 애노드는 그 밖의 다른 임의의 적합한 구성을 포함할 수 있다. 전기 전도성의 박판, 박판 시트, 또는 박막 애노드가 임의의 적합한 형태(가령, 실질적으로 원형, 정사각형, 직사각형, 삼각형, 타원형, 난형, 또는 그 밖의 다른 임의의 적합한 형태)를 포함할 수 있다. 이러한 다양한 형태 또는 그 밖의 다른 다양한 형태로 애노드를 제공함으로써, 대면적 전자 필드 및/또는 집속된 전자 필드의 단면적 또는 단면도가 제어될 수 있다. 예를 들어, 원형의 단면을 갖는 집속된 전자 필드를 생성하기 위해, 원형의 박판, 박판 시트, 또는 박막 애노드가 사용될 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 이온 플라스마 전자 방출기의 캐소드 또는 보조 이온 플라스마 전자 방출기가 또한, 임의의 전기 전도성의 박판으로 구성될 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 다양한 형태의 단면적 또는 단면도를 갖는 대면적 전자 필드 또는 집속된 전자 필드를 발생시키기 위해, 캐소드의 형태가 애노드의 형태와 함께 작용할 수 있다. 대면적 전자 필드를 생성하는 이온 플라스마 전자 방출기가, 앞서, 일례적 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기를 참고하여 설명되었지만, 해당업계 종사자라면, '비(non)-와이어' 또는 '비-직선 와이어' 애노드를 갖는 이온 플라스마 전자 방출기가 사용될 수 있고, 본 발명의 범위 내에 있음을 알 것이다.

[0073] 앞서 설명된 다양한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기와 마찬가지로, 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 다양한 비제한적 실시예가, 양이온 함유 플라스마를 생성하도록 구성된 하나 이상의 기다란 와이어 애노드를 포함할 수 있으며, 여기서, 플라스마 양이온이 캐소드에 충돌하여, 2차 전자의 필드(즉, 집속된 전자 필드)를 생성할 수 있으며, 상기 2차 전자의 필드는 표적에 충돌하도록 가속되며, 상기 표적은, 예를 들어, 용해물 내 고형 개재물을 감소시키도록 용해될 것이다. 기다란 와이어 애노드는, 두께 치수보다 실질적으로 더 큰 길이 치수를 가질 수 있다. "가다란(elongate)"이라고 기재되었지만, 기다란 와이어 애노드가 임의의 적합한 형태로 형성될 수 있다. 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는, 다양한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기와 관련해 앞서 기재된 것과 실질적으로 동일하거나 전체적으로 유사한 방식으로 구성될 수 있다. 따라서 다양한 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기에 대한 앞선 기재가 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기의 설계에 대한 본 기재에 포함된다. 덧붙여, 본 발명에 따르는 보조 이온 플라스마 전자 방출기의 특정한 비제한적 실시예의 구성 및 동작 방식에 대한 기재가 다음과 같다.

[0074] 앞서 언급된 바와 같이, 본 발명에 따르는 보조 이온 플라스마 전자 방출기가 임의의 적합한 단면도 또는 형태(가령, 실질적으로 원형, 정사각형, 직사각형, 삼각형, 난형, 또는 타원형 단면도, 또는 그 밖의 다른 임의의 적합한 유계 형태의 단면도)를 갖는 집속된 전자 필드를 생성하도록 구성될 수 있다. 특정한 비제한적 실시예에서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기, 가령, 본 발명에 따르는 보조 와이어-방전 이온 플라스마 전자 방출기는, 실질적으로 직사각형 단면도(도 13 및 14 참고) 또는 실질적으로 원형의 단면도(도 15 참고)를 갖는 전자 필드를 발생시킬 수 있다. 도 13을 참조하면, 보조 이온 플라스마 전자 방출기(802)는, 양이온-함유 플라스마를 생성하도록 구성된 와이어 애노드 또는 전기 전도성의 박판, 박판 시트, 또는 박막 애노드(다 같이 819)를 포함하는 도 4의 플라스마 영역(314)과 유사한 이온화 또는 플라스마 영역과, 캐소드(818)를 포함하는 도 4의 캐소드 영역(316)과 유사한 캐소드 영역을 포함할 수 있다. 캐소드(818)는 임의의 적합한 형태를 가질 수 있다. 플라스마 영역은 저압의 이온화 가능한 가스로 충전될 수 있으며, 상기 가스는 플라스마 영역에서 이온화되어, 양이온-함유 플라스마를 생성할 수 있다. 예를 들어, 플라스마 영역은, 예를 들어, 약 20mTorr의 헬륨 가스로 충전될 수 있다. 작은 직경의 와이어 애노드 또는 전기 전도성의 박판, 박판 시트, 또는 박막 애노드(819)가 플라스마 영역 내에 놓일 수 있다. 도 13에 직사각형 구성이 도시되어 있지만, 이 애노드(819)는 임의의 적합한 형태를 가질 수 있다. 고전압 전력 공급기(822)에 의해 애노드(819)에 양전압이 인가되어, 헬륨 양이온과 자유 "1차" 전자를 포함하는 플라스마로의 헬륨 가스의 이온화가 개시된다. 헬륨 가스의 이온화가 개시되면, 전압을 애노드(819)로 인가함으로써, 플라스마가 지속된다. 높은 음의 전기 전위로 유지되는, 도 4의 추출 격자(326)와 유사한, 추출 격자를 통해, 플라스마 내의 양으로 대전된 헬륨 이온이 플라스마 영역으로부터 추출되고, 도 4의 고전압 갭(328)과 유사한 고전압 갭(high voltage gap)을 통해 캐소드 영역으로 가속되며, 상기 캐소드 영역에서, 플라스마 내 양이온이 높은 음전압으로 유지되는 캐소드(818)와 충돌한다. 캐소드(818)는, 예를 들어, 코팅된, 또는 코팅되지 않은 금속, 또는 합금일 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 캐소드(818)는 높은 용해점과 낮은 일함수를 갖는 인서트(insert)를 포함할 수 있다. 고전압 전력 공급기, 가령, 도 6의 고전압 전력 공급기(522)가 가령, 캐소드(818)의 20,000볼트보다 높은 음전압을 부여한다.

[0075] 캐소드(818)로의 헬륨 양이온의 충돌이 캐소드(818)로부터 2차 전자를 방출시키고, 이로써, 집속된 전자 필드가 형성될 수 있다. 고전압 갭이 헬륨 양이온의 이동 방향과 반대 방향으로 2차 전자를 추출 격자를 통과해 (존재한다면, 전기 전도성 판, 박판 시트, 또는 박막을 통과해) 플라스마 영역으로 가고, 그 후, 비교적 전자 투과성



물질로 만들어진, 도 4의 얇은 금속성 박막 창(329)과 유사한, 얇은 금속성 박막 윈도우(존재하는 경우)를 통과하도록 가속시킨다. 앞서 언급된 바와 같이, 보조 전자 방출기 및 용해로 챔버 내 상대 가스압에 따라, 전자 투과성 창을 생략하는 것이 가능할 수 있으며, 이 경우, 보조 전자 방출기에 의해 생성되는 전자가 용해로 진공 챔버로 직접 들어갈 것이다.

[0076] 도 13을 다시 참조하면, 하나의 비제한적 실시예에서, 애노드(819)로부터의 양이온이 캐소드(818)에 충돌하도록 가속되어, 직사각형, 또는 실질적으로 직사각형의 단면도를 갖는 집속된 전자 필드를 생성할 수 있다. 직사각형, 또는 실질적으로 직사각형 애노드(819)와 캐소드(818)가, 양으로 대전된 헬륨 이온이 캐소드(818)로 전달되는 것을 더 촉진하도록 설계되고 배열될 수 있다. 또한, 추출 격자를 통한 2차 전자 전달을 최대화하도록, 그리고 전자 투과성 창(존재하는 경우)을 통한 (그리고 전기 전도성의 박판, 박판 시트, 또는 박막 애노드(존재하는 경우)를 통한) 침투에 적합한 필드 프로파일을 갖도록 캐소드(818)와 추출 격자가 설계되고 배열될 수 있다. 보조 전자 방출기(802)를 탈출하는 활성 전자의 집속된 필드가 용해로의 진공 챔버 내 표적에 충돌하도록 지향될 수 있다. 또한, 전자 투과성 창(존재하는 경우)의 크기는 가능한 얇게 정해져서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기(802)로부터의 전자 투과를 최대화할 수 있다. 보조 이온 플라스마 전자 방출기(802) 내에 연진공(soft vacuum) 분위기를 유지하면서, 충분한 전자 투과를 가능하게 하는 두께를 갖는 알루미늄 타입, 또는 티타늄 타입 박막이, 필요한 경우, 박막 창으로서 사용될 수 있다. 장치의 창(존재하는 경우)으로서 사용될 수 있는 그 밖의 다른 적합한 강력하고 허용될 수 있는 전자 투과성 물질이 해당업체 종사자에게 자명할 것이다. 본원에서 일반적으로 언급될 때, 보조 전자 방출기(802)의 내부와 표적이 있는 진공 챔버 간 압력차가 유의미하지 않을 경우, 창은 생략될 수 있다.

[0077] 하나의 실시예에서, 도 14를 참조하면, 보조 이온 플라스마 전자 방출기(902)가 보조 이온 플라스마 전자 방출기(802)의 것과 유사한 특정 특징부를 포함할 수 있다. 그러나 보조 전자 방출기(902)는 플라스마 영역 내에 위치하는 장방형 또는 실질적으로 장방형의 와이어 애노드, 또는 전기적으로 전도성의 박판, 박판 시트, 또는 박막 애노드(다 같이, 919)와, 캐소드 영역 내에 위치하는 장방형 또는 실질적으로 장방형의 캐소드(918)를 포함한다. 애노드(919)로부터의 양이온이 캐소드(918) 쪽으로 가속되어, 직사각형, 또는 실질적으로 직사각형인 단면도를 가지며, 임의의 응축물, 고형화된 부분, 또는 용해물 내 물질의 용해되지 않은 부분, 및/또는 잉곳 형성 또는 고형화 영역으로 충돌되도록 구성된 집속된 전자 필드를 생성할 수 있다. 또한 보조 전자 방출기(902)가 양전압을 애노드(919)로 공급하도록 구성된 전력 공급기를 더 포함할 수 있다. 도시되지 않았지만, 캐소드(918)는 높은 음전압으로 캐소드(918)를 충전하도록 구성된 전력 공급기로 연결될 것이다.

[0078] 도 15에 도시된 하나의 실시예에서, 본 발명에 따르는 보조 전자 방출기(1002)는 보조 전자 방출기(802 및 902)의 것과 유사한 특정 특징부를 포함할 수 있다. 그러나 보조 전자 방출기(1002)는 플라스마 영역 내에 위치하는 원형, 또는 실질적으로 원형의 와이어 애노드, 또는 전기 전도성의 박판, 박판 시트, 또는 박막 애노드(다 함께, 1019)와, 캐소드 영역 내에 위치하는 원형 또는 실질적으로 원형의 캐소드(1018)를 포함한다. 애노드(1019)로부터의 양이온이 캐소드(1018) 쪽으로 가속되어, 원형 또는 실질적으로 원형의 단면도를 가지며, 임의의 응축물, 고형화된 부분, 또는 용해물 내 용해되지 않은 부분, 및/또는 잉곳 형성 또는 고형화 영역으로 충돌되도록 구성된 집속된 전자 필드를 생성할 수 있다.

[0079] 또한 보조 전자 방출기(1002)는 애노드(1019)로 양전압을 공급하도록 구성된 전력 공급기를 더 포함할 수 있다. 도시되지 않았지만, 캐소드(1018)가 캐소드(1018)를 높은 음전압으로 충전하도록 구성된 전력 공급기로 연결될 것이 자명할 것이다.

[0080] 본 발명에 따르는 다양한 보조 전자 방출기의 전력이 애노드에 의해 생성되는 양이온의 밀도와 캐소드의 음전압에 따라 달라진다. 이온화 동안 생성되는 이온의 수는 애노드에 인가되는 전압에 따라 달라지고(즉, 더 높은 전압이 단위 시간당 더 많은 수의 이온을 발생시키고, 생성된 전자 필드의 밀도를 증가시킨다), 집속된 전자 필드 내 전자 에너지는 캐소드의 음전압에 따라 달라진다. 어떠한 특정 이론에도 구애받지 않으며, 본 발명의 발명자는, 용해물 내 응축물이 진공 챔버의 또 다른 영역으로 흐르기 전에, 용해될 임의의 응축물에 대해 진공 챔버의 특정 영역에서 가능한 체류 시간이 제한적일 수 있기 때문에, 비교적 높은 전력(가령, 전자 밀도 및 전자 에너지)을 갖는 집속된 전자 필드를 이용함으로써, 진공 챔버 내 응축물의 용해가 촉진될 것이라고 생각한다. 이와 동일하거나 유사한 이론이 용해물 내 고형화된 부분 또는 용해되지 않은 부분을 용해하는 것에 적용된다.

[0081] 하나의 비제한적 실시예에서, 전기 전도성 금속 물질을 용해하기 위한 장치는 진공 챔버와, 상기 진공 챔버 내에 배치되는 노상(hearth)과, 전기 전도성 금속 물질을 용해하도록 구성된 용해 장치를 포함한다. 또한 상기 장치는 진공 챔버와 연통하고 용해된, 전기 전도성 금속 물질을 상기 노상으로부터 수용하도록 위치하는 주형, 주

조 장치, 및 분무 장치 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 장치는 진공 챔버 내에, 또는 그 인근에 위치하며, 단면적을 갖는 집속된 전자 필드를 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 포함할 수 있다. 집속된 전자 필드는, 조향 장치 또는 시스템을 이용해 전기 전도성 물질, 고형 응축물, 및 고형화되는 잉곳 영역 쪽으로 지향될 때, 전기 전도성의 금속성물질의 일부분을 용해(또는 재-용해)하는 것, 전기 전도성 금속 물질 내 고형 응축물을 용해하는 것, 및 잉곳 고형화 영역을 가열하는 것 중 적어도 하나를 위해 충분한 에너지를 가질 수 있다. 하나의 비제한적 실시예에서, 용해 장치는 진공 챔버 내에, 또는 그 인근에 배치되며, 대면적 전자 필드를 진공 챔버 내부로 지향시키도록 위치하는 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기를 포함한다. 대면적 전자 필드는 전기 전도성 금속 물질을 상기 물질의 용해점까지로 가열하기에 충분한 에너지를 가질 수 있다. 또 다른 비제한적 실시예에서, 용해 장치는 전기 전도성 금속 물질을 상기 물질의 용해점까지로 가열하기에 충분한 에너지를 갖는 전자 빔을 방출하도록 구성된 하나 이상의 열-이온 전자 빔 건을 포함할 수 있다.

[0082] 하나의 비제한적 실시예에서, 하나 이상의 열-이온 전자 빔 건을 포함하는 용해로와 함께, 보조 이온 플라스마 전자 방출기가 사용될 수 있다. 열-이온 전자 빔 건을 이용하는 용해로가 이온 플라스마 전자 방출기를 이용하는 용해로의 압력 (가령,  $40\mu(5.3\text{Pa})$  이상의 압력) 또는  $300\mu(40\text{Pa})$  이상의 압력보다 훨씬 낮은 압력(가령,  $10^3$  내지  $7.5\mu(10^3$  내지  $1\text{Pa})$  내지  $15\mu(2\text{Pa})$ )을 갖는 진공 챔버를 가진다는 사실에 비추어 보아, 전자 투과성 박막, 가령, 도 10의 전자 투과성 박막(705)이 보조 전자 방출기(700')와 진공 챔버(214) 사이에 위치하여, 예를 들어, 진공 챔버(214)와 보조 전자 방출기(700') 내에 압력을 개별적으로 유지할 수 있다. 따라서 용해로의 동작압에 관계없이, 하나 이상의 열-이온 전자 빔 건 및/또는 그 밖의 다른 적합한 용해 장치를 포함하는 용해로와 함께 다양한 보조 전자 방출기가 사용될 수 있다. 다양한 실시예에서, 하나의 용해로에 임의의 적합한 개수의 보조 이온 플라스마 전자 방출기가 사용될 수 있다.

[0083] 하나의 비제한적 실시예에서, 용해로 내 전기 전도성 물질을 용해하기 위해 전자 필드를 발생시키는 방법이 제공된다. 상기 방법은 제 1 비제한적 형태를 갖는 애노드를 제공하는 단계와, 애노드에서 양이온을 함유하는 플라스마를 생성하는 단계를 포함한다. 용어 "비선형 형태(non-linear shape)"는, 직선 또는 실질적으로 직선은 아닌 형태를 의미할 수 있다. 상기 용어 "비선형 형태"는 또한, 앞서 언급된 다양한 전극의 형태, 가령, 기다란 와이어 전극(516)이 아닌 다른 형태를 의미할 수 있다. 상기 방법은 제 2 형태를 갖는 캐소드를 제공하는 단계와, 상기 애노드에 대해 상기 캐소드를 위치시키는 단계와, 상기 캐소드에 전압을 인가하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 전압은 캐소드를 음으로 대전하도록 구성될 수 있다. 상기 방법은 캐소드 쪽으로 양이온을 가속시켜, 자유 2차 전자를 발생시키는 단계와, 자유 2차 전자를 이용하는 전자 필드를 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 전자 필드는 제 3 형태의 단면도를 가질 수 있다. 전자 필드의 제 3 형태는 애노드의 제 1 비선형 형태 및/또는 캐소드의 제 2 형태에 대응할 수 있다. 하나의 실시예에서, 전자 필드의 제 3 형태는 애노드의 제 1 비선형 형태 및/또는 캐소드의 제 2 형태와 실질적으로 동일할 수 있다. 다양한 실시예에서, 애노드는 전기 전도성의 기다란 와이어 애노드, 전기 전도성의 박판 애노드, 전기 전도성의 시트 애노드, 또는 전기 전도성의 얇은 박막 애노드를 포함할 수 있다.

[0084] 하나의 비제한적 실시예에서, 물질을 가공하는 방법은 금속 및 금속성 합금 중 적어도 하나를 포함하는 물질을, 대기압에 비해 저압으로 유지되는 노 챔버로 도입시키는 단계와, 제 1 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 제 1 단면적을 갖는 제 1 전자 필드를 발생시키는 단계를 포함한다. 그 후 노 챔버 내 물질이 제 1 전자 필드에 노출되어, 물질을 물질의 용해점 이상의 온도까지로 가열할 수 있다. 또한 상기 방법은 제 2 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 제 2 단면적을 갖는 제 2 전자 필드를 발생시키는 단계를 더 포함할 수 있다. 물질 내 고형 응축물, 물질의 고형화된 부분, 고형화되는 잉곳의 영역 중 적어도 하나가, 제 2 조향 장치를 이용해, 제 2 전자 필드에 노출되어, 특정 표적을 용해 또는 가열시킬 수 있다. 또한, 제 1 전자 필드의 제 1 단면적이, 제 2 전자 필드의 제 2 단면적보다 크거나, 그 밖의 다른 방식으로 상이할 수 있다. 제 1 이온 플라스마 전자 방출기와 제 2 이온 플라스마 전자 방출기 내 압력이 노 챔버 내에 존재하는 것과 동일하거나 실질적으로 동일한 압력으로 유지될 수 있다. 그 밖의 다른 비제한적 실시예에서, 노 챔버 내 압력이, 예를 들어 제 1 이온 플라스마 전자 방출기 및 제 2 이온 플라스마 전자 방출기 내 압력보다 낮은 압력을 유지될 수 있다.

[0085] 또 다른 비제한적 실시예에서, 물질을 가공하는 방법은, 금속 및 금속성 합금 중 하나 이상을 포함하는 물질을, 대기압에 비해 낮은 압력으로 유지된 노 챔버로 도입시키는 단계와, 노 챔버 내 물질을 용해 장치에 노출시켜, 상기 물질을 물질의 용해점 이상의 온도까지로 가열하는 단계를 포함할 수 있다. 또한 상기 방법은 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계와, 물질 내 임의의 응축물, 물질의 고형화된 부분, 및 형성 또는 고형화되는 잉곳의 영역 중 적어도 하나를, 조향 장치를 이용해, 집속된 전자 필드에 노

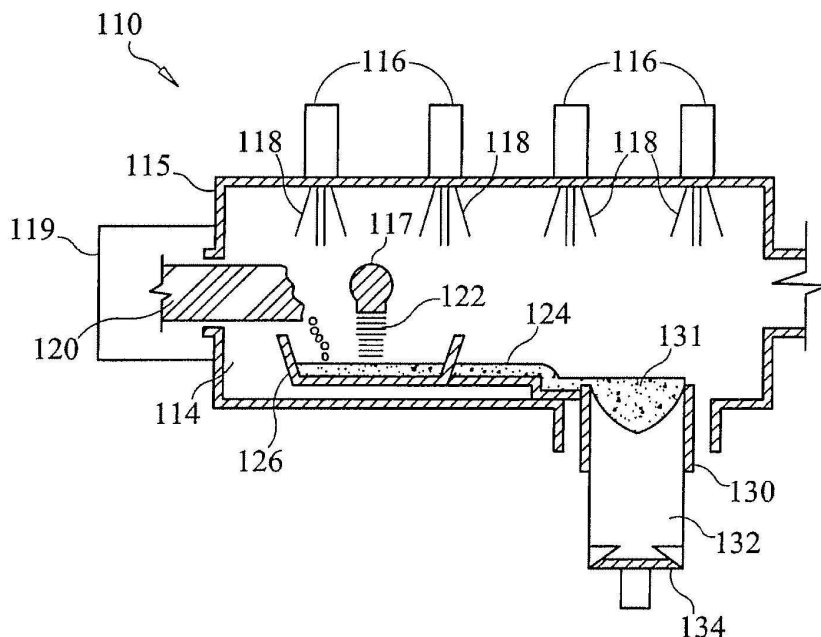
출시켜, 응축물, 고형화된 부분, 및 형성 또는 고형화되는 잉곳의 영역 중 적어도 하나를 용해 또는 가열하는 단계를 포함한다. 다양한 비제한적 실시예에서, 용해 장치는 하나 이상의 열-이온 전자 빔 건, 또는 하나 이상의 이온 플라스마 전자 방출기를 포함할 수 있다.

[0086] 또 다른 비제한적 실시예에서, 물질을 가공하는 방법은, 보조 이온 플라스마 전자 방출기를 이용해 제 1 형태를 갖는 단면도를 포함하는 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계와, 집속된 전자 필드를 조향시켜 물질에 상기 집속된 전자 피어를 충돌시키고 물질 내 임의의 응축물, 물질의 임의의 고형화된 부분, 및/또는 형성 또는 고형화되는 잉곳의 영역을 용해 또는 가열하는 단계를 포함한다. 또한 상기 방법은 제 2 형태를 갖는 전극과 제 3 형태를 갖는 캐소드를 이용해 집속된 전자 필드를 발생시키는 단계를 더 포함하고, 제 1 형태는 제 2 형태 및/또는 제 3 형태와 실질적으로 유사하다. 하나의 비제한적 실시예에서, 보조 이온 플라스마 전자 방출기로부터 방출된 발생된 집속된 전자 필드는, 실질적으로 원형의 단면도, 실질적으로 직사각형의 단면도 중 하나를 가질 수 있다. 예를 들어, 실질적으로 원형의 전극 또는 애노드와 실질적으로 원형의 캐소드를 이용해, 또는 실질적으로 직사각형의 전극 또는 애노드와 실질적으로 직사각형의 캐소드를 이용해 이러한 집속된 전자 필드가 발생할 수 있다.

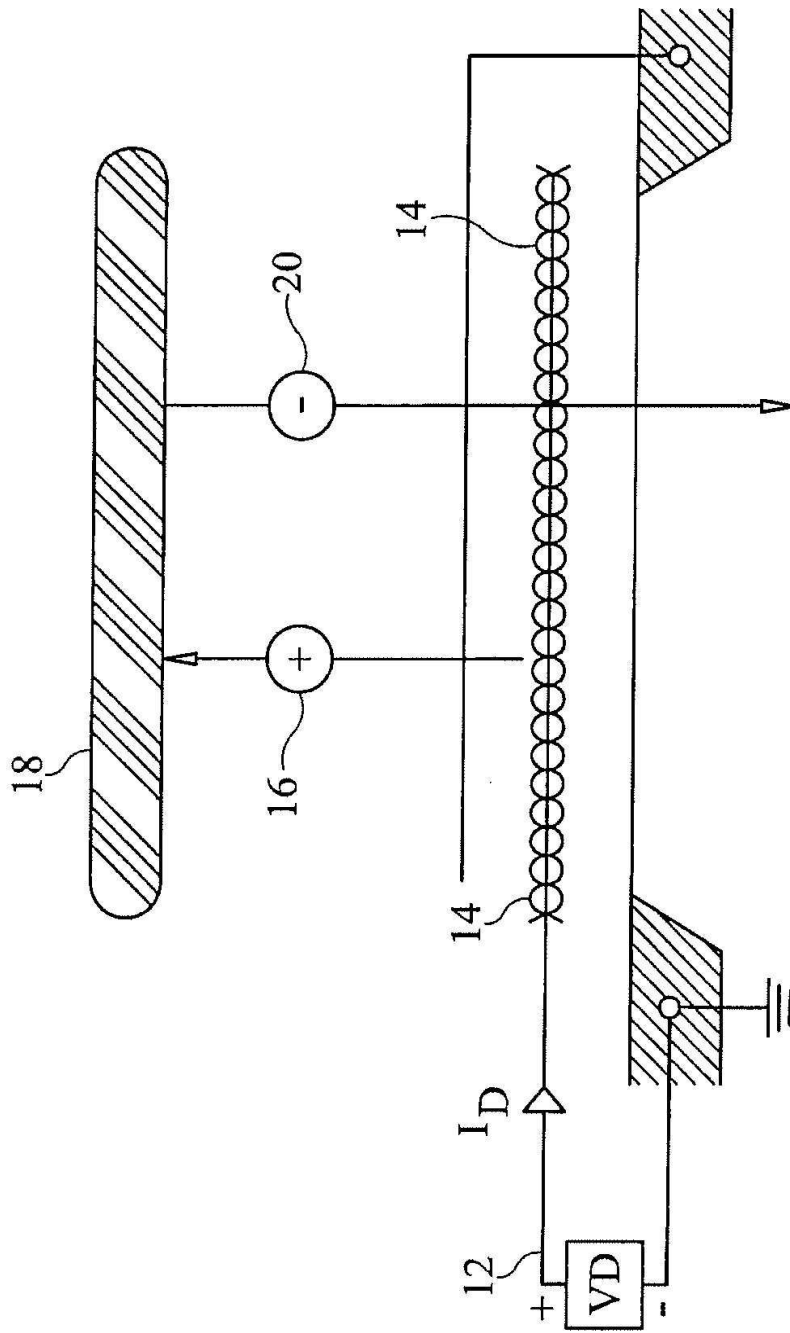
[0087] 앞의 기재에서 불가피하게 한정된 개수의 실시예만 제공되었지만, 해당업계 종사자라면, 장치 및 방법의 다양한 변경과 본원에서 기재되고 도시된 예시들의 그 밖의 다른 세부사항이 해당업계 종사자에 의해 이뤄질 수 있으며, 이러한 모든 변형은 본 발명의 사상과 범위 내에 있을 것이다. 예를 들어, 불가피하게 본원에 본 발명에 따른 전자 빔 용해로에 대한 한정된 개수의 실시예만 제공되고, 또한 불가피하게 한정된 수의 이온 플라스마 전자 방출기 및 보조 이온 플라스마 전자 방출기 설계에 대해 논의했지만, 상세한 설명 및 특허청구범위는 이에 한정되지 않는다. 해당업계 종사자라면, 본원을 고려할 때, 추가 이온 플라스마 전자 방출기 및 보조 이온 플라스마 전자 방출기 설계를 쉽게 식별할 것이며, 추가적인 노 설계도 이해할 수 있다. 따라서 본 발명은 본원에서 기재된 특정 실시예에 한정되지 않고, 청구범위에 의해 정의되는 본 발명의 원리 및 범위 내에 있는 변형예를 커버하도록 의도된다. 또한 본 발명의 범위 내에서 앞선 실시예들의 변경이 해당업계 종사자에 의해 이해될 것이다.

## 도면

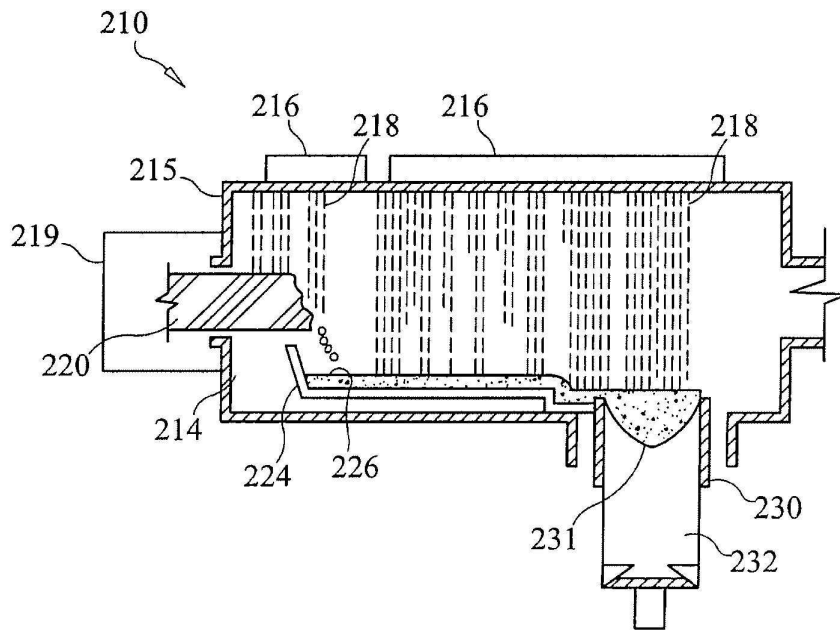
### 도면1



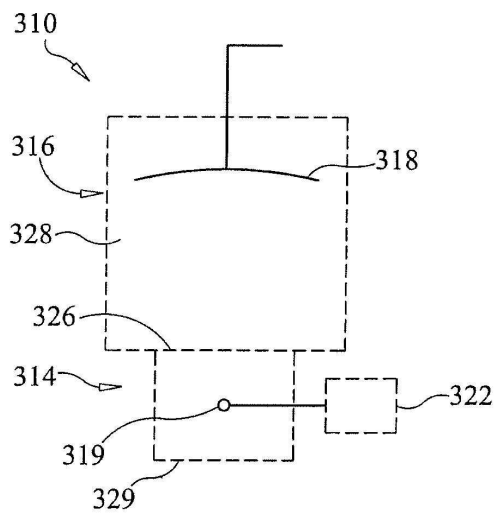
도면2



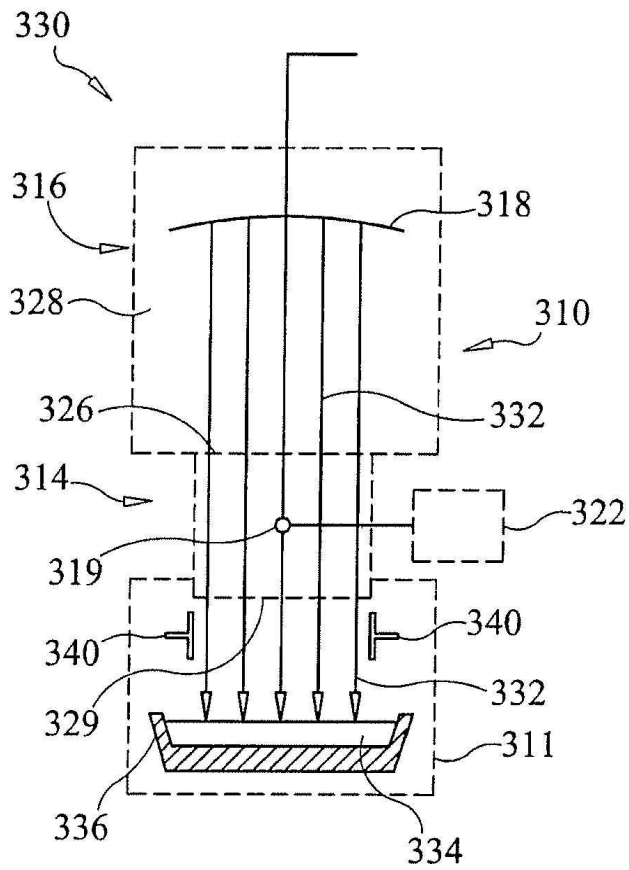
도면3



도면4

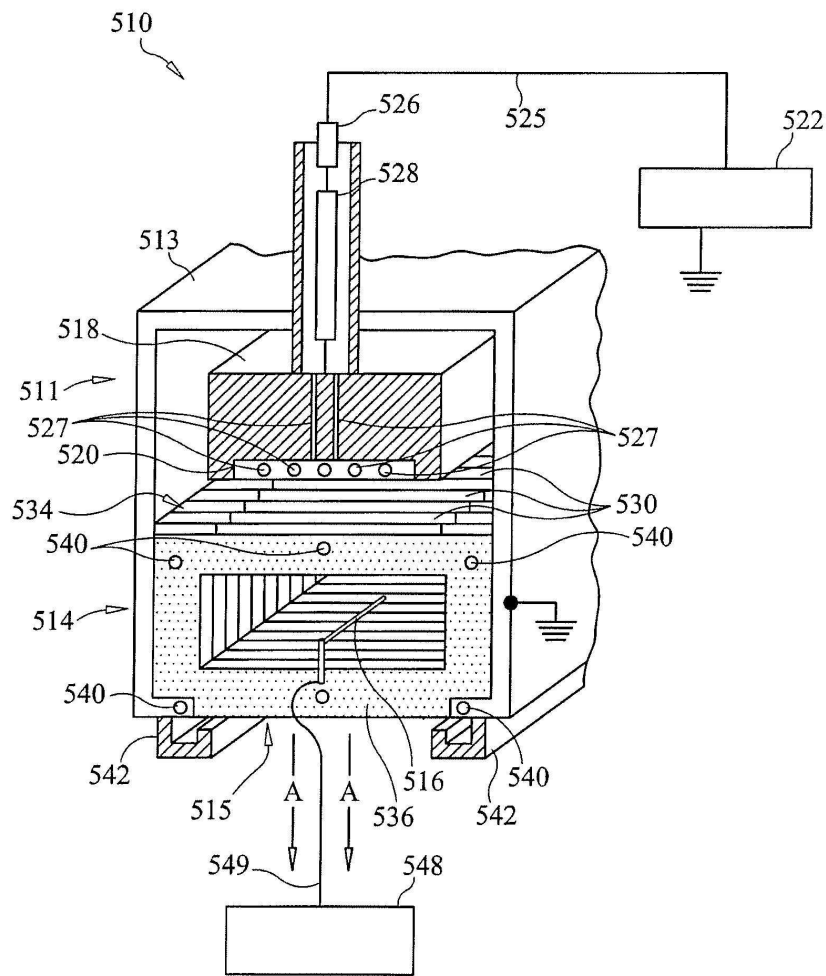


도면5

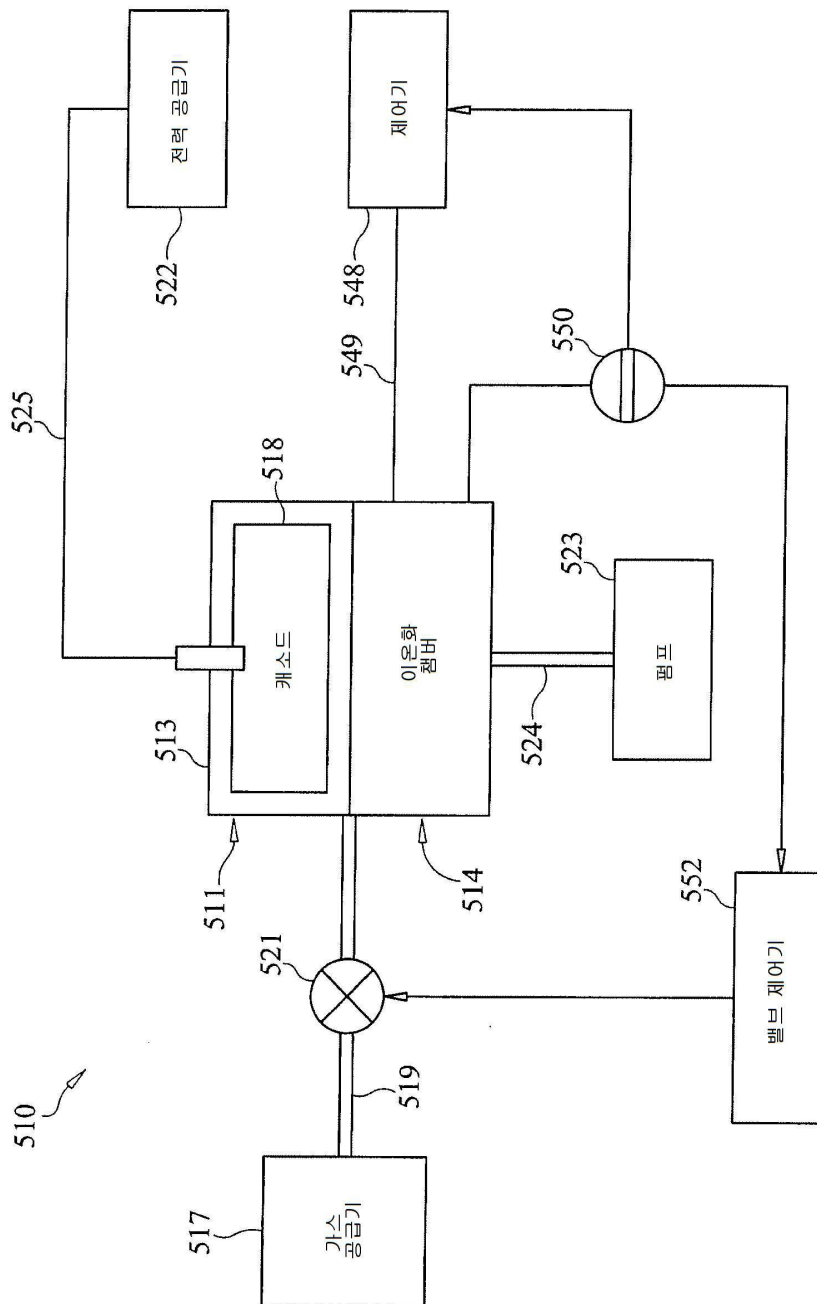




도면6

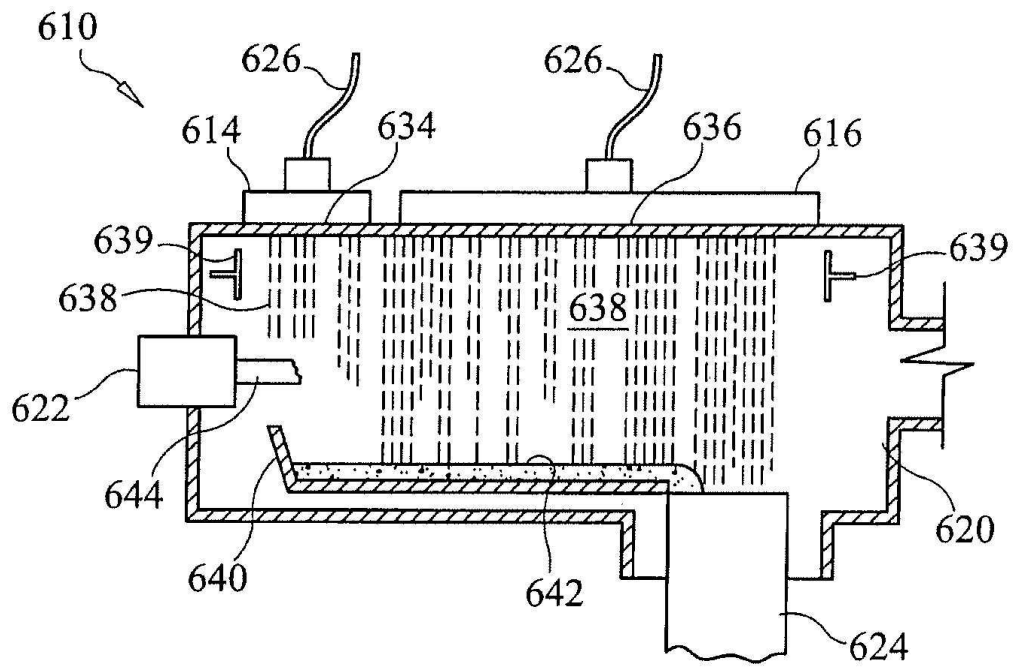


도면7

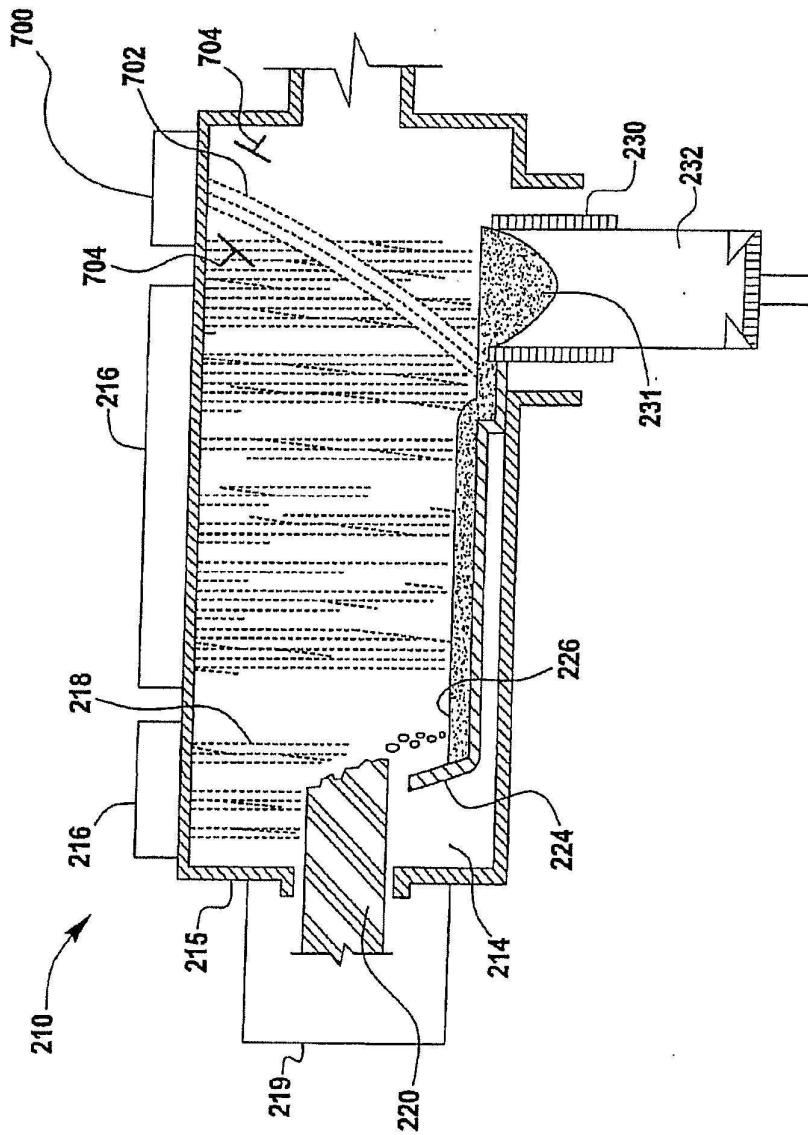




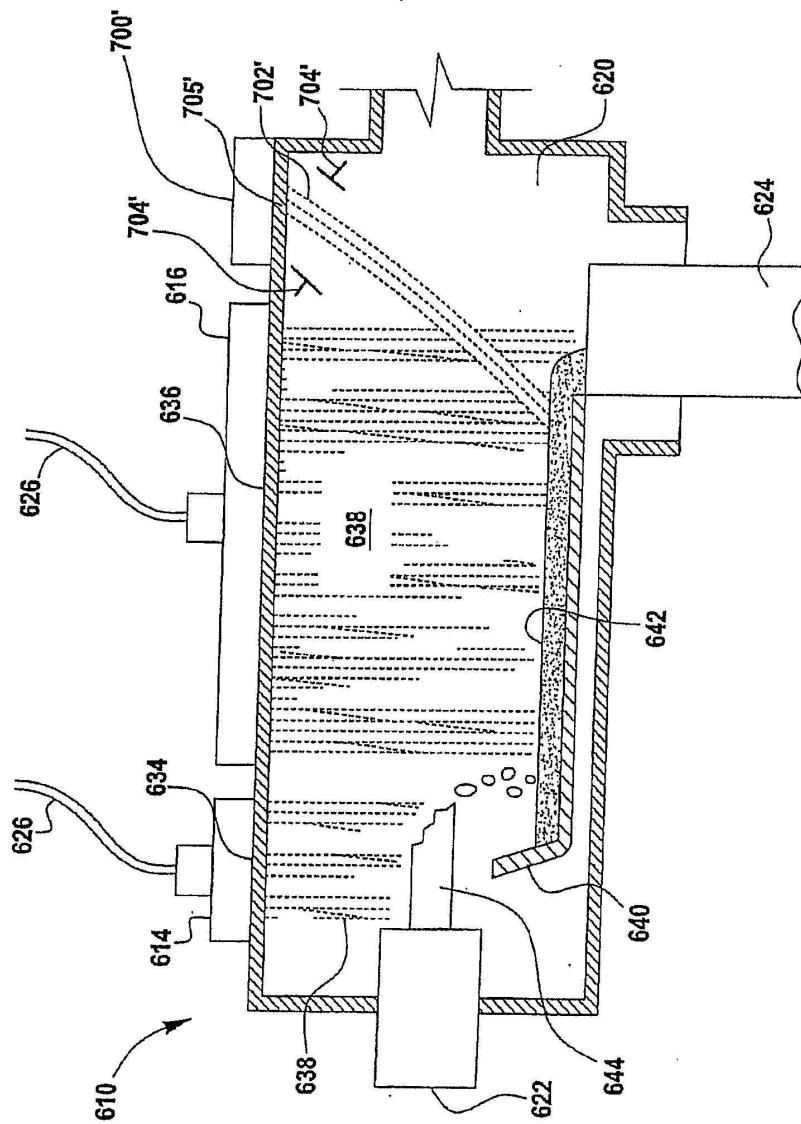
도면8



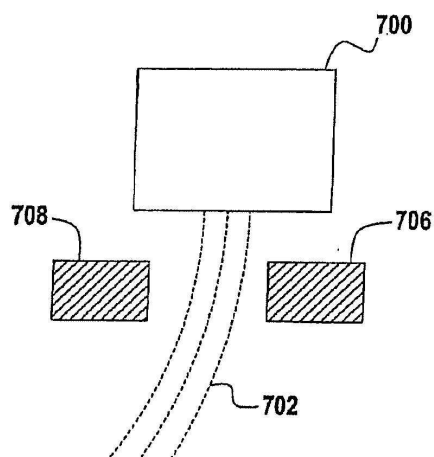
도면9



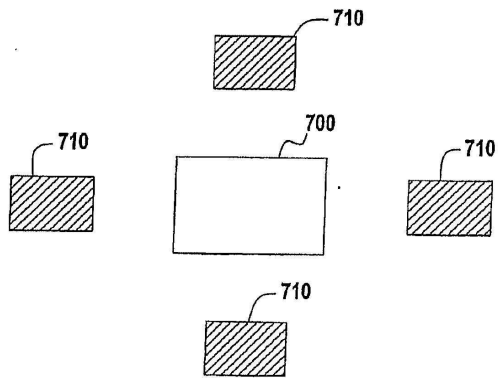
도면10



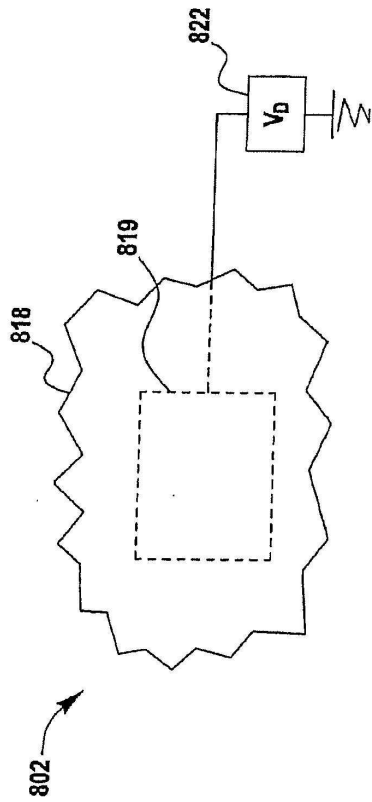
도면11



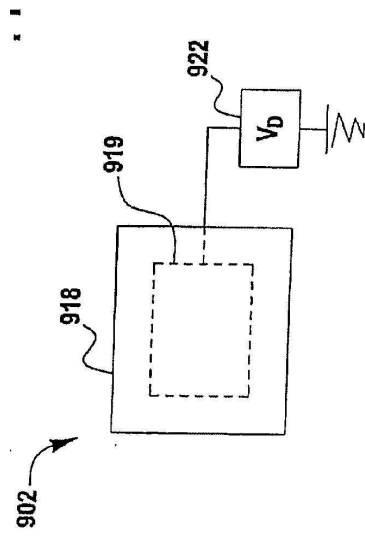
도면12



도면13



도면14



도면15

