



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년03월28일  
(11) 등록번호 10-2652202  
(24) 등록일자 2024년03월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01J 37/073 (2006.01) H01J 1/304 (2006.01)  
H01J 37/317 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
H01J 37/073 (2013.01)  
H01J 1/304 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0011633  
(22) 출원일자 2019년01월30일  
심사청구일자 2021년11월18일  
(65) 공개번호 10-2019-0092308  
(43) 공개일자 2019년08월07일  
(30) 우선권주장  
18154140.0 2018년01월30일  
유럽특허청(EPO)(EP)  
(56) 선행기술조사문헌  
JP2017027917 A\*  
JP2012174691 A  
US20110084219 A1  
US20170032926 A1  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
아이엠에스 나노패브리케이션 게엠베하  
오스트리아 브룬암게비르게 2345 볼프홀츠가세  
20-24  
(72) 발명자  
플라츠구머 엘마르  
오스트리아 1090 빈 스트루들호프가세 17  
카프리오티 마티아  
오스트리아 1200 빈 레이스트라체 127  
스팽글러 크리스토프  
오스트리아 1150 빈 디펜바흐가세 38-7  
(74) 대리인  
특허법인와이에스장

전체 청구항 수 : 총 18 항

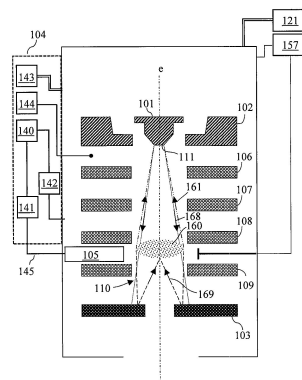
심사관 : 홍종선

(54) 발명의 명칭 대전 입자 소스 및 후방산란을 이용한 대전 입자 소스를 세정하는 방법

(57) 요약

이미터 표면(111)을 갖는 이미터 전극(101)과 카운터 전극(103) 사이에 배치된, 전자 또는 다른 전기적으로 대전된 입자를 방출하기 위한 대전 입자 소스(100)는 적어도 2 개의 조정 전극(106, 107, 108, 109)을 포함하고, 압력 조절 장치(104)는 소정의 압력 값으로 소스 공간(110) 내의 가스 압력을 제어하도록 구성된다. 입자 소스(100)의 제1 세정 모드에서, 이미터 및 카운터 전극(101, 103) 사이에 전극을 인가하는 것은 가스 입자들을 카운터 전극(103)을 향해 지향시켜, 소스 공간 내의 입자들(161)을 이온화시키는 2차 전자를 생성하고, 정전기 전위는 조정 전극(106-109) 중 적어도 일부에 인가되어, 이온화된 가스 입자(161)들을 이미터 표면(111) 상으로 유도하는 전기장을 생성한다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

**H01J 37/3174** (2013.01)

H01J 2237/3173 (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

방출 방향(e)을 따라 대전 입자 빔으로서 전기적으로 대전된 입자를 방출하도록 구성된 대전 입자 소스(100)로서, 상기 대전 입자 소스는:

- 상기 대전 입자 소스가 고 진공에서 작동될 수 있게 하는, 진공 시스템(121)에 연결 가능한 하우징(120),
  - 상기 방출 방향을 따라 특정 입자 종의 대전 입자를 방출하도록 구성된 이미터 표면(111)을 갖는 이미터 전극(101),
  - 상기 전기적으로 대전된 입자의 부호와는 반대 부호의, 상기 이미터 전극(101)과 관련된 정전기 전압이 인가되도록 구성된 카운터 전극(103)으로서, 상기 방출 방향을 따라 상기 이미터 표면의 하류 위치에 이미터 애퍼처(1130)를 갖는 상기 카운터 전극;
  - 상기 이미터 표면(111)과 이미터 애퍼처(113) 사이에 형성된 소스 공간(110),
  - 상기 이미터 전극(101)과 상기 카운터 전극(103) 사이의 상기 소스 공간(110)을 둘러싸도록 배치된 적어도 2개의 조정 전극(106, 107, 108, 109)으로서, 각각의 조정 전극은 상기 카운터 전극 및 이미터 전극 중 적어도 하나와 관련된 제어된 정전기 전압이 인가되도록 구성된, 상기 적어도 2개의 조정 전극(106, 107, 108, 109), 및
  - 상기 소스 공간(110)에 존재하는 가스의 압력을 제어하도록 구성된 압력 조절 장치(104)를 포함하고,
- 상기 입자 소스(100)는 상기 이미터 및 카운터 전극(101, 103) 사이에 전압이 인가되어 상기 방출 방향(e)을 따라 상기 입자 소스를 떠나는 대전 입자의 발생을 야기하는 방출 모드로 동작 가능하고,
- 상기 입자 소스(100)는 추가로 제 1 세정 모드로 동작 가능하며, 제 1 세정 모드에서는,
- 가스는 상기 소스 공간(110) 내에서 사전 설정된 압력 값으로 유지되고 상기 이미터 및 카운터 전극(101, 103) 사이에 전압을 인가하고, 상기 카운터 전극(103)에서 대전 입자에 의해 생성된 2차 전자(169)는 상기 소스 공간 내의 상기 가스의 입자들을 이온화하여 이온화된 가스 입자(161)를 생성하고, 그리고
  - 상기 조정 전극(106-109) 중 적어도 일부에 정전기 전위가 인가되어, 상기 이온화된 가스 입자(161)를 상기 이미터 표면(111) 상으로 유도하는 전기장을 생성하는 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

- 상기 소스 공간으로 에너지 방사선(175)을 조사하도록 구성된 가스 이온화 장치(105)로서, 에너지 방사선(175)은 상기 소스 공간에 존재하거나 상기 소스 공간으로 공급되는 상기 가스의 입자들을 이온화하여 플라즈마(170)를 생성할 수 있는 것인, 상기 가스 이온화 장치(105)를 더 포함하고,

상기 입자 소스는 제2 세정 모드로 동작 가능하고, 제2 세정 모드에서, 상기 가스 이온화 장치(105)는 상기 소스 공간 내의 가스에 플라즈마(170)를 생성하도록 동작되고, 상기 플라즈마(170)를 상기 이미터 표면으로 보내기 위해 상기 조정 전극(106-109) 중 선택된 것들 사이에 전압을 인가하는 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 에너지 방사선은 전자를 포함하고, 상기 이온화 장치는 상기 전자를 상기 소스 공간으로 주입하도록 구성된 전자 총인 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 4

제 2 항 또는 제 3 항에 있어서, 상기 이온화 장치는 상기 방출 방향에 대하여 횡방향을 따라 상기 소스 공간으

로 상기 에너지 방사선을 조사하도록 구성된 중공 캐소드 전자 총(hollow-cathode electron gun)인 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 5

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 압력 조절 장치(104)는 상기 제 1 세정 모드에서의 작동 중에 이온화될 하나 이상의 가스 종을 상기 소스 공간(110)으로 공급하도록 구성되며, 그 동안 상기 이미터 전극과 상기 카운터 전극(101, 103) 사이에 전압이 인가되는 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 6

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 이미터 전극과 관련된 상이한 정전기 전위가 인가될 수 있는 조정 전극의 수는 2 이상 5 이하인 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 7

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 조정 전극 중 적어도 2개는 분할 전극(60)으로서 실현되고, 상기 분할 전극의 각각은 4 개의 부채꼴 전극(61, 62, 63, 64)으로 구성되고, 상기 부채꼴 전극은 상이한 정전기 전위가 인가되도록 구성된 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 8

제 7 항에 있어서, 이온화된 입자들을 상기 이미터 표면상의 특정 영역으로 보내기 위해 세정 모드 동안 상기 분할 전극을 사용하도록 구성된 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 9

제 7 항에 있어서, 상기 카운터 전극 및 상기 분할 전극을 포함하는 조정 전극의 정전기 전위에 의해 상기 이미터 표면에 충돌하는 이온화된 입자의 강도를 조정하도록 구성된 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 10

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

- 상기 이미터 전극과 상기 조정 전극 사이에 위치하는 웨넬트(Wehnelt) 유형의 제어 전극을 더 포함하고, 상기 제어 전극은 상기 이미터 전극에 대한 상기 카운터 전극의 제어 전압과 반대의 이미터 전극에 대한 제어 전압이 인가되도록 구성되고, 상기 방출 방향을 따라 상기 이미터 전극의 하류 위치에 제어 애퍼처를 가지는 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

#### 청구항 11

전기적으로 대전된 입자들의 빔으로 노광함으로써 타겟(16)을 처리 또는 검사하기 위한 대전 입자 멀티-빔 장치(1)로서,

- 조명 시스템(3),
- 패턴 정의 장치(4), 및
- 투영 광학 시스템(5)을 포함하고,

상기 조명 시스템(3)은 제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 따른 대전 입자 소스를 포함하는 것을 특징으로 하는 전기적으로 대전된 입자들의 빔으로 노광함으로써 타겟(16)을 처리 또는 검사하기 위한 대전 입자 멀티-빔 장치(1).

#### 청구항 12

이미터 전극과 카운터 전극(103) 사이에 전압을 인가함으로써 방출 방향(e)을 따라 전기적으로 대전된 입자를 방출하도록 구성된 대전 입자 소스(100)의 이미터 전극(101)의 현장(in-situ) 세정 방법으로서, 상기 방법은:

- 상기 이미터 및 카운터 전극(101, 103) 사이에 위치하는 소스 공간(110) 내의 가스 압력을 조절하고 상기 이미터 및 카운터 전극(101, 103) 사이에 전압을 인가하는 단계로서, 상기 카운터 전극(103)에서 대전 입자에 의

해 생성된 2차 전자(169)는 상기 소스 공간 내의 상기 가스의 입자들을 이온화시켜 이온화된 가스 입자(161)를 생성하는 것인, 상기 가스 압력을 조절하고 상기 이미터 및 카운터 전극(101, 103) 사이에 전압을 인가하는 단계, 및

- 상기 이미터 전극의 이미터 표면(111)과 상기 카운터 전극 사이에 위치하는 조정 전극(106-109)에 정전기 전위를 인가하여, 상기 이온화된 가스 입자(161)를 상기 이미터 표면(111) 상으로 유도하는 전기장을 생성하는 단계를 포함하고,

적어도 2개의 조정 전극은 상기 이미터 및 카운터 전극 사이의 공간에 제공되고, 상기 조정 전극 각각은 분할 전극으로서 실현되어 있고, 각각의 분할 전극은 적어도 2개의 부채꼴 전극(61, 62, 63, 64)으로 이루어지며, 상기 부채꼴 전극에는 이온화된 입자들을 상기 이미터 표면 상의 특정 영역으로 보내기 위해, 상이한 정전기 전위가 인가되는 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100)의 이미터 전극(101)의 현장 세정 방법.

### 청구항 13

대전 입자 소스(100)의 이미터 전극(101)의 현장(in-situ) 세정 방법으로서, 상기 방법은:

- 상기 대전 입자 소스의 소스 공간(110) 내의 가스 압력을 조절하는 단계,
- 상기 대전 입자 소스의 방출 방향(e)에 대하여 횡방향을 따라 상기 소스 공간(110) 내로 에너지 방사선(175)을 조사하는 단계로서, 상기 에너지 방사선(175)은 상기 소스 공간 내의 상기 가스의 입자들을 이온화하여 플라스마(170)를 생성할 수 있는 것인, 상기 에너지 방사선(175)을 조사하는 단계, 및
- 상기 이미터 전극(101)과 상기 이미터 전극의 카운터 전극(103) 사이에 위치하는 조정 전극(106-109)에 정전기 전위를 인가하여, 상기 플라스마(170)를 상기 이미터 전극의 이미터 표면(111) 상으로 유도하는 전기장을 생성하는 단계를 포함하고,

적어도 2개의 조정 전극은 상기 이미터 및 카운터 전극 사이의 공간에 제공되고, 상기 조정 전극 각각은 분할 전극으로서 실현되어 있고, 각각의 분할 전극은 적어도 2개의 부채꼴 전극(61, 62, 63, 64)으로 이루어지며, 상기 부채꼴 전극에는 이온화된 입자들을 상기 이미터 표면 상의 특정 영역으로 보내기 위해, 상이한 정전기 전위가 인가되는 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100)의 이미터 전극(101)의 현장 세정 방법.

### 청구항 14

제 12 항 또는 제 13 항에 있어서, 상기 분할 전극으로서 실현되어 있는 조정 전극 각각은 4개의 부채꼴 전극(61, 62, 63, 64)으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100)의 이미터 전극(101)의 현장 세정 방법.

### 청구항 15

제 12 항 또는 제 13항에 있어서, 상기 조정 전극의 전압은 시간에 따라 스텝식으로 변화되고, 각 스텝에 대하여 상기 조정 전극의 전압은 각각의 지속 기간 동안 유지되는 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100)의 이미터 전극(101)의 현장 세정 방법.

### 청구항 16

제 12항 또는 제 13항에 있어서, 상기 대전 입자 소스는 전자를 방출하도록 구성된 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100)의 이미터 전극(101)의 현장 세정 방법.

### 청구항 17

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 대전 입자 소스는 전자를 방출하도록 구성된 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

### 청구항 18

제 3 항에 있어서, 상기 전자 총은 상기 전자를 방출 방향에 대하여 횡방향으로 상기 소스 공간으로 주입하도록 구성된 것을 특징으로 하는 대전 입자 소스(100).

## 발명의 설명

## 기술 분야

## 배경 기술

- [0001] (본 발명의 기술 분야 및 종래 기술의 설명)
- [0002] 본 발명은 특히 멀티-빔(multi-beam) 타입의, 대전 입자 나노-패터닝(charged-particle nano-patterning)에 사용하거나, 그 일부로서 사용하기에 적합한 대전 입자 소스에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명은 방출 방향을 따른 대전 입자 빔으로서 전기적으로 대전된 입자, 특히, 전자를 방출하는 소스에 관한 것으로서, 이 대전 입자 소스는:
- [0003] - 대전 입자 소스가 고 진공에서 작동 가능하게 만드는, 진공 시스템에 연결될 수 있는 하우징,
- [0004] - 방출 방향을 따라 특정 입자 중(예를 들어, 전자, 그러나 대안으로서 이온, 특히 양의 전하를 운반하는 이온도 가능하다)의 대전 입자를 방출하도록 구성된 이미터 표면을 가지는 이미터 전극(즉, 대전 입자가 각각 양 또는 음의 전하를 운반하는지 여부에 따라 이미터 애노드 또는 캐소드),
- [0005] - 전기 대전된 입자와 반대 부호로 이미터 전극에 대해 정전기 전압(electrostatic voltage)이 인가되도록 구성된 카운터 전극으로서, 상기 방출 방향을 따라 이미터 표면의 하류 위치에 이미터 애퍼처(aperture)를 갖는 상기 카운터 전극, 및
- [0006] - 이미터 표면과 이미터 애퍼처 사이에 형성된 공간(이 공간을 소스 공간이라 함)을 포함한다.
- [0007] 이러한 유형의 대전 입자 소스는, 예를 들어, 나노-패터닝 또는 반도체 기판 검사를 위한 대전 입자 멀티-빔 틀에서 입자 빔을 생성하는 소스로서 사용된다. 본 출원인은 전술한 유형의 대전 입자 멀티 빔 틀을 실현하였고, 대응하는 대전 입자 광학계, 패턴 정의(PD) 소자 및 멀티 빔 기록 방법, 특히, EUV 리소그래피 용 마스크와 나노 임프린트 리소그래피 용 템플릿( $1 \times$  마스크)의 193nm 이머전 리소그래피 용 최첨단 복합 포토 마스크를 실현하기 위한 50 keV 전자 멀티-빔 라이터를 개발하였다. 이 시스템은 6" 마스크 블랭크 기판을 노출시키기 위한 eMET(electron Mask Exposure Tool) 또는 MBMW(multi-beam mask writer)라 불린다. 멀티 빔 시스템은 실리콘 웨이퍼 기판상의 EBDW(Electron Beam Direct Writer) 응용 분야에서 PML2(Projection Mask-Less Lithography)로 불려왔다. 멀티 빔 열 및 쓰기 방법(multi-beam column and writing method)은 멀티 빔 검사 응용 분야에도 사용할 수 있다.
- [0008] 도 2는 전형적인 멀티-빔 라이터 및 그 주요 구성요소(2)의 개략도를 도시한다. 이러한 유형의 리소그래피 장치는 본 출원인의 US 6,768,125, EP 2 187 427 A1(= US 8,222,621) 및 EP 2 363 875 A1(= US 8,378,320)과 같은 종래 기술에 잘 알려져 있다. 다음에서, 당업자가 본 발명의 다양한 실시예를 실시할 수 있도록 본 발명의 특정 실시예를 개시하기 위해 필요에 따라 그 세부사항만 제공된다. 명료성을 위해, 구성요소는 도 2에서 크기대로 도시되지 않았다. 리소그래피 장치(1)의 주요 구성요소는(이 예에서 도 2에서 수직 하향으로 진행되는 리소그래피 빔(50, 50b)의 방향에 대응하여) 조명 시스템(3), 패턴 정의(PD) 시스템(4), 투영 시스템(5) 및 기판(16)을 갖는 타겟 스테이션(6)이다. 전체 장치(1)는 장치의 광축(cx)을 따라 빔(50, 50b)의 방해 받지 않는 전파를 보장하기 위해 진공 하우징(2) 내에 포함되며 배타적인 것은 아니지만 일반적으로 고 진공으로 유지된다. 본 명세서에서 사용되는 '고 진공'이라는 용어는  $0.1 \cdot 10^{-3}$  Pa 미만의 압력의 진공을 의미한다. 하우징(2)이 고 진공으로 유지되더라도, 잔류 가스 입자는 잔존하고 결과적으로 빔(50, 50b) 및/또는 장치(1) 구성요소와 약하게 상호 작용한다는 것에 주목해야 한다. 대전 입자 광학 시스템(3, 5)은 정전 및/또는 자기 렌즈를 사용하여 실현된다.
- [0009] 조명 시스템(3)은, 예를 들어, 본 발명의 일 실시예로서 전자 소스(7), 추출 시스템(8) 및 집광 렌즈 시스템(9)을 포함한다. 그러나, 전자 대신에, 일반적으로 다른 전기적으로 대전된 입자가 또한 사용될 수 있음을 알아야 한다. 전자 이외에 것들은, 예를 들어, 수소 이온 또는 중이온, 대전된 원자 클러스터 또는 대전된 분자일 수 있다.
- [0010] 추출 시스템(8)은 전형적으로 수 keV, 예컨대, 5 keV의 한정된 에너지로 입자를 가속시킨다. 집광 렌즈 시스템(9)에 의해, 소스(7)로부터 방출된 입자는, 일반적으로 그러나 배타적이지는 않게, 리소그래피 빔(50)으로서 역

할하는 넓은 입자 빔으로 형성된다. 그 다음, 리소그래피 빔(50)은 복수의 개구 또는 애퍼처(24)(도 3)를 갖는 다수의 플레이트를 포함하는 PD 시스템(4)을 조사한다. PD 시스템(4)은 리소그래피 빔(50)의 경로 내의 특정 위치에 유지되며, 이는 복수의 애퍼처를 조사하고 다수의 빔렛으로 분할된다.

[0011] 도 3을 참조하면, PD 시스템(4)의 애퍼처들(26) 중 일부는 빔(빔렛(51))의 일부가 그것을 통해 전달되어 목표물에 도달한다는 점에서 입사 빔에 대하여 투명하도록 "스위치 온" 또는 "개방"되고, 다른 개구는 "스위치 오프" 또는 "폐쇄"된다, 즉, 대응하는 빔렛(52)이 타겟에 도달할 수 없으므로 사실상 이들 애퍼처 및/또는 개구는 빔에 대해 투명하지 않다(불투명하다). 따라서, 리소그래피 빔(50)은 PD 시스템(4)으로부터 나오는 패터닝된 빔(50b)(빔렛(51 및 52)으로 구성됨)으로 구성된다. 리소그래피 빔(50)에 대해 투명한 PD 시스템(4)의 유일한 부분인 스위치 온 애퍼처의 패턴은 타겟(16) 상에 노광될 패턴에 따라 선택된다. 빔렛들의 "스위칭 온/오프"는 통상적으로 PD 시스템(4)의 플레이트들 중 하나에 제공된 일종의 편향 수단에 의해 실현된다는 것을 이해해야 한다. "스위치 오프" 빔렛은 그들의 경로로부터(매우 작은 각도 만큼) 편향되어 그들은 타겟에 도달할 수 없지만 주로 리소그래피 장치의 어딘가에서, 예컨대, 흡수 플레이트(또는, 동등한 용어로서 "스탑 애퍼처 플레이트")에 의해 흡수된다. PD 시스템(4)(도 3)의 구조 및 기능에 대한 더 상세한 설명은 본원에 참조로서 포함된 본 출원인의 US 9,653,263 및 US 9,799,487에서 찾을 수 있다.

[0012] 패터닝된 빔(50b)에 의해 표현되는 패턴은 전자-자기-광-투영 시스템(5)에 의해 기관(16) 상에 투영되고, 여기서 그것은 "스위치 온" 애퍼처 및/또는 개구의 이미지를 형성한다. 투영 시스템(5)은 다수의 연속적인 전자-자기-광 렌즈 구성요소(10a, 10b, 10c)를 포함하고 2 개의 교차점(c1 및 c2)을 갖고, 예를 들어, 200 : 1의 축소를 구현한다. 또한, 편향 수단(12a, 12b, 12c)은 이미지를 횡방향으로 이동시키기 위해 콘덴서(3) 및/또는 투영 시스템(5)에 제공될 수 있다. 타겟 또는 "기관"(16)은 예를 들어 입자 감응성 레지스트 층(17)으로 덮인 6" 마스크 블랭크 또는 실리콘 웨이퍼이다. 기관은 척(chuck)(15)에 의해 유지되고 타겟 스테이션(6)의 기관 스테이지(14)에 의해 위치조절된다.

[0013] 장치(1) 및 관련 프로세싱 및 기록 방법과 같은 리소그래피 장치의 동작은, 예를 들어, 본 출원인의 미국 특허 제 9,053,906 호 및 본 출원인의 미국 특허 제 6,768,125 호, 미국 특허 제 8,222,621 호 및 미국 특허 제 8,378,320 호에 개시되어 있으며, 이들 문헌의 개시 내용은 본 명세서에 참고로 포함되어 있다.

[0014] 레지스트 층(17)에 도달하는 각각의 빔렛의 도즈 비율은 궁극적으로 대전 입자 소스에 의해 생성된 리소그래피 빔의 국부적 전류 밀도와 연관되고, 이는 기본적으로 광축으로부터의 거리의 반경 함수이다. 그러나, 일반적으로 전류 밀도는 또한 소스 방출 불균일성(source emission inhomogeneity)으로 인해 발생하는 위치 의존적 성분을 나타낼 수도 있다. 후자는 캐소드 표면의 오염, 하우징(2)에 존재하는 잔류 가스 및 많은 다른 요인들에 의해 결정된다. 당업자라면 소스 캐소드 표면으로부터 오염물을 제거하는 것이 장치의 효율 및 장기 신뢰성에 결정적으로 중요하다는 것을 알 수 있을 것이다.

[0015] 스퍼터링 또는 에칭(특히 화학적 플라즈마 에칭을 포함)에 의해 표면을 약간 침식하는 세정 공정에 의해 표면으로부터 오염물을 제거하는 것이 일반적이다. 그러나 입자 빔 처리 장치(예컨대: eMET)에 설치할 캐소드의 경우, 캐소드는 장치에 장착되기 전에만 세정/스퍼터링될 수 있다. 따라서, 종래 기술로부터 공지된 세정 절차는 장착 또는 작동 중에 축적된 오염 요인에 대해 효과적이지 않을 것이다.

## 발명의 내용

## 해결하려는 과제

## 과제의 해결 수단

[0016] 상기와 관련하여, 본원 발명의 한가지 목적은 소스 환경에서 입자 소스를 직접 세정 할 수 있는 입자 소스 및 입자 소스 세정 방법을 제공하여, 광학 시스템의 분해없이 소스의 캐소드의 '현장(in situ)' 세정을 제공하는 것이다. 즉, eMET 장치의 나머지 부분으로부터 소스 물체를 물리적으로 제거하지 않아도된다. 세정 메커니즘은 주로 스퍼터링 또는 에칭을 사용하는 것으로 고려된다. 본 발명의 또 다른 목적은 소스 환경에 존재하는 대전 입자들의 궤적을 제어 할 수 있게 하는 입자 소스 및 세정 방법을 제공하는 것이다.

[0017] 상기 언급 한 목적은 초기에 언급된 구성요소에 부가하여, 아래의 것을 포함하는 대전 입자 소스에 의해 충족된다.



- [0018] - 이미터 전극과 카운터 전극 사이의 소스 공간을 둘러싸도록 배치된 적어도 2개의 조정 전극으로서, 각각의 조정 전극은(어떤 것이 기준점으로 선택되느냐에 따라) 카운터 전극 또는 이미터 전극에 대해 제어된 정전기 전압이 인가되도록 구성되어 있는 것인, 상기 적어도 2 개의 조정 전극, 및
- [0019] - 소스 공간 내의 가스 압력을 제어하도록 구성된 압력 조절 장치.
- [0020] 여기서, 상기 입자 소스는 이미터와 카운터 전극 사이에 인가된 전압이 방출 방향을 따라 입자 소스를 떠나는 대전 입자의 생성을 야기하는 방출 모드로서 작동 가능할 뿐만 아니라, 이미터와 카운터 전극 사이에 전압을 인가하는 동안 소스 공간 내의 가스가 미리 정해진 압력 값으로 유지되는 제1 세정 모드로서 작동 가능하고, 카운터 전극에서 대전된 입자에 의해 생성되는 2차 전자는 소스 공간으로 공급되는 상기 가스의 입자들을 이온화하여 이온화된 가스 입자를 생성하고, 정전기 전위는 조정 전극들 중 적어도 일부에 인가되어, 이들 이온화된 가스 입자들을 이미터 표면 상으로 유도하는 전기장을 생성한다. 소스 공간에 존재하는 가스는, 예를 들어, 아마도 압력 조절기 장치(예를 들어, MFC 또는 다른 적절한 계량 장치를 포함)의 제어하에서, 가스 소스(또는 다수의 가스 소스)로부터 공급되는 가스일 수 있거나, 또는 잔류 가스를 포함하는 대기로부터의 가스일 수 있다.
- [0021] 즉, 상기 제 1 세정 모드에 대응하는 세정 방법은:
- [0022] - 대전 입자 소스의 소스 공간 내의 가스 압력을 조절하고(언급된 바와 같이, 가스는 대기 가스일 수도 있고, 또는 아마도 압력 조절 장치를 통해 공급되는 일부 가스 소스로부터 제공될 수 있다), 이미터 전극과 카운터 전극 사이에 전압을 인가하여(여기서, 카운터 전극에서 대전 입자에 의해 발생된 2 차 전자는 소스 공간에서 상기 가스의 입자들을 이온화시키고), 이온화된 가스 입자들을 생성하는 단계, 및
- [0023] - 이미터 표면과 카운터 전극 사이에 위치한 조정 전극에 정전기 전위를 인가하여 상기 이온화된 가스 입자를 이미터 표면 상으로 유도하는 전기장을 발생시키는 단계를 포함한다.
- [0024] 이 방법은 대전 입자 소스에서 효율적으로 세정을 구현한다. 또한 소스 환경에 존재하는 대전 입자의 궤적을 생성, 추출 및/또는 제어하기 위한 효율적인 도구를 제공한다. 이온화된 가스 입자는 예를 들어 스퍼터링(백-스퍼터링) 및/또는 에칭 효과에 의해 표면으로부터 물질을 제거하기 위해 이미터 표면 상으로 지향된다. 세정 모드에서, 소스 공간에서의 가스 종의 이온화는 이미터 표면에 의해 생성된 1 차 빔 방사선으로부터 부분적으로 또는 전체적으로 분리된다. 언급된 제 1 세정 모드("소프트 세정 모드"라고도 함)에서, 이온화는 카운터 전극 및 가능하게는 소스 전극을 둘러싸는 다른 구성요소들(예를 들어, 이하에 설명되는 조정 전극들)에서 방출된 2 차 전자들이 1 차 빔 방사선의 입자에 부딪치는 결과로서 강화된다.
- [0025] 따라서, 본 발명은 세정 프로세스 동안 소스의 동작 파라미터에 관하여 더 큰 자유도를 제공하고, 이온화 방사선의 에너지를 더 잘 조절할 수 있게 함으로써, 원하는 세정 결과, 이온화가 일어나는 소스 공간 내의 바람직한 위치, 및 궁극적으로 이미터 표면의 효율적인 세정을 달성하기에 적합한 작동 파라미터에 대한 소스 공간에 존재하는 가스 종의 이온화 속도를 달성한다. 따라서, 이미터 표면에서의 스퍼터링 속도의 제어가 개선된다. 이온화 속도는, 예를 들어, 'Y. K. Kim & M. E. Rudd, Phys.Rev. A 50, 3954(1994)'의 "Binary-encounter-dipole model for electron-impact ionization"에 제시된 바이너리-인카운터 다이폴 모델에 기초하여 조정될 수 있다. 본 발명의 소스 구성은 환경으로부터의 잔류 가스와 같이 비 의도적으로 존재하는 종을 포함하여 소스 공간에 존재하는 대전 입자 궤도의 개선된 제어를 가능하게 한다.
- [0026] 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 대전 입자 소스는 가스 이온화 장치를 더 포함하며, 상기 가스 이온화 장치는 소스 공간 내로 에너지 방사선을 조사하도록 구성되며, 이 에너지 방사선은 소스 공간에 존재하고 및/또는 소스 공간으로 공급되는 상기 가스의 입자를 이온화할 수 있고, 그로 인해 플라즈마가 얻어진다(여기서, 예를 들어 적어도 1 %의 이온화 도를 갖는 약 이온화된 플라즈마가 충분하다.) 입자 소스는 제 2 세정 모드로 작동 가능하며, 제2 세정 모드에서 전압은 소스 공간 내의 가스 내에 플라즈마를 생성시키고 그러한 플라즈마를 이미터 표면으로 보내기 위해 가스 이온화 장치를 작동시키는 동안 조정 전극 중 선택된 것들 사이에 인가된다.
- [0027] 즉, 제 2 세정 모드에 대응하는 세정 방법은:
- [0028] - 아마도 대전-입자 소스의 소스 공간 내로 가스를 공급하는 단계를 포함하는, 소스 공간 내의 가스 압력을 조절하는 단계,
- [0029] - 바람직하게는 방출 방향에 수직인 방향을 따라 에너지 방사선(예를 들어, 전자)을 소스 공간으로 조사하는 단계로서, 상기 에너지 방사선은 소스 공간 내의 상기 가스의 입자를 이온화하여 플라즈마를 얻을 수 있는 것인, 상기 조사하는 단계, 및



- [0030] - 이미터 전극과 카운터 전극 사이에 위치한 조정 전극에 정전기 전위를 인가하여, 상기 플라즈마를 이미터 전극의 이미터 표면상으로 유도하는 전기장을 발생시키는 단계를 포함한다.
- [0031] 제 2 세정 모드를 사용하면, 대전 입자 소스에서 또 다른 매우 효율적인 세정 프로세스가 제공된다. 플라즈마는, 예를 들어, 스퍼터링 및/또는 에칭 효과에 의해 표면으로부터 재료를 제거하기 위해 이미터 표면상으로 지향된다. 또한 이 세정 모드에서, 소스 공간 내의 가스 중의 이온화는 이미터 표면에 의해 생성된 1 차 빔 방사선으로부터 분리된다.
- [0032] 특히, 에너지 방사선은 전자를 포함할 수 있고, 가스 이온화 장치는 상기 전자를 소스 공간으로, 예를 들어, 방출 방향에 대하여 횡방향으로 주입하도록 구성된 전자 총이다. 특정 유리한 실시예에서, 가스 이온화 장치는 방출 방향에 대해 횡방향으로 소스 공간으로(전자와 같은) 에너지 방사선을 조사하도록 구성된 중공-캐소드 전자 총으로 구현될 수 있다.
- [0033] 또한, 본 발명의 많은 유리한 실시예들에서, 압력 조절 장치 자체는 가스를 소스 공간으로 공급할 수 있다. 따라서, 압력 조절 장치는 바람직하게는 그리고 특히 세정 모드 동작 중에 이미터 전극과 카운터 전극 사이에 전압이 인가되는 동안에, 제 1 세정 모드로의(및 적용 가능한 경우, 또한 제 2 세정 모드로의) 동작 중 이온화될 예정인 하나 이상의 가스 종을, 소스 공간으로 공급할 수 있다. 대안으로서 또는 조합하여, 압력 조절 장치는 적어도 하나의 가스 종을 그렇게 주입된 가스 종의 사전 설정된 압력으로 상기 소스 공간으로 공급하도록 구성될 수 있다.
- [0034] 이미터 전극에 대하여 상이한 정전기 전위가 인가될 수 있는 조정 전극의 수는 적절하게 선택될 수 있다. 즉, 전형적으로 이 개수는 2와 5 사이에 놓이고, 바람직하게는 4이다.
- [0035] 세정 공정을 더 개선하고 세정될 위치를 더 잘 제어 할 수 있게 하기 위해, 조정 전극 중 적어도 2 개가 분할 전극으로서 실현되고, 각각의 분할 전극이 적어도 2 개, 바람직하게는 4 개의 섹터 전극을 포함하며, 섹터 전극들은 상이한 정전기 전위가 인가되도록 구성된다. 또한, 이들 분할 전극은 이온화된 입자를 이미터 표면상의 특정 영역으로 유도하기 위해 세정 모드 중에 사용될 수 있다. 대안으로서 또는 조합하여, 분할 전극은 카운터 전극 및 분할 전극을 포함하는 조정 전극의 정전기 전위에 의해 이미터 표면 상에 충돌하는 이온화된 입자의 강도를 조정하도록 구성될 수 있다.
- [0036] 세정 프로세스의 또 다른 개선, 특히 상승된 균질성을 달성하기 위해, 시간이 경과함에 따라 관련된 조정 전극의 전압을 변화시키는 것이 유용 할 수 있다. 이는 단계적으로 수행될 수 있으며, 각 단계에서 조정 전극의 전압은 각각의 지속 기간 동안 유지된다. 전압 레벨 및 관련 지속 기간은 세정 작용의 바람직한 프로파일을 달성하도록 적절하게 선택된다.
- [0037] 본 발명의 대전 입자 소스는 웨넬트(Wehnelt) 타입의 제어 전극을 더 포함 할 수 있으며, 이 웨넬트 전극은 이미터 전극과 조정 전극 사이에, 바람직하게는 이미터 전극에 더 근접하게 배치되며, 상기 제어 전극은 이미터 전극에 대하여 카운터 전극의 제어 전압과 반대의 제어 전압이 인가되도록 구성되고, 상기 방출 방향을 따라 이미터 전극의 하류 위치에 제어 애퍼처를 구비한다.
- [0038] 본 발명의 대전 입자 소스는 본 발명에 따른 대전-입자 소스를 포함하는 조명 시스템, 패턴 정의 디바이스 및 투영 광학 시스템을 포함하는, 전기적으로 대전된 입자들의 빔으로 노광함으로써 타겟의 처리 또는 검사를 위한 대전 입자 멀티-빔 장치에서의 사용에 특히 유익하다.

### 도면의 간단한 설명

- [0039] 이하에서, 본 발명을 추가로 설명하기 위해, 도면에 도시된 예시적이고 비 제한적인 실시예에 대한 설명이 제공된다.

도면은 다음을 도시한다.

- 도 1                    본 발명의 바람직한 제 1 실시예에 따른 대전 입자 소스;
- 도 1a                  도 1의 소스의 가스 이온화 장치의 상세도;
- 도 2                    도 1의 소스가 적절하게 포함될 수 있는 최신 기술의 리소그래피 시스템의 종단면도;
- 도 3                    종래 기술의 패턴 정의 시스템의 종단면도;
- 도 4a 및 4b            도 1의 대전 입자 소스에 사용된 하나의 분할 전극의 사시도(도 4a) 및 상면도(도 4b)

4b);

도 5 대전-입자 빔을 방출하는 방출 모드에 따른 도 1의 소스의 동작,

도 6 제 1 세정 모드에 따른 도 1의 소스의 동작;

도 7 제 2 세정 모드에 따른 도 1의 소스의 동작;

도 8 소스의 이미터 표면 상에 이온들을 포커싱하는 제 2 세정 모드의 변형예;

도 9 소스의 이미터 표면 위로 이온을 편향시키는 제 2 세정 모드의 변형예; 및

도 10 조정 전극에 인가된 상이한 전압에 대한 이미터 표면에서의 이온 랜딩 분포;

도 11 상이한 전압의 시간 의존적 인가에 의해 생성된 이미터 표면에서의 이온 랜딩 분포;

도 12 -2000V의 조정 전극 전압을 갖는 상이한 포커싱 상태에 대한 이미터 표면에서의 이온 랜딩 분포; 및

도 13a 디포커스된 빔을 이용한 제 2 세정 모드 동작 동안의 서브 전극의 쿼드러폴 구성; 및

도 13b 빔의 축 방향 시프트를 달성하기 위한 제 2 세정 모드 동작 동안의 서브 전극의 다이폴 필드 구성.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0040] 이하에 주어진 본 발명의 예시적인 실시예에 대한 상세한 설명은 본 발명의 기본 개념 및 또 다른 유리한 전개를 개시한다. 실시예는 전자 소스를 언급하지만, 균일한 전류 밀도를 갖는 대전 입자 빔을 생성하고 유지 보수 절차 동안 물리적 스퍼터링 및/또는 화학적 에칭에 의해 캐소드 표면을 컨디셔닝하기 위해 이 소스를 이용하는 방법도 설명한다. 당업자는 본 발명의 특정 응용에 적합한 것으로 여기에서 논의된 실시예들 중 몇몇 또는 모두를 자유롭게 조합하는 것이 명백 할 것이다. 본 명세서 전체에 걸쳐, "예를 들어", "유리한", "예시적인", 또는 "바람직한"과 같은 용어들은 본 발명 또는 그것의 실시예에(필수적인 것은 아니지만) 특히 적합한 엘리먼트 또는 지수를 나타내고, 명시적으로 요구되는 경우를 제외하면, 당업자들에 의해 적절하다고 판단되는 부분이 수정될 수 있다. 본 발명은 예시적으로, 설명의 목적을 위해 제공되며, 단지 본 발명의 적절한 구현 예를 제시하는 아래에 논의된 실시예로 제한되지 않음을 이해할 것이다.

[0041] 도 1은 방출 방향(e)과 일치하는, 소스의 중심 축을 따른 종 방향 단면에서의 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 대전 입자 소스, 보다 구체적으로는 전자 소스(100)의 개략도를 도시한다.

[0042] 전자 소스(100)는 언급된 방출 방향(e)을 따라 전자를 방출하도록 구성된 이미터 표면(111)을 갖는 캐소드(101), 웨넬트 실린더(102) 및 방출 방향(e)이 애노드를 통과하는 위치에 애퍼처(113)를 갖는 카운터 전극으로서 역할하는 애노드(103)를 포함한다. 캐소드(101), 웨넬트(102) 및 애퍼처 애노드(103)의 적절한 레이아웃은 당업자에게 잘 알려져 있다. 소스는 소스가 장치(1)의 하우징(2)에 연결될 수 있게 하고, 자체의 진공 펌핑 시스템(121)에 연결되고 및/또는 장치(1)의 진공 시스템을 통해 진공으로 유지되는 하우징(120) 내에 위치한다. 소스(100)의 전극에 인가된 전위는 전압 공급 유닛(157)에 의해 제공되고; 전극의 전기 라인은 일반적으로 이해되고 도면의 명확성을 위해 도시되지는 않았다.

[0043] 또한, 본 발명에 따른 현장 세정을 가능하게 하기 위해, 전자 소스(100)에는 분위기 조절기(AR)라고도 불리는 압력 조절 장치(104) 및 몇몇 조정 전극(106, 107, 108, 109); 또한, 가스 이온화기(GI)라 불리는, 가스를 이온화하는 장치(105)가 제공될 수 있다.

[0044] 도시된 실시예에서, AR(104)은 하나 이상의 가스 종에 대한 가스 서플라이(140), 하나 이상의 질량 흐름 제어기(MFC)(141,142), (바람직하게는 진공 펌핑 시스템(121)으로부터 분리된) 진공 펌핑 시스템(143), 및 가스 압력 센서(144)를 포함하고, 가스 공급 라인(145) 및 GI(105)를 통해 소스 챔버 내로 가스를 공급한다. (바람직하게는 진공 펌핑 시스템(143)의 하우징(120)으로의 펌핑 연결로부터 잘 분리되어 있는) 소스 하우징(120) 내의 가스 압력 센서(144)의 애퍼처(148)는 소스 공간(110) 내의, 바람직하게는 이미터 표면(111)에 가까운 영역 내의 압력의 적절한 측정이 가능하도록 위치하는 것이 유리하다. 예를 들어, 애퍼처(148)는 캐소드(101)와 제 1 조정 전극(106)과 같은 소스 공간 내의 다음 전극 사이의 소스 공간(110) 바로 외측에 위치될 수 있다. MFC(141, 142)는 가스 서플라이(140)으로부터 소스 공간으로 공급되는 가스의 양을 제어한다. AR(104)은 소스 공간 내의 압력을 조절하고 소스 챔버 내로 하나 이상의 가스 종을 제어된 방식으로 주입하는 역할을 한다. 따라서, AR(104)은 애노드와 캐소드 사이의 대전-입자 소스의 공간으로 대기를 주입하고 조절할 수 있다. 가스 서플라

이(140)는 가스통과 같은 리소스로부터 공급된 특정 가스 및/또는 대기 가스(공기)와 같은 주위로부터 얻어진 가스를 제공할 수 있다. (도시되지 않은) 다른 실시예에서, AR은 자신의 가스 공급 장치를 가지지 않을 수 있으며, 이 경우 AR은 대기압 가스 또는 소스의 선행 동작으로부터의 잔류 가스로 작동하고, 가스는, 예컨대, 언급된 진공 펌핑 시스템에 의해 원하는 압력으로 제어된다.

[0045] 도 1a를 참조하면, GI(105)는(하나 이상의 MFC(141) 및 가스 공급 라인(145)을 통해) AR에 의해 주입된 가스를 이온화하여, 소스(100)의 전극에 의해 가속될 수 있는 플라즈마를 생성하도록 구성된다. 예를 들어, 반드시 그런 것은 아니지만, GI는 소스 장치에 부가적으로 장착된 중공 캐소드 전자 총일 수 있으며, 그것의 방출되는 전자의 방향은 전자 소스의 축(e)에 실질적으로 수직이다. 도시된 실시예에서, GI(105)는 절연 튜브(153)의 양단부에 배치된 중공 캐소드(151) 및 링 애노드(152)를 포함하며; 튜브(153) 내에서의 방전으로부터 생성된 플라즈마(154)는 링 애노드의 개구(155)를 통해 GI(105)로부터 소스 챔버의 소스 공간으로 배출되도록 허용된다. GI(105)는 축(e)에 대하여 개구(155)에 대향하는 위치에 배치된 콜렉터 전극(156)을 더 포함한다. 콜렉터 전극(156)의 전압은 링 애노드(152)에 대해 예를 들어 약 500V이며, 그 정확한 값은 원하는 프로세스 파라미터에 맞게 조정 가능하다. GI(105)는 GI(105)를 통해 공급된 가스가 캐소드(101)로부터 일정 거리에 있는 위치에서, 예를 들어 조정 전극들 사이의 영역에서, 바람직하게는 2 개의 최종 조정 전극(108 및 109) 사이에서 소스 공간(110)으로 들어가도록 위치한다.

[0046] AR(104)의 MFC(142)의 일부 또는 전부(특히 GI(105)가 생략된 경우)는 GI를 우회하여 소스의 내부에, 예를 들어 콘센트(147)를 통해 접속될 수 있다. 이러한 "제 2" 유형의 하나 이상의 MFC(142)는 소스 공간으로 가스의 추가적인 조정 가능한 유동을 제공하기 위해 가스를 공급하는데 사용될 수 있다. 배출구(147)는 2 개의 조정 전극(106-109) 사이와 같은, 소스 공간(110)에서 적절한 가스 구성을 보장하기에 편리한 위치에 배치될 수 있다. 도시된 실시예에서, 배출구(147)는 GI(105)가 위치되는 전극 전에, 보다 구체적으로는 전극(107 및 108) 사이에 위치된다.

[0047] 전술한 바와 같이, 대전 입자 소스(100)는 다수의(특히 적어도 2 개의) 조정 전극(106, 107, 108, 109)을 포함한다. 조정 전극은, 예를 들어, 유전체 캡에 의해 분리된 도전성 플레이트로 구현된다. 소스(100)의 전극은 개별 전극에 필요한 정전기 전위를 제공하는 전압 공급 유닛(112)에 전기적으로 연결된다. 도면의 명료성을 위해, 전압 공급 유닛(112)으로부터 소스(100) 내의 복수의 전극에 이르는 전기 연결 라인은 도시되지 않았다.

[0048] 또한, 상이한 형태의 대전 입자의 궤적을 변형 및/또는 제어하기 위해, 전극(106) 109)은 유전체 캡에 의해 분리된 2 개 이상의 부채꼴 서브-전극으로 구성된 분할 전극으로서 실현된다.

[0049] 도 4a 및 도 4b는 4개의 서브-전극(61, 62, 63, 64)으로 분할된 분할 전극(60)의 예시적인 레이아웃을 도시한다. 하나의 각각의 분할 전극의 서브-전극은 동일한 부채꼴 형상의 플레이트이며 축(e)에 대하여 동일한 축 방향 위치 내에서 상이한 방위각 범위에 위치하는 것이 바람직하다. 서브-전극(61-64)은 적절한 유전체 재료로 제조된 절연 간격 스페이서(65)에 의해 결합된 전체적으로 링-형상인 분할 전극(60)으로 결합된다. 따라서, 분할 전극은 '모노폴' 체제 뿐만 아니라 '멀티폴' 모드의 구현을 가능하게 한다. 여기서, 모노폴 체제는 하나의 전극의 모든 플레이트가 동일한 전위를 공유하는 조건으로 정의되는 반면, 멀티폴 체제에서 플레이트는 일반적으로 상이한 전위가 인가될 것이다. 서브-전극은 전압 서플라이에 연결되어 있고, 그러므로 개별 정전기 전위로 전기적으로 바이어싱될 수 있다. 적절한 경우, 서브 전극들은 쌍쌍이 바이어싱될 수도 있고, 또는 공통의 전위로 바이어싱될 수도 있다. 분할 전극을 구성하는 플레이트의 수는 소스(100) 및 프로세싱 장치(1)에 부과된 요구 사항에 따라 적절하게 달라질 수 있으며; 전형적으로 적합한 값은 2 내지 8이다. 전압 서플라이 유닛(112)이 분할 전극(106, 109), 캐소드/애노드(101, 103) 및 웨넬트 실린더(102)의 다양한 서브-전극(61-64)에서 상이한 전기적 바이어스를 인가할 수 있도록 설계된 고전압 소스라는 것이 강조된다. 따라서, 분할 전극(106-109)는 일반적으로 쿼드러폴 렌즈 또는 정전기 디플렉터와 같이, 축(e)에 대해 회전 대칭을 따르지 않는 전기장을 생성할 수 있는 더 복잡한 엔티티로서 동작할 수 있다.

[0050] 도시된 실시예에서, 전극은 실질적으로 링 형상이다. 다른 구체화에서, 전극의 형상은 더 복잡 할 수 있다. 적합한 치수의 예는 다음과 같다. 조정 전극의 내부 반경은 0.5mm 내지 1.0mm의 범위 이내일 수 있다. 축(e)을 따른 각 전극의 물리적 치수는 0.5 mm 내지 3 mm의 범위 내에서 선택된다. 전극 사이의 간격은 1mm 내지 2mm의 값으로 설정된다. 치수는 모든 전극에 대하여 동일할 수도 있고, 또는 각 전극마다 다를 수도 있다. 전극의 수 및 전극의 치수에 따라, 전체 소스 공간의 길이는 4mm 내지 37mm일 수 있다. 서브-전극은 티타늄, 몰리브덴 또는 316L 스테인레스 강과 같은 도전성 재료에 의해 구성되는 것이 바람직한 반면, 유전체 캡은 0.1mm 내지 0.5mm의 범위 이내이고; 유전체 캡은("빈") 공간으로 구현되거나 기계가공된 마코(Macor), Al2O3 또는 다

른 세라믹으로 채워질 수 있다.

[0051] 이하, 전자 소스(100)의 다양한 동작 조건('동작 모드'라고도 함)에 대하여 설명한다. 동작 모드는 일반적으로 소스의 평균 압력 및 분위기 조성, 소스의 개별 구성요소에 인가된 전위를 포함하는 파라미터에 의해 지정된다. 달리 명시하지 않는 한, 전극의 전압 값은 카운터 전극으로서 역할하는 애노드(103)의 전위에 대한 전위차로서 이해된다. 이 전위는 또한 접지 전위라고도 한다. 구성요소의 "바이어스(bias)"라는 용어는 이러한 의미에서 애노드에 대해 각각의 구성요소에 인가되는 전위를 지칭하는 것으로 이해된다.

[0052] 도 5는 '방출 모드'라 불리는, 소스(100)의 하나의 주 동작 모드를 도시한다. 이 모드에서, 소스는 소정의 운동 에너지(캐소드와 애노드 사이의 전압에 의해 정해짐)를 갖고 캐소드(101)의 이미터 표면(111)으로부터 나와 방출 방향(e)을 따라 이동하는 넓은 전자 방사선을 생성한다. 여기서, 높은 음의 바이어스가 전원 서플라이 유닛(157)에 의해 캐소드(101)에 공급된다. 보다 구체적으로, 일반적인 종래 기술에 따르면, 전자 방사선(158)은 열 이온 방출, 전계 방출 또는 쇼트키 효과를 이용하는 관련 메커니즘에 의해 캐소드(101)에서 발생되고 웨넬트 실린더(102)를 통해 포커싱된다. 캐소드가 바이어싱되는 가속 전압의 통상적인 값은 0.1 내지 50 kV 범위이다. 또한, 분할 전극(106-109)은 음으로 대전된 전자에 대한 추출 전위를 제공하고, 빔 운동 에너지를 원하는 값으로 조정하고, 추가적인 시준(collimation)을 제공하고 최종적으로 전자를 애퍼처를 향하게 하기 위해 캐소드에 대해 바이어싱된다. 분할 전극은 이 작동 모드에서 모노폴로서 작동된다. 카운터 전극(103)의 애퍼처(113)는 방사선(158)의 원하지 않는 부분을 차단한다. 방출 모드는, 예를 들어, 전자 멀티 빔 처리 장치에서의 처리 중에 사용될 수 있다. 방출 모드 동안, 음으로 대전된 입자들, 즉 전자들만이 본 발명에 따른 상기 소스의 실시 예에서 의도적으로 생성된다. 챔버는 대기 조절 유닛에 의해 약  $1.0 \cdot 10^{-7}$  Pa의 일정한 압력으로 유지된다.

[0053] 도 6은 본 명세서에서 제 1 세정 모드 또는 또한 소프트 세정 모드로 지칭되는 다른 동작 모드를 도시한다. 이 모드는 캐소드에 의해 방출된 방사선과의 제어된 상호 작용에 의해 생성된 양으로 대전된 이온 입자를 생성하고 캐소드를 향하게 하도록 작동된다. 특정 화학 가스가 AR(104)을 통해 챔버에 도입되는 한편, 챔버 내의 압력은 사전 결정된 값, 예를 들어 약  $8.0 \cdot 10^{-4}$  Pa의 값으로 유지된다. 가스의 화학 조성은 캐소드(101)의 이미터 표면(111) 상에 요구되는 처리 유형에 따라, 아르곤(Ar)과 같은 단일 가스 화학 종 또는 Ar 및 플루오르(F)와 같은 2 종 이상의 가스 종으로 구성될 수 있다. 예를 들어, 플루오르는 황 헥사플루오라이드(SF<sub>6</sub>)와 같은 적합한 전구체의 형태로 공급될 수 있다. 필요한 세정 공정에 따라, 크세논(Xe)과 같은 다른 적합한 가스 종 또는 수소/질소 혼합물(형성 가스)과 같은 가스 혼합물이 사용될 수 있다. 두 개의 분할 전극, 예를 들어 캐소드(101) 및 웨넬트(102)로부터 가장 먼 전극(108 및 109)은 모노폴 모드로 작동하고, 가스 혼합물의 주 이온화 영역을 규정하고, 전하 분리를 위한 조건을 제공한다. 일례로서, 전극(108 및 109)은 일반적으로 0(즉, 접지 전위)과 캐소드(101)의 전위의 모듈러스(즉, 절대 값) 사이의 범위 내에서 작동될 수 있다. 또한, 전극(106, 107)은 캐소드로부터의 방사선의 추출 및 캐소드를 향해 이동하는 대전 입자의 성형 기능을 제공한다. 따라서, 전형적인 시나리오(106)에서 접지 전위(즉, 전극(103)의 전위)에 있고, 전극(107)은 캐소드(101)의 전위의 마이너스에서 플러스 모듈러스에 걸쳐있는 범위에서 선택된 전위에서 동작될 수 있다. 다른 예들이 도 1 및 도 2와 관련하여 아래에 제공된다.

[0054] 분할 전극 플레이트는에 대한 주 이온화 영역의 폭 및 위치는 분할 전극 자체에 인가되는 바이어스를 변화시킴으로써 조정될 수 있음이 당업자에게 명백 할 것이다. 여기서, 방출 모드에서 설명한 바와 같이 바이어스된 캐소드는 이온화 영역으로 지칭되고 점선 해치 영역(160)으로 도면에 표시되어 있는 축(e) 주위의 영역에서 소스 챔버에 도입된 가스 혼합물을 부분적으로 이온화하는 전자들(168)을 방출 할 것이다. 그럼에도 불구하고, 실질적으로 방출 방향(e)을 따라 이동하는 전자들(168)에 의해 야기되는, 가스 혼합물 분자의 이온화 속도는 전자의 높은 에너지(예를 들어, 5 keV)로 인해 다소 낮다(설명을 원한다면, 예컨대 'Kim & Rudd op.cit'를 참조할 수 있다). 따라서, 이온화 영역(160)에서의 가스 혼합물 이온화율은 소스 구성요소(예를 들어, 전극 및 다른 금속 부품)이 캐소드로부터 나오는 1차 전자(168)의 빔에 의해 타격될 때 소스 구성요소로부터 방출되는 2 차 전자(169)를 통해 보장될 수 있다. 따라서, 나머지 분할 전극들은 멀티폴 모드로 동작할 수 있고, 멀티폴 모드에서는, 예를 들어, 사전 정의된 위치에서 2 차 전자를 생성하고 이온화 속도를 향상시키는 소스 챔버의 내벽에 부딪히도록 전자 방사를 형성 및 지향시키기 위해 기본적인 쿼드러폴 정전기 렌즈 또는 정전기 다이폴을 형성한다. 이온화 영역 및 2 차 전자 소스 위치는 이온화된 가스 혼합물 분자(161)가 축(e)을 따라 캐소드(101)의 이미터 표면(111)으로 다시 가속되도록 정해진다. 바람직하게는, 분할 전극(106-109) 중 하나 또는 수 개는 소스를 향해 이동하는 이온에 대한 부가적인 포커싱 요소로서 작용하기 위해 모노폴 모드로 정전 기적으로 바이어스될 수 있고, 이온 랜딩 분포를 변경한다.



- [0055] 소프트 세정 모드의 예는 다음과 같다. 캐소드(101)는 카운터 전극(103)에 대해 -5 kV로 설정되고, 전극(108 및 109)은 각각 접지 전위 및 + 2.5 kV로 설정되어, 전극(108, 109)의 위치 사이의 공간에서 주 가스 이온화 영역(160)을 형성한다. 그리고 전극(106)은 접지 전위로 설정되고, 전극(107)은 축(e)을 따라 이미터 표면(111)을 향해 이동하는 대전 입자(161)에 대한 포커싱/디포커싱 전극으로서 사용될 수 있다.
- [0056] 도 10은 도 10의 삽입부에 특정된 제 2 분할 전극(107)의 3 개의 상이한 값의 전압에 대한 캐소드 반경(축(e)으로부터의 거리)의 함수로서 축(e)을 따른 이미터 표면 위치에서의 이온의 랜딩(밀도) 분포를 도시한다. 도시된 랜딩 분포는 각각의 랜딩 분포의 최대 값에 대하여 정규화된, 수치 시뮬레이션으로부터 얻어진 결과이다. 이미터 표면(111)의 위치 범위는 양방향 화살표(W)로 표시된다. 도 10으로부터 명백한 바와 같이, 전극(107)에 인가된 전압이 -0.5kV에서 -2kV까지 변할 때, 이온 랜딩(밀도) 분포 및 그에 따른 이온 처리의 강도는 이미터의 경계에서 높은 분포에서, 중앙에서 피크인 분포를 향해 간다. 이것은 조정 전극의 전압이 이온 처리의 위치를 조정하여 이미터 표면의 주변, 중간 반경 및 중심에 적용될 수 있음을 입증한다. 생성된 이온은 그들의 양전하에 의해 분할 전극 사이의 전위차에 의해 캐소드 쪽으로 향하게된다.
- [0057] 스퍼터링 및/또는 화학적 에칭에 의해, 충돌 이온이 캐소드의 표면을 세정한다. 소프트 세정 모드는 소스가, 예를 들어, 전자 멀티 빔 처리 장치의 일부인 어플리케이션에서 유리하며, 컨디셔닝 절차 또는 소스의 유지 보수 동안 사용될 수 있다. 챔버 내의 전반적인 낮은 이온 밀도는 1 A/s 미만의 느린 스퍼터링 속도를 초래한다. 이러한 느린 스퍼터링 속도는, 예를 들어, 캐소드의 재생이 필요하지만, 캐소드의 큰 침식이 바람직하지 않은 경우에 유리하게 채택되고, 따라서 스퍼터링 절차의 미세 조절을 필요로 한다.
- [0058] 또 다른 변형 예에서, 도 11을 참조하면, 시간에 따라 조정 전극의 전압을 단계적으로 변화시키고, 생성된 전기장이 시간 스텝 내에서 소스 공간에 존재하는 모든 대전 입자에 대해 정적인 것으로 간주될 수 있도록 적절하게 시간 스텝을 선택함으로써, 세정 방법이 더 개선될 수 있다. 이러한 시간에 따른 전압의 스텝식 변화는 각각의 개별 고정 전압 설정의 가변 국소 강도를 평균함으로써 이미터 영역에 걸친 세정 효과의 균질화를 제공할 수 있게 한다.
- [0059] 도 11은 다양한 가변 지속시간(즉, 350 초, 300 초, 100 초, 100 초, 110 초, 75 초,) 동안, 전극(107)에 인가된 6 개의 상이한 전위 구성(즉, 0.25 kV, 0.5 kV, 0.75 kV, 1.00 kV, 1.25 kV, 1.75 kV)을 사용하여 획득된 다수의 시간-가중된 이온 랜딩 프로파일 및 시간 가중 프로파일의 합에 해당하는 누적 이온 착륙 프로파일(실선)을 도시한다. 모든 프로파일에서, 캐소드(101)는 카운터 전극(103)에 대해 -5kV로 설정되고, 전극(109)은 + 2.5kV로 설정되고, 전극(106, 107, 108)은 접지 전위에 고정된다. 프로파일 곡선의 수직 스케일은 누적 프로파일의 최대 값에 대하여 정규화된다. 도 11에서 쉽게 알 수 있는 바와 같이, 누적 프로파일은 이미터 표면의 큰 부분(이중 화살표 W로 표시됨)에 걸쳐 고원과 같은 최대값(m)을 얻는다. 도 11에 도시된 종류의 처리는 1 A/s의 최대 스퍼터링 속도를 고려하여 최대 100 nm의 결정 표면의 침식을 유도할 것이다. 따라서, 이 예에서, 약 1035 초, 즉, 대략 17 분 이내의 처리 동안, 제 1 오염 층은 결정 벌크의 큰 부식없이 세정/제거된다.
- [0060] 도 7은 본 명세서에서 제 2 세정 모드 또는 또한 '하드 세정 모드'라고 지칭되는 다른 동작 모드를 도시한다. 아르곤(Ar) 또는 다른 적절한 가스 혼합물로 형성된 제어된 가스 흐름(175)은 제 1 세정 모드와 관련하여 전술한 바와 같이 AR(104)에 의해 챔버 내로 도입된다. 이 모드에서, 캐소드(101)는 아무런 방사도 방출하지 않고, 인가된 정전 바이어스는 캐소드로의 소스의 광학 축에 대해 평행하게 움직이는 양의 대전 입자를 끌어들이도록 선택된다. 전체 구성은 제 1 세정 모드와 유사하지만, 가스(175)가 캐소드로부터 방출된 2차 전자 방출 또는 방사선에 의해서가 아니라, GI(105)에 의해 단독으로 이온화된다는 점이 주요 차이점이다. 전자들은 소스의 축(e)에 대해 실질적으로 수직인 경로를 따라, 이온화 영역이라 불리고 점 해치 영역(150)으로 도면에 표시된 축(e) 주위 영역을 가로 지르도록, 콜렉터 전극(156)을 향해 GI(105)에 의해 방출된다. 따라서, 전자는 Ar 분자를 이온화하여 이미터 표면(111)을 향하는 이온 플럭스(171)를 형성한다. 그러므로, 전자가 이온의 이온화에만 사용되기 때문에, 분할 전극은 후자의 유형의 입자, 즉 '하드 세정(hard cleaning)'에 사용되는 이온의 궤도에 영향을 미친다. GI에 의해 방출되는 이온화 전류( $I_e$ ) 및 이온화 에너지( $E_i$ )는 종래 기술(예를 들어 'Kim & Rudd op.cit'를 참조)에서 공지된 방법에 따라 가스 분자의 이온화 속도를 최대화하기 위해 조정될 수 있다. 일반적으로, 이온 밀도는 소프트 세정 모드에서보다 10-20 배 높은 스퍼터링 속도를 얻도록 조정된다.  $I_e/E_i$  및 스퍼터링 속도를 조정하는 방법에 대한 상세한 설명은 당업자에게 통상의 지식의 일부로서 포함되지 않으며 본 발명의 일부가 아니다.
- [0061] 이 모드에서는, 이온이 방출 방향(e)을 따라 이동하는 유일한 대전 입자이지만, 분할 전극(106-109)은 렌즈 효

과 장치로서 역할하기 위해 사용될 수 있고, 이온화 표면상의 특정한 원하는 위치를 향하여 이온을 지향시키는 것을 허용하는 적절한 방식으로 개별 정전기 전위가 선택된다. 이것은 도 8 및 도 9에 도시되어 있다. 이온화 영역에서 생성된 이온(172)은 가속되어 축(e)을 따라 이동할 것이고, 도 7에 도시된 바와 같은 평평한 분포 또는 도 8에 도시된 바와 같은 집중된 스폿 사이의 원하는 스퍼터링 균질성에 도달하기 위해 캐소드 표면 상에 포커싱 및 디포커싱될 수 있다. 대안으로서 또는 조합하여, 도 9에 도시된 바와 같이, 이미터 표면의 특정 영역에 스퍼터링 동작을 국한시키기 위해, 축(e)을 따른 그들의 경로로부터 이온을 편향시키는 것이 가능하다. 이는 분할 전극(106, 107)을 멀티폴 모드로 동작시킴으로써 달성된다.

[0062] 도 12는 이미터 표면(111)상의 스퍼터링 스폿의 포커싱 및 시프팅을 도시하며, 그것의 위치는 이중 화살표(W)로 다시 표시된다. 이온화 영역(도 8 및 도 9 참조)에서 시작하여 축(e)을 따라(101)을 향해 가속되는 이온 구름을 고려한 수치 시뮬레이션에 의해 얻어진 3개의 예시적인 이온 랜딩 분포가 도시되어 있다. 각 곡선은 각각의 최대값에 대하여 정규화되어 있다. 이 시나리오에서, 캐소드(101)는 카운터 전극(103)에 대해 -5kV로 바이어스되지만, 소프트 세정 모드와 대조적으로 캐소드(101)는 콜드 캐소드(즉, 대전 입자 방출 없음)로서 역할한다. 분할 전극(109, 108)에는 소프트 스퍼터링 공정과 동일한 전위가 인가된다. 도 12에 도시된 3개의 곡선은 분할 전극(106 및 107)(여기서는 전압이 카운터 전극(103)의 접지 전위와 관련됨)에 인가되는 아래의 전위 구성에 대응한다.

[0063] ● 포커싱 빔(점선)의 경우: 소프트 세정 모드에서와 같이, 분할 전극(106)은 접지 전위, 0kV에 있고, 분할 전극(107)에 -2kV의 전위가 인가된다. 이러한 구성을 얻기 위해, 분할 전극(106 및 107)의 서브-전극은 동일한 전위를 공유한다(모노폴 모드에서와 같음).

[0064] ● 디포커싱된 빔(풀 커브)의 경우: 소프트 세정 모드에서와 같이, 분할 전극(106)은 접지 전위 0kV에 있고, 분할 전극(107)에 -2kV의 전위가 인가된다. 이 모드에서, 추가의 쿼드러폴 필드가 각각 전극(106 및 107)의 서브-전극(661-664 및 671-674)에 의해 생성된다. 이것은 도 13a에 도시되어 있으며, 여기서 플러스 및 마이너스 부호는 10 내지 20 V(필요한 디포커싱의 양에 따라 적절하게 선택된 전형적인 값) 정도의 각 전극(106, 107)의 전체 전위(0kV/-2kV)에 중첩된 쿼드러폴 필드를 실현하기 위해 인가된 전압을 심볼화한다. 전극(106)에 인가된 쿼드러폴 필드 구성은 전극(107)에 대해 90 ° 회전된다. 즉, 'F. Hinterberg'의 "Ion optics with electrostatic lenses", 섹션 8.1에 설명된 이온 광학 보정이 적용된다.

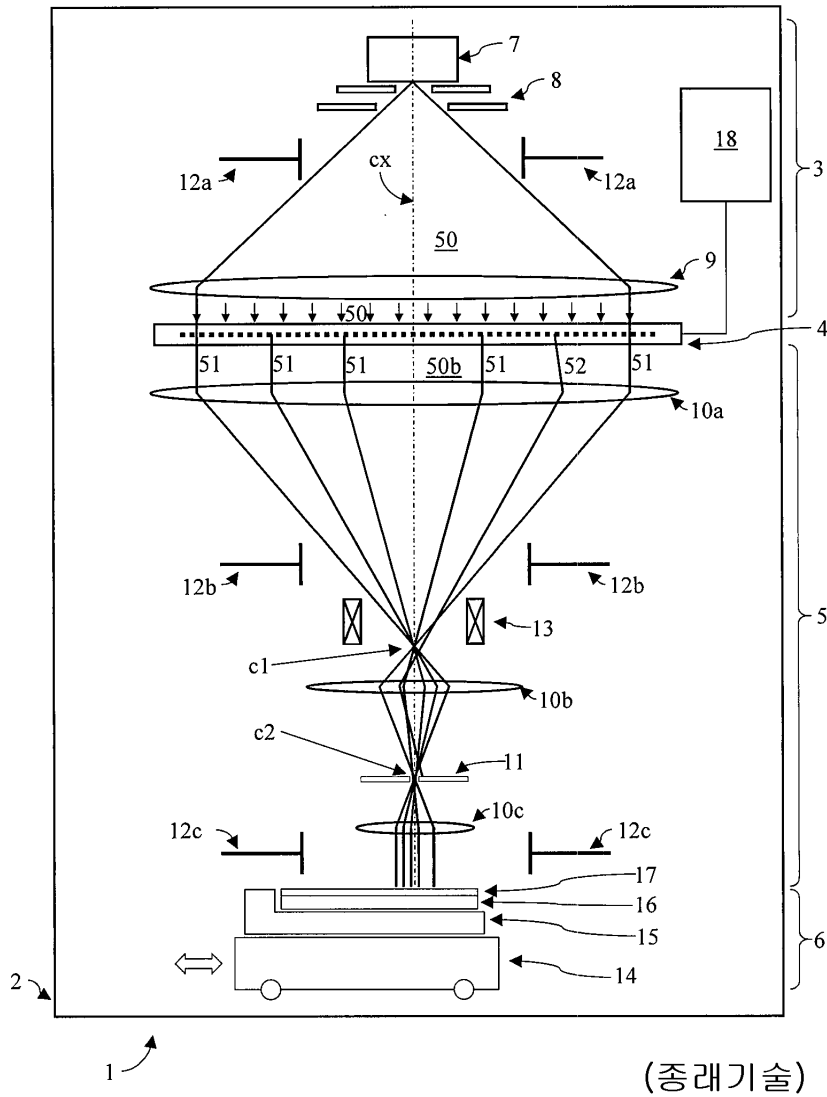
[0065] ● 시프팅된 빔(일점 쇄선)의 경우: 소프트 세정 모드에서와 같이, 분할 전극(106)은 접지 전위 0kV에 있고, 분할 전극(107)에 -2kV의 전위가 인가된다. 이 모드에서, 추가적인 다이폴 필드가 각 전극(106 및 107)의 서브-전극(661-664 및 671-674)을 통해 인가된다. 폴(여기서, 폴은 도 13b의 플레이트 쌍(661, 664 및 662, 663; 및 671, 674 및 672, 673)을 나타내는 것을 의미)의 정전기 전위차는 각 전극(106, 107)의 전체 전위(0 kV/-2kV)에 중첩된, 10 내지 20 V(필요한 시프트 양에 따라 편리하게 선택된 전형적인 값) 정도이다. 전극(106)에 인가된 다이폴 필드 구성은 전극(107)에 대해 180 ° 회전된다.

[0066] 전극 및 그 서브-전극의 전압 구성이 변화되어 이미터 표면(111)에서의 세정 동작의 더 적합한 구성을 달성할 수 있음이 당업자에게 자명할 것이다.

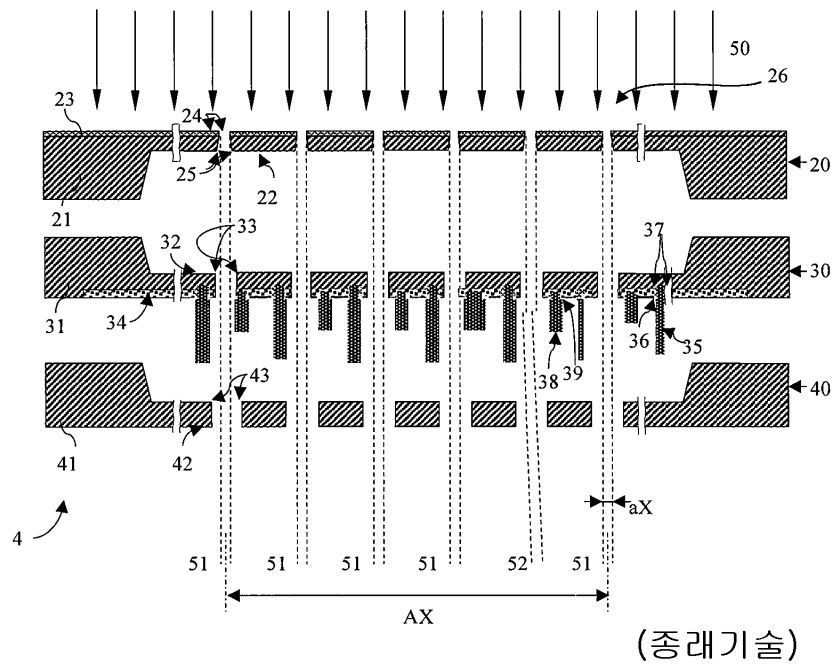




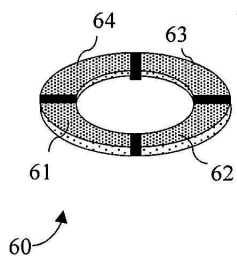
도면2



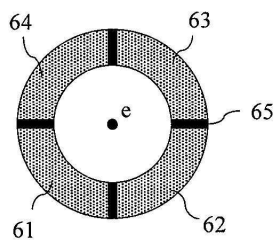
도면3



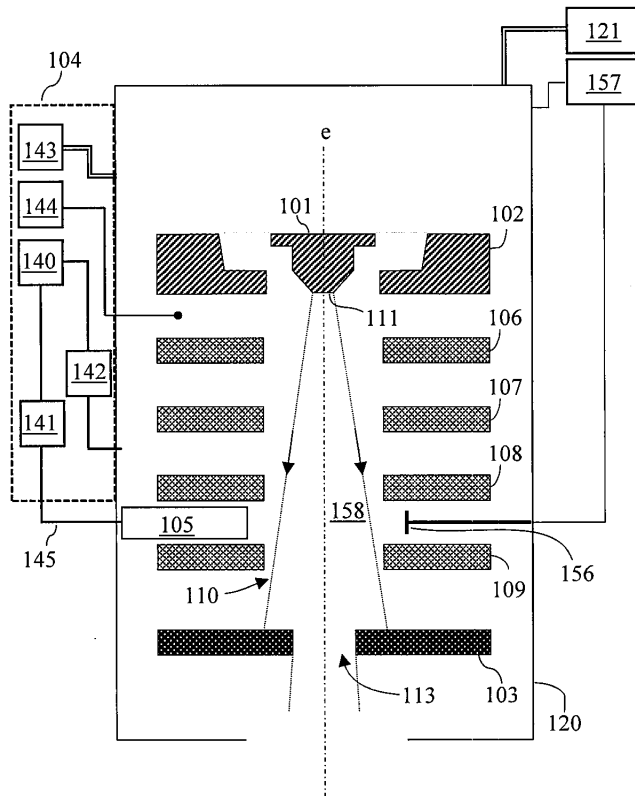
도면4a



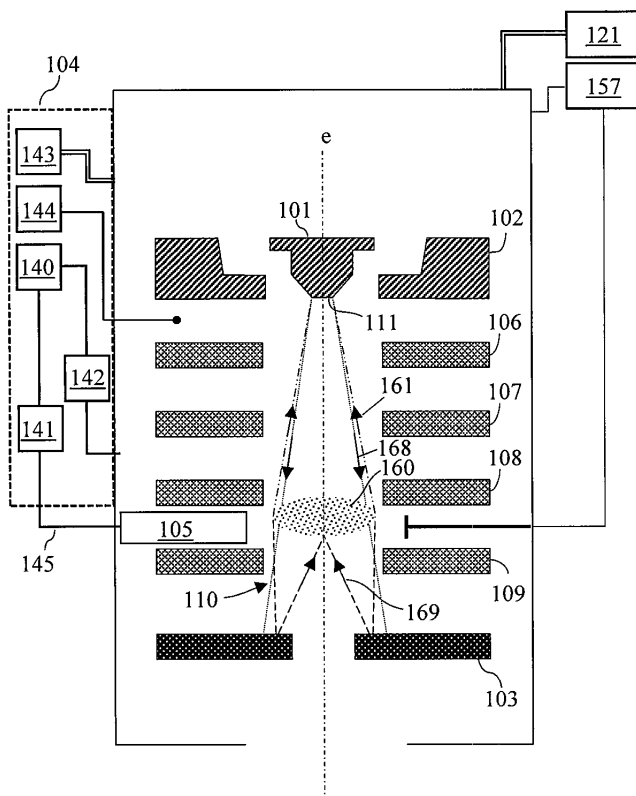
도면4b



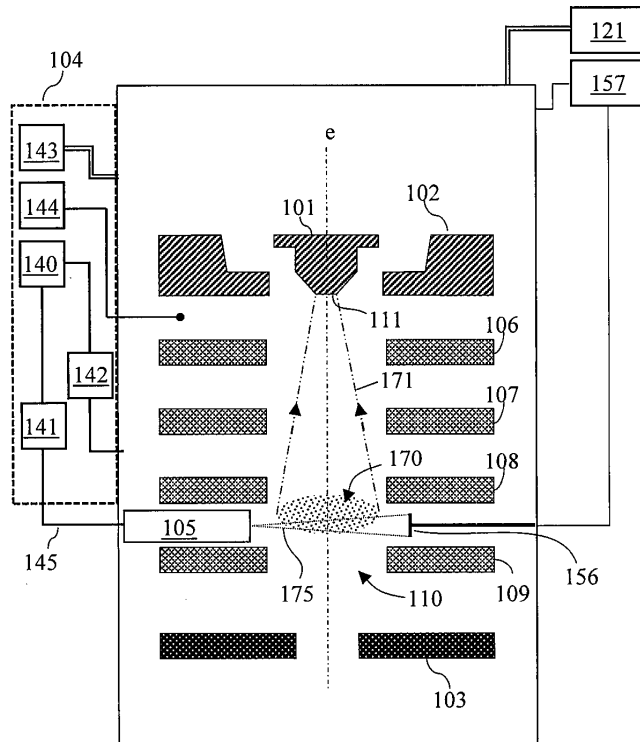
도면5



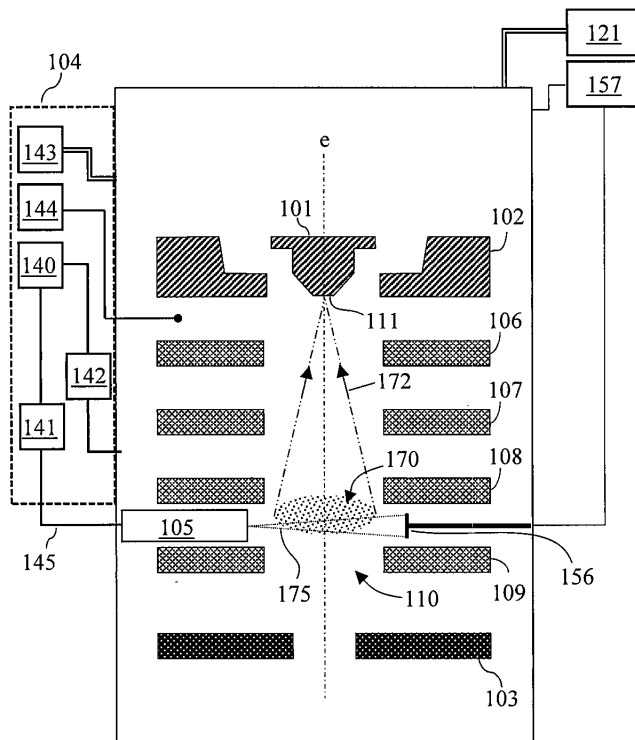
도면6



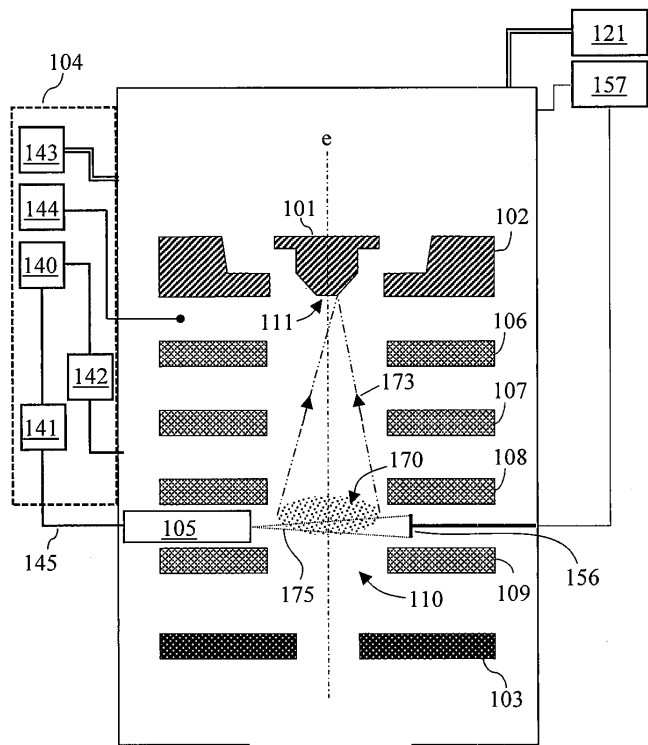
도면7



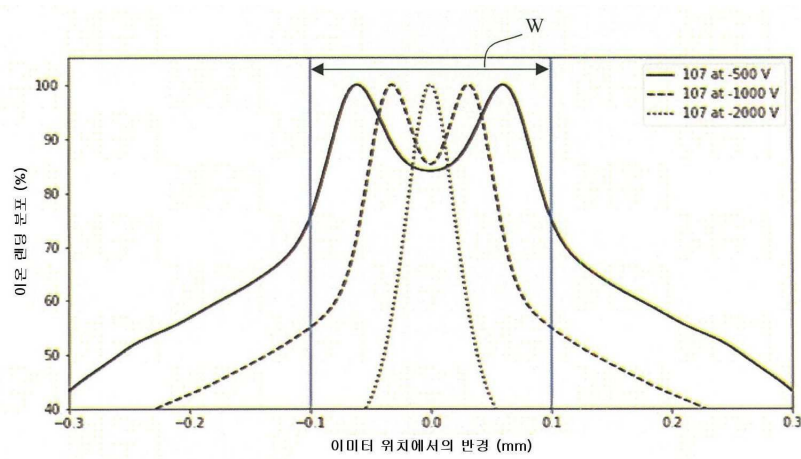
도면8



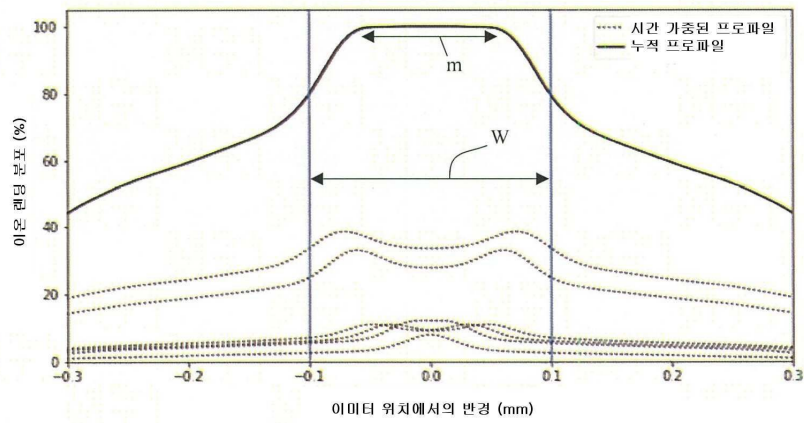
도면9



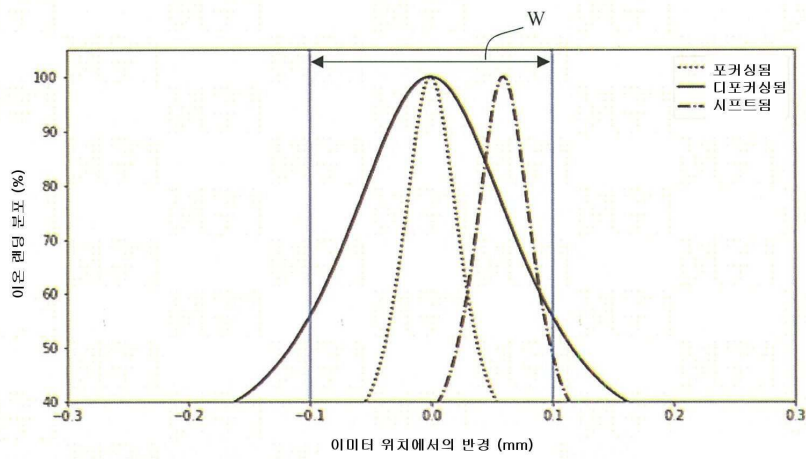
도면10



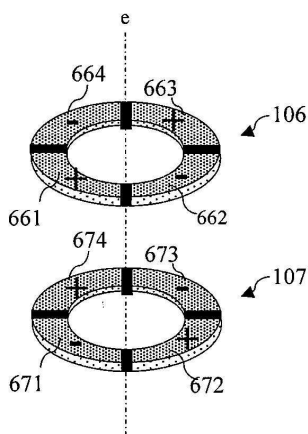
도면11



도면12



도면13a



도면13b

