



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0023352
(43) 공개일자 2009년03월04일

(51) Int. Cl.

H01L 21/3065 (2006.01) H05H 1/24 (2006.01)
H05H 1/30 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-7028240

(22) 출원일자 2008년11월19일

심사청구일자 없음

번역문제출일자 2008년11월19일

(86) 국제출원번호 PCT/US2007/009625

국제출원일자 2007년04월19일

(87) 국제공개번호 WO 2007/124032

국제공개일자 2007년11월01일

(30) 우선권주장

11/379,349 2006년04월19일 미국(US)

(71) 출원인

제너럴 플라즈마, 인크.

미국 애리조나주 85713 투산 이스트 25번 스트리트 546

(72) 발명자

매덕스 존

미국 애리조나주 85716 투산 노스 트리트 애비뉴 821

(74) 대리인

김태홍, 신정건

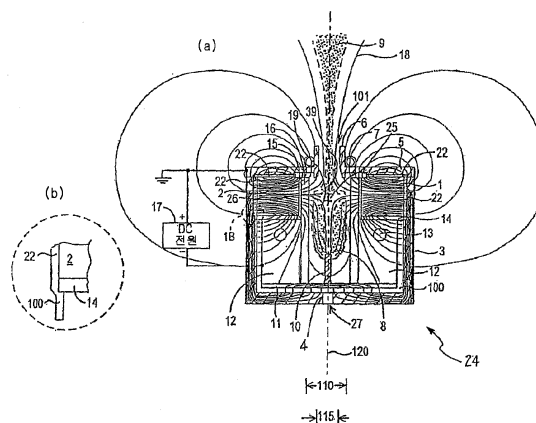
전체 청구항 수 : 총 27 항

(54) 이중 플라즈마 비임 소스 및 그 방법

(57) 요약

한쌍의 플라즈마 비임 소스가 AC 전원의 양단에 연결되어, 기관 상에 물질을 성막하도록 플라즈마 및 이온 비임을 번갈아가면서 생성한다. 각 플라즈마 비임 소스는 제1 폭을 갖는 방전 공동 및 이로부터 외측으로 연장하여 이온 비임을 방사하도록 된 노즐을 포함한다. 노즐의 개구 또는 출구는 제1 폭보다 좁은 제2 폭을 갖는다. 대체로 서로 대면하는 복수의 자석이 각각의 방전 공동에 인접하게 배치되어, 방전 공동 내에 널 자기장 영역을 생성한다. 이온화 가능 가스가 각각의 방전 공동 내에 도입된다. AC 전원은 각각의 방전 공동 내의 전극에 연결되어, 각각의 플라즈마 비임 소스는 번갈아가면서 애노드 또는 캐소드로서 기능을 한다. 캐소드인 경우, 적어도 하나의 마그네트론 방전 영역이 방전 공동 내에 유지된다. 작동 시에, 고밀도의 균일한 플라즈마 비임이 캐소드 소스로부터 방사되며, 이온 비임이 애노드 소스로부터 방사된다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1

플라즈마를 생성하는 장치로서,

a) 제1 폭을 갖는 방전 공동; 이 방전 공동으로부터 외측으로 연장하고, 제1 폭보다 좁은 제2 폭을 갖는 노즐; 상기 방전 공동 내의 적어도 하나의 전극; 및 상기 방전 공동 내에 널(null) 자기장 영역을 생성하도록 방전 공동에 인접하여 배치되는 복수의 자석을 각각 구비하고 있는 제1 및 제2 플라즈마 소스와,

b) 각각의 방전 공동 내의 전극에 양단이 연결되어, 번갈아가면서 캐소드와 애노드로서 기능을 하게 전극에 전기를 가하는 AC 전원

을 포함하며, 각각의 전극은 캐소드 전극으로서 기능을 하는 경우에 해당 방전 공동 내에 적어도 하나의 마그네트론 방전 영역을 유지할 수 있는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 각각의 방전 공동 내에서 전극과 노즐 사이에 이온화 가능 가스 입구가 위치하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 제1 플라즈마 소스의 노즐의 외측으로 및 상기 제2 플라즈마 소스의 노즐 외측으로 미리 자기장(mirror magnetic field)이 배치되는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 AC 전원의 반사이클(half cycle) 동안에 번갈아가면서 상기 제1 플라즈마 소스와 제2 플라즈마 소스 각각으로부터 전자의 흐름이 방해받는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 기관 상에 균일한 성막이 이루어지도록 상기 제1 및 제2 플라즈마 소스를 지나 기관을 이송하는 구동 장치를 더 포함하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 플라즈마 소스 중 각각의 해당 플라즈마 소스 내에 가둠 영역(confinement region)을 생성하도록, 상기 제1 플라즈마 소스에 배치된 서로 대면하는 제1 쌍의 자석과, 상기 제2 플라즈마 소스에 배치된 서로 대면하는 제2 쌍의 자석을 더 포함하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 제1 및 제2 플라즈마 소스 중 각각의 해당 플라즈마 소스 내에 가둠 영역을 생성하도록, 상기 제1 플라즈마 소스에 배치되어 서로 평행하게 정렬된 제1 쌍의 자석과, 상기 제2 플라즈마 소스에 배치되어 서로 평행하게 정렬된 제2 쌍의 자석을 더 포함하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 플라즈마 소스들은 프로세스 챔버 내에 위치하며, 이 프로세스 챔버 내로 전구체 가스를 도입하기 위한 입구를 포함하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 전구체 가스는 실리콘 함유 가스를 포함하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 실리콘 함유 가스는 헥사메틸디실록산을 포함하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 11

제1항에 있어서, 각각의 플라즈마 소스의 방전 공동 내로 비응축성 가스(non-condensing gas)를 도입하도록 상기 노즐 외의 제2 입구를 포함하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 비응축성 가스는 산소를 포함하는 것인 플라즈마 생성 장치.

청구항 13

기판의 플라즈마 처리 방법으로서,

- a) 방전 공동과, 기판 상에 선형 이온 비임을 방출하는 출구를 각각 구비하는 제1 및 제2 플라즈마 소스를 마련하는 단계와,
- b) 각각의 방전 공동 내에 배치된 전극에 양단이 연결되어, 제1 및 제2 플라즈마 소스 내의 전극을 번갈아가면서 캐소드와 애노드로서 기능을 하게 그 전극에 전기를 가함으로써, 각각의 전극이 캐소드 전극으로서 기능을 할 때에 방전 공동 내에 적어도 하나의 마그네트론 방전 영역을 유지할 수 있게 하는 AC 전원을 마련하는 단계와,
- c) 상기 제1 및 제2 플라즈마 소스 밖으로 미러 자기장(mirror magnetic field)을 생성하는 단계와,
- d) 상기 AC 전원의 반사이클 동안 상기 제2 플라즈마 소스의 방전 공동 내의 전극이 캐소드로서 기능을 할 때에 제1 플라즈마 소스에서의 미러 자기장에 의해 전자의 흐름을 방해하는 한편, 상기 AC 전원의 반사이클 동안 상기 제1 플라즈마 소스의 방전 공동 내의 전극이 캐소드로서 기능을 할 때에 제2 플라즈마 소스에서의 미러 자기장에 의해 전자의 흐름을 방해하는 단계와,
- e) 상기 제1 및 제2 플라즈마 소스 각각의 방전 공동 내로 이온화 가능 가스를 도입하는 단계와,
- f) 방해받는 전자와 충돌시킴으로써 상기 이온화 가능 가스의 원자의 적어도 일부를 이온화시키는 단계와,
- g) 각각의 노즐로부터 번갈아가면서 이온 비임 형태의 이온을 기판 상에 방출하는 단계를 포함하는 것인 기판의 플라즈마 처리 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 가판을 이온 비임을 지나 이송하는 단계를 포함하는 것인 기판의 플라즈마 처리 방법.

청구항 15

제13항에 있어서, 상기 제1 플라즈마 소스 내에 서로 대면하는 제1 쌍의 자석이 배치되고 상기 제2 플라즈마 소스 내에 서로 대면하는 제2 쌍의 자석이 배치되며, 상기 제1 및 제2 쌍의 자석을 이용하여 제1 및 제2 플라즈마 소스 중 각각의 해당 플라즈마 소스 내에 가둠 영역을 생성하는 단계를 포함하는 것인 기판의 플라즈마 처리 방법.

청구항 16

제13항에 있어서, 상기 기판은 유리를 포함하는 것인 기판의 플라즈마 처리 방법.

청구항 17

제13항에 있어서, 상기 제1 플라즈마 소스 내에 서로 평행하게 정렬된 제1 쌍의 자석이 배치되고 상기 제2 플라즈마 소스 내에 서로 평행하게 정렬된 제2 쌍의 자석이 배치되며, 상기 제1 및 제2 쌍의 자석을 이용하여 제1 및 제2 플라즈마 소스 중 각각의 해당 플라즈마 소스 내에 가둠 영역을 생성하는 단계를 포함하는 것인 기판의 플라즈마 처리 방법.

청구항 18

제13항에 있어서, 상기 기관은 금속 또는 플라스틱을 포함하는 것인 기관의 플라즈마 처리 방법.

청구항 19

제13항에 있어서, 상기 플라즈마 소스들 외부의 프로세스 챔버 내에 전구체 가스를 도입하는 단계를 포함하는 것인 기관의 플라즈마 처리 방법.

청구항 20

제13항에 있어서, 상기 제1 및 제2 플라즈마 소스 각각의 방전 공동 내로 비응축성 가스를 도입하는 단계를 포함하는 것인 기관의 플라즈마 처리 방법.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 비응축성 가스는 산소를 포함하는 것인 기관의 플라즈마 처리 방법.

청구항 22

제19항에 있어서, 상기 전구체 가스는 실리콘 함유 가스를 포함하는 것인 기관의 플라즈마 처리 방법.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 실리콘 함유 가스는 헥사메틸디실록산을 포함하는 것인 기관의 플라즈마 처리 방법.

청구항 24

플라즈마를 생성하는 방법으로서,

- a) 기관 상에 선형 이온 비임을 방출하는 출구를 갖는 방전 공동들 각각 구비하는 제1 및 제2 플라즈마 소스들 마련하는 단계와,
- b) 각각의 방전 공동 내에 배치된 전극에 양단이 연결되어, 제1 및 제2 플라즈마 소스 내의 전극을 번갈아가면서 캐소드와 애노드로서 기능을 하게 그 전극에 전기를 가함으로써, 각각의 전극이 캐소드 전극으로서 기능을 하는 경우에 방전 공동 내에 적어도 하나의 마그네트론 방전 영역을 유지할 수 있게 하는 AC 전원을 마련하는 단계와,
- c) 상기 제1 및 제2 플라즈마 소스의 출구 밖으로 미리 자기장을 생성하는 단계와,
- d) 상기 AC 전원의 반사이클 동안 상기 제2 플라즈마 소스의 방전 공동 내의 전극이 캐소드로서 기능을 할 때에 제1 플라즈마 소스에서의 미리 자기장에 의해 전자의 흐름을 방해하는 한편, 상기 AC 전원의 반사이클 동안 상기 제1 플라즈마 소스의 방전 공동 내의 전극이 캐소드로서 기능을 할 때에 제2 플라즈마 소스에서의 미리 자기장에 의해 전자의 흐름을 방해하는 단계와,
- e) 상기 제1 및 제2 플라즈마 소스 각각의 방전 공동 내로 이온화 가능 가스를 도입하는 단계와,
- f) 방해받는 전자와 충돌시켜 상기 이온화 가능 가스의 원자의 적어도 일부를 이온화시키는 단계와,
- g) 각각의 출구로부터 번갈아가면서 이온 비임 형태의 이온을 방출하는 단계를 포함하는 플라즈마 생성 방법.

청구항 25

제24항에 있어서, 상기 이온 비임을 지나 기관을 이송하는 단계를 포함하는 것인 플라즈마 생성 방법.

청구항 26

제24항에 있어서, 상기 제1 플라즈마 소스 내에 서로 대면하는 제1 쌍의 자석이 배치되고 상기 제2 플라즈마 소스 내에 서로 대면하는 제2 쌍의 자석이 배치되며, 상기 제1 및 제2 쌍의 자석을 이용하여 제1 및 제2 플라즈마 소스 중 각각의 해당 플라즈마 소스 내에 가둠 영역을 생성하는 단계를 포함하는 것인 플라즈마 생성 방법.

청구항 27

제24항에 있어서, 상기 제1 플라즈마 소스 내에 서로 평행하게 정렬된 제1 쌍의 자석이 배치되고 상기 제2 플라즈마 소스 내에 서로 평행하게 정렬된 제2 쌍의 자석이 배치되며, 상기 제1 및 제2 쌍의 자석을 이용하여 제1 및 제2 플라즈마 소스 중 각각의 해당 플라즈마 소스 내에 가둠 영역을 생성하는 단계를 포함하는 것인 플라즈마 생성 방법.

명세서

기술분야

- <1> 본 발명은 일반적으로는 플라즈마 및 이온을 생성하는 방법 및 장치와 이들의 이용에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 기관의 플라즈마 처리, 플라즈마 화학적 기상 성막(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition: PECVD), 플라즈마 에칭과 같은 산업 프로세스에 사용되는 플라즈마 및 이온 소스에 대해 특별한 유용성을 갖고 있지만, 우주 산업 용례를 위한 전기 추진 장치로서 이용하는 등의 기타 유용성도 예상할 수 있다.

배경기술

- <2> 플라즈마 및 이온 소스는, 플라즈마 화학적 기상 성막(PECVD), 반응성 이온 에칭, 플라즈마 표면 개질 및 세정, 증착(evaporation) 또는 스퍼터링 박막의 밀도 증가 및 반응성 증착 또는 스퍼터링 프로세스의 보조를 비롯한 수많은 프로세스에 유용하게 적용되고 있다. 그러한 프로세스를, 가요성 웹, 태양전지 패널, 그리고 건축 및 차량용 유리과 같은 대형 기관에 적용하는 것에 대한 관심이 증가하고 있다.
- <3> 수많은 플라즈마 및 이온 소스가 시판되고 있으며 많은 것들이 개시되어 있다. 시판되고 있는 플라즈마 및 이온 소스로는, 중공 캐소드 플라즈마 소스, 그리드 이온 소스(grided ion source), 엔드 홀 이온 소스(end hall ion source), 클로즈드 드리프트 타입의 이온 소스(closed drift type ion source)(확장 가속 채널 및 애노드 레이어 타입 모두 포함), 미국의 Leybold Optics사에서 시판하고 있는 APS Pro와 같은 임피디드 애노드 타입(impeded anode type)이 있다. 이들 플라즈마 및 이온 소스는 반도체나 광학 필터와 같은 소형 기관 용례에 성공적으로 적용되고 있지만, 넓은 폭을 갖는 기관 용례를 처리하는 데에는 비효율적이다. 이는 주로 비임을 생성 및 중성화하는 데에 점 전자 소스(point electron source)를 이용하기 때문이다. 필라멘트, 가열된 낮은 일함수 물질 및 중공 캐소드(hollow cathode)와 같은 점 전자 소스 기법은 선형으로 확장시키기가 곤란하다. 따라서, 그러한 점 전자 소스에 의존하는 플라즈마 및 이온 소스는 큰 면적의 기관을 위해 요구되는 균일한 선형 비임을 생성하기 곤란하다. 애노드 레이어 타입의 이온 소스의 경우에, 균일한 이온 비임을 긴 소스 길이에 걸쳐 방사하긴 하지만, 그러한 소스는 이온 전류 밀도가 낮아 사용하기에 제약이 따른다.
- <4> 따라서, 넓은 폭의 기관으로도 용이하게 확장할 수 있는 균일한 선형 플라즈마 또는 이온 소스가 필요하다. 이러한 이상적인 선형 소스는 또한 필라멘트, LaB₆ 캐소드와 같은 복잡하거나 고가의 전자 소스를 필요하지 않아야 하며, 넓은 범위의 프로세스 압력에 걸쳐 작동할 수 있어야 한다. 또한, 그러한 소스는 실질적으로 콤팩트하고 경제적이어야 하며, 고밀도의 유효 플라즈마 및/또는 이온 비임을 생성해야 한다.
- <5> 이상적인 선형 플라즈마 소스를 위한 또 다른 중요한 기준은 플라즈마 소스를 과도하게 코팅하는 일 없이 PECVD 프로세스를 계속 유지하는 능력이다. 미국 특허 제5,904,952호에서 Lopata 등이 개시한 것과 같은 종래 기술의 소스에서, 소스 전극이 프로세스 챔버 내에서 전구체 가스 및 기관에 노출된다. 이로 인해, 기관 상에 유용한 코팅을 성막할 수 있지만, 소스도 빨리 코팅되어 프로세스 드리프트(process drift) 및 아크 방전(arcing)을 야기한다. 배치(batch)식 반도체 용례에서, 에칭 프로세스는 노출된 전극을 세정하도록 지정 시간 경과 후에 진행된다. 롤 투 롤(roll-to-roll)식 웹 코팅 시스템이나 인라인(in-line)식 코팅 시스템과 같은 연속 프로세스에서, PECVD 프로세스는 정지 없이 수십 시간 동안 진행되어야 한다. 이러한 용례에서, 에치 세정 사이클(etch cleaning cycle)은 실용적이지 못하다. 따라서, 장기간 연속적으로 프로세스를 진행하는 동안에 안정된 작동을 유지하는 선형 플라즈마 소스가 필요하다.
- <6> 본 발명과 관련된 종래 기술은 3가지 종류로, 즉 비대칭 마그네트론 스퍼터링 소스(unbalanced magnetron sputtering source), 중공 캐소드 스퍼터링 소스, 그리고 플라즈마 및 이온 소스로 분류할 수 있다.
- <7> 비대칭 마그네트론 스퍼터링 소스
- <8> Window 및 Savvides는 다수의 공개된 논문에서 비대칭 마그네트론(unbalanced magnetron: UBM) 스퍼터 캐소드의 개념을 제시하였다. 그러한 논문에는, 캐소드로부터 스퍼터링된 플럭스를 이온화하는 능력을 갖는 타입 II의 비대칭 마그네트론이 개시되어 있다. 널 자기장 영역(null magnetic field region) 및 미러 자기장 가둠에

의한 전자 감금(mirror magnetic confinement electron trapping)의 기본 작동 원리를 교시하고 있다.

- <9> Window 및 Sawides가 제시한 바와 같은 평면 타깃의 타입 II UBM이 도 13에 종래 기술로서 도시되어 있다. 후에, Window 및 Harding은 중앙 자성 물질 또는 고투자율의 자극이 없는 타입 II의 UBM을 개시하였다. 도 13에서, 자석(200)은 직사각형 또는 원형 분류기관(shunt plate)(201) 둘레에 둘러지게 구성된다. 중앙의 연결 자극(207)이 분류기관(201) 중앙에 위치하고 있다. 주변 자극과 중앙 자극의 비대칭 자기장 강도로 인해, 널 자기장 포인트(203)가 마그네트론 트랩(205) 위에 생성되고, 널 자기장 포인트 위의 강화된 자기력선이 미리 가둠 영역(mirror confinement region)(208)을 생성한다. 작동시에, 마그네트론 플라즈마(204)는 타깃(206)을 스퍼터링한다. 마그네트론 플라즈마를 떠난 전자는 미리 가둠 영역(208)에 갇혀 제2의 가시 플라즈마 영역을 생성한다. 논문에서 제시하고 있는 바와 같이 미리 플라즈마 영역은 타깃으로부터 스퍼터링된 플럭스의 상당 부분을 이온화시킨다. 미리 영역에 생성되는 플라즈마(208)는 또한 기관(209)으로 투사되어, 성장하고 있는 스퍼터링 박막에 유용하게 충돌한다. 플라즈마(208)는 PECVD, 플라즈마 처리 등과 같은 플라즈마 프로세스에 이용될 수 있다. 플라즈마 소스 용례에서 그 용도를 확인하였지만, 타깃(206)으로부터 스퍼터링된 플럭스가 항상 바람직한 것은 아니며, UBM은 마그네트론 스퍼터링 및 PECVD 용례를 위해 통상적인 mTorr 압력 범위에서 작동해야 하며, 그리고 노출된 타깃(206)은 PECVD 조성물을 응축시킴으로써 빨리 오염된다.
- <10> 중공 캐소드 스퍼터 소스
- <11> "중공 캐소드"란 용어는 종래 기술에서 각종 스퍼터 소스를 기술하는 데에 이용되고 있다.
- <12> Rust는 미국 특허 제4,915,805호에서 기관이 공동(cavity)의 중앙을 통과하는, 중공 캐소드형의 갇힌 마그네트론(hollow cathode confined magnetron)을 개시하고 있다.
- <13> Sebastiano등은 미국 특허 제4,933,057호에서, 애노드가 프로세스 챔버의 개구와 반대측에 배치되어 있는 중공 캐소드형 마그네트론을 개시하고 있다. 그러한 위치의 애노드는 전자가 우선적으로 방전 공동에서 빠져나게 하는 일 없이 애노드에 도달할 수 있게 한다. 프로세스 챔버에 대한 개구로부터 떨어져 있는 방전 공동 내에 가스가 도입되지 않는다.
- <14> Hedgcoth는 미국 특허 제5,073,245호에서, 프로세스 챔버로부터 떨어진 공동 내에 스퍼터 소스를 교시하고 있다. 자기장은 공동 실린더의 축선을 따라가며, 마그네트론 형태의 가둠 영역이 공동 실린더 벽의 내부 둘레에 생성되는 것으로 보고되었다. 프로세스 챔버의 개구는 마그네트론의 레이스트랙에서의 불연속을 생성한다. 애노드는 공동 내부에서 각 단부에 위치한다.
- <15> Kubo 등은 미국 특허 제5,334,302호에서 복수의 마그네트론 캐소드 공동으로 이루어진 스퍼터링 장치를 개시하고 있다. 각 공동의 기부 내로 프로세스 가스가 도입된다. 그러한 공동들은 프로세스 챔버로 개방된다.
- <16> Helmer 등은 미국 특허 제5,482,611호에서 컵 형상 또는 환형의 캐소드를 갖는 비대칭 마그네트론 스퍼터 캐소드를 개시하고 있다. 캐소드 개구에 인접하여 널 자기장 포인트가 생성된다. 방전 공동은 프로세스 챔버로 개방된다. 이 특허 문헌의 도 6에서, 별도의 마이크로파 인가 장치가 캐소드 개구 위에 설치된다. 캐소드로부터 떨어져있긴 하지만, 그러한 인가 장치의 개구 치수는 캐소드 공동의 치수와 같거나 그보다 더 크다. 하나의 실시 형태에서 프로세스 가스가 프로세스 챔버의 개구 반대측의 공동 기부에서 공동 안으로 도입된다.
- <17> Scherer는 미국 특허 제5,728,280호에서 중공 타깃을 사용한 캐소드 스퍼터링에 의해 기관을 코팅하는 장치를 교시하고 있다. 공동에서의 마그네트론 방전은 약한 널 자기장 포인트가 프로세스 챔버 내에서 공동 외부에 양호하게 생성되도록 균형을 이룬다.
- <18> Bardos 등은 미국 특허 제5,908,602호에서 선형 아크 방전 소스를 개시하고 있다. 방전 공동은 마그네트론 가둠 플라즈마 영역을 포함하지 않으며, 방전 공동의 개구는 프로세스 챔버에 노출된다.
- <19> McLeod는 미국 특허 제6,444,100호에서 박스형 중공 캐소드 스퍼터 소스를 개시하고 있다. 박스의 저부는 전기적으로 부유 상태(floating)로 되거나 캐소드에 연결된다. 박스는 프로세스 챔버로 개방되며, 프로세스 가스는 프로세스 챔버 개구를 통과하는 것 외에 박스 안으로 도입되는 일은 없다.
- <20> 기타 플라즈마 소스
- <21> Maschwitz 등은 미국 특허 제6,444,945호에서 바이폴라 플라즈마 소스, 플라즈마 시트 소스 및 바이폴라 플라즈마 소스를 이용하는 이퓨전 셀(effusion cell)을 개시하고 있다. 바람직한 실시 형태에서, 마그네트론 캐소드 플라즈마를 생성하지 않으며, 중공 캐소드 공동 개구가 프로세스 챔버에 노출된다.

<22> Miljevic는 미국 특허 제4,871,918호에서, 프로세스 챔버에 대한 개구 치수를 감소시킨 도관이 있는 방전 공동을 포함하는 중공 애노드 이온 전자 소스를 개시하고 있다. 방전 공동 내에 어떠한 마그네트론 가둠 영역이나 널 자기장 포인트가 존재하지 않는다.

<23> Khominich는 미국 특허 제6,103,074호에서 커스프 자기장(cusp magnet field)을 구현하는 캐소드 아크 기상 성막 방법 및 장치를 개시하고 있다. 방전 공동 내에 어떠한 마그네트론 가둠 영역이 존재하지 않으며, 방전 공동은 프로세스 챔버로 개방된다.

발명의 상세한 설명

<24> 본 발명은 전술한 플라스마 및 이온 소스뿐만 아니라, 기타 종래 기술의 플라스마 및 이온 소스에 대한 개선점을 제공한다. 보다 구체적으로, 본 발명의 한쌍의 플라스마 소스를 이용하며, 이들 플라스마 소스는 각각, 제1 폭을 갖는 방전 공동 및 이로부터 외측으로 연장하는 노즐을 구비한다. 각각의 노즐은 제1 폭보다 좁은 제2 폭을 갖는다. 각각의 플라스마 소스는 또한 방전 공동 내로 이온화 가능 가스를 도입하도록 방전 공동에 배치된 도관과, AC 전원에 연결된 적어도 하나의 전극을 포함한다. 전극은 방전 공동 내에 적어도 하나의 마그네트론 방전 영역을 유지할 수 있다. 각각의 플라스마 소스는 또한 방전 공동에 인접하게 배치되어 대체로 서로 대면한 복수의 자석을 포함할 수 있으며, 이들 복수의 자석은 방전 공동 내에서 널 자기장 포인트(null magnetic field point)를 생성한다. AC 전원에 연결되는 각각의 플라스마 비임 소스의 전극은 매 반사이클 동안에 번갈아가면서 애노드 전극이나 캐소드 전극으로서 기능을 한다. 각 플라스마 비임 소스 내의 이온화 가능 가스는 이온화되어, 플라스마 비임 소스 노즐로부터 방사되는 선형 플라스마 및 이온 비임을 형성한다. 플라스마 비임 소스 외부에는 응축성 전구체 가스가 공급된다. 이 전구체 가스는 플라스마 및 이온 비임에 의해 활성화된다. 제1 및 제2 플라스마 비임 소스에 인접하여 기판이 이송되며, 이 기판 상에 활성화된 가스에 의해 박막이 성막된다.

<25> 본 발명은 첨부 도면을 참조하여 보다 상세하게 명확하게 설명될 것이며, 도면에서 동일한 도면 부호는 동일한 부분을 지칭하고 있다.

실시예

<41> 도 1a에서는 노즐(6)로부터 투사되는 고밀도 플라스마(9)의 비임을 생성하는 플라스마 비임 소스(24)의 단면도를 도시하고 있다. 이 플라스마 비임 소스는 도시하지 않은 감압 상태의 프로세스 챔버 내에 위치한다. 자석(1, 2)들은 자성강(magnetic steel)으로 이루어진 분류기 박스(shunt box)(3)에 의해 S극이 지지된 상태로 서로 대면하게 배치된다. 자석(1, 2)은 외측으로 향하는 자기력선(18)과 내측으로 향하는 자기력선(19)으로 이루어진 커스프 자기장을 생성한다. 내측으로 향하는 자기력선(19)은 절연체(15) 및 라이너(16)를 통과해 중앙의 분류기(10)에 이른다. 커스프 자기장은 방전 공동(26) 내에 널 자기장 영역(25)을 생성한다. 자석(1, 2) 및 단부 자석(20, 21)(도 2 참조)은 플라스마 영역(8, 9) 내에 엔드리스 전자 트랩(endless electron trap)을 생성한다. 분류기(10)는 분류기(11)에 연결되며, 이들 두 분류기는 모두 자성강으로 이루어진다. 라이너(16)는 열전달을 향상시키도록 블록(12)에 브레이징된다. 블록(12)은 건드릴(gun drill) 가공된 구멍(13) 및 배관(도시 생략)을 통해 수냉된다. 분류기(11)는 블록(12)에 고정되어 있다. 라이너(16), 블록(12) 및 분류기(10, 11)의 조립체는 플라스마 비임 소스의 하나의 전극을 형성한다. 제2의 전극은 분류기 박스(3) 및 커버(5)에 의해 형성된다. 자석들은 절연편(14, 15)에 의해 라이너(16) 및 블록(12)으로부터 절연된 세라믹 형태이다. 절연편(14, 15)은 플루오로폴리머 또는 전기 절연 세라믹 재료로 제조될 수 있다. 약 3mm의 간극(100)에 의해 박스(3)가 블록(12) 및 분류기(11)로부터 이격되어, 그 간극 내의 플라스마가 제거되게 한다. 가스(27)는 박스(3)의 포트(4)를 통해 플라스마 비임 소스 안으로 들어온다. 가스(27)는 박스(3)와 블록(12) 사이의 간극(100) 내에서 블록(12) 둘레로 이동한다. 가스(27)는 이어서 박스(3) 및 커버(5) 내로 절삭된 복수의 얇은 트렌치(22) 안으로 유입된다. 그러한 가스 도관의 상세도가 도 1(b)에 도시되어 있다. 가스(27)는 커버(5)와 라이너(16) 사이의 방전 공동(26) 안으로 배출된다. 커버(5)는 노즐(6)을 구비하며, 이 노즐(6)을 통해 가스(27)가 프로세스 챔버 안으로 유입된다. 커버(5)와 노즐(6)은 브레이징된 배관(7)에 의해 수냉된다. 전원(17)의 한쪽 전극은 일측에서 커버(5), 박스(3), 그리고 챔버 접지에 연결된다. 전원(17)의 다른 전극은 내부의 블록 조립체(12)에 연결된다[이에 따라 라이너(16) 및 분류기(10, 11)에 연결됨]. 블록(12)에 대한 전기적 연결은 박스(3)를 빠져나가는 수냉용 배관(배관은 도시 생략)에 이루어진다. 전원(17)은 표준 스피터 마그네트론 타입의 전원이거나, 펄스형 DC, 중주파수의 AC 또는 RF 전원일 수 있다. 도 1a에서 DC 전원(17)은 음극이 블록(12)에 연결된 상태로 사용되고 있다. 가스(27)가 방전 공동(26) 안으로 도입되고 전원(17)이 온 상태로 되면, 플라스

마가 플라즈마 비임 소스의 영역(8, 9)에서 점화(igniting)된다. 영역(8)은 엔드리스 홀 전류 가둠 플라즈마(endless Hall current contained plasma)로서 플라즈마 비임 소스의 길이를 확장시킨다. 도 1(a)의 단면도에 도시한 바와 같이 영역(8)의 2개의 로브(lobe)는 작동하는 플라즈마 비임 소스의 내부에서 보았을 때에 플라즈마의 확장된 도넛(donut)으로서 나타난다. 영역(8)은 커버(5)로부터의 전기장이 플라즈마 비임 소스 내부의 자기력선(19)을 지나 아래쪽으로 침투하는 경우에 나타난다. 전자가 그러한 전기력선을 따르려고 할 때에, 전자들은 자기력선(19)에 의해 구속된다. 스퍼터 마그네트론 또는 클로즈드 드리프트 이온 소스와 같은 수많은 다른 홀 전류 가둠 소스에서 공지된 바와 같이, 전자는 전자를 수용하는 라이너(16) 및 분류기(10)의 표면과 자기력선(19)에 의해 이루어지는 정전기적 및 자기적 가둠 영역으로부터 탈출할 수 없다. 그 결과, 방전 공동(26) 내부에 갇힌 플라즈마 영역(8)이 초래된다.

<42> 플라즈마 영역(9)은 플라즈마 영역(8)의 결과로서 생성 유지된다. 자기력선(18), 커버(5) 및 노즐(6)의 구성에 의해, 플라즈마(8)에 의해 생성된 전자는 커버(5) 및 노즐(6)의 애노드 전극에 도달하는 것이 방지된다. 확인할 수 있는 바와 같이, 자기력선(18)은 라이너(16)로부터 외측으로 보내져, 집속되어, 노즐(6)을 통과해 빠져나간다. 전자가 자기력선을 가로지를 수 없기 때문에, 커버(5), 노즐(6) 및 플라즈마(8) 간의 전기 회로는 단지 노즐(6)을 통해 빠져나가 자기력선(18)에 의한 가둠 영역 외부로 보내지는 전자에 의해서만 완성될 수 있다. 플라즈마(9)는, 전자가 노즐(6)을 통해 자기력선(18)을 따라 빠져나가려고 하는 경우 자기력선(18)이 노즐(6)에서 집속될 때의 자기적 미러(magnetic mirror)에 전자가 직면하기 때문에 생성된다. 이러한 미러 영역은 전자의 일부를 반사하고, 플라즈마(9) 내에 제2 가둠 영역(39)을 생성한다. 제2 가둠 영역(39)은 또한 전자가 사이클로이드 운동(cycloid motion)으로 플라즈마 비임 소스의 일단까지 아래쪽으로 이동하였다가 다시 타단으로 이동하기 때문에 클로즈드 드리프트 자기 보틀(closed drift magnetic bottle)을 이룬다. 이러한 홀 전류 드리프트는 교차하는 전기장과 자기장뿐만 아니라, 미러 영역(18) 내에서의 자기장의 구배로 인해 발생한다.

<43> 방전 공동(26)으로부터 플라즈마(8)의 전자를 위한 유일한 탈출 경로는 노즐(6)을 통과하는 것이다. 노즐(6)은 또한 방전 공동(26)으로부터 프로세스 챔버로 흐르는 가스(27)의 유일한 탈출 경로를 형성한다. 따라서, 노즐(6)을 빠져나갈 때에, 가스(27)의 상당 부분이 이온화된다. 영역(29)에서 가스(27)와 전자의 합류는 노즐(6)에서 프로세스 챔버 안으로 연장하는 고밀도 플라즈마(9)를 생성한다. 작동 시의 플라즈마 비임 소스(24)를 보았을 때에, 플라즈마(39)와 플라즈마(9)는 하나의 플라즈마인 것으로 보인다. 노즐(6)의 내부 치수는 방전 공동(26)의 폭 치수보다 작다. 노즐을 좁게 만듦으로써, 라이너(16)로부터 스퍼터링되어 프로세스 챔버에 도달하는 물질을 보다 적게 할 수 있고, 노즐(6)을 통해 흐르는 프로세스 가스(27)의 이온화는 최적화되며, 프로세스 챔버로부터 방전 공동(26) 안으로의 가스 유입은 좁은 개구 및 가스(27)의 유출에 의해 제한된다.

<44> 도 2에서는 도 1(a)에 도시한 플라즈마 비임 소스(24)를 커버(5)를 제거한 상태로 나타내는 평면도를 도시하고 있다. 도 2에서는 측부 자석(1, 2)과 함께 클로즈드 드리프트 자기장(18, 19)[도 2에서는 자기장(18)만을 도시함]을 생성하는 단부 자석(20, 21)이 도시되어 있다. 또한, 박스(3), 라이너(16), 절연체(15), 중앙 분류기(10), 및 자석(1, 2, 20, 21) 아래의 수냉식 블록(12)을 확인할 수 있다. 가스(27)를 위한 박스(3) 내의 트랜치(22) 또한 확인할 수 있다. 플라즈마(39)는 중앙 소스 영역에서 보다 밝은 점 영역으로 도시되어 있다. 보다 어두운 점 영역은 노즐(6)을 빠져나갈 때 가장 좁은 구역에서의 플라즈마 영역(9)에 상응한다.

<45> 도 3에서는 도 1(a) 및 도 2에 도시한 플라즈마 비임 소스(24)의 등각 투상도를 도시하고 있다. 수냉용 배관은 도시하지 않는다(수냉용 배관은 2개 전극 모두에 전기적 연결을 형성하는 데에 유용하다). 도 3에서, 플라즈마(9)가 노즐(9)로부터 나오는 것을 확인할 수 있다. 플라즈마(9)는 노즐(6)로부터 펼쳐지는 좁고 균일한 비임을 형성한다.

<46> 도 1(a) 내지 도 3에 도시한 플라즈마 비임 소스는 다음과 같이 구성될 수 있다. 자석(1, 2)은 세라믹 타입으로 치수가 1" 폭×4" 길이×1" 두께이다. 자석(20, 21)은 2" 길이×1" 폭×2" 두께이다. 박스(3)는 0.25"의 두께를 갖는 연장판으로 이루어진, 블록(12)은 황동으로 이루어진다. 상부 커버(5) 및 노즐(6)은 구리로 이루어진다. 노즐(6)의 개구는 0.50"폭×0.75"깊이×3.25"길이를 갖는다. 분류기(10)는 연장판으로 이루어지며, 분류기(11)도 마찬가지이다. 라이너(16)는 타원형으로 굴곡된 구리 시트로 이루어지며, 라이너(16)의 내벽들 사이의 거리는 단축 치수(폭)가 1.25"이고, 장축 치수(길이)가 3.75"이다. 라이너(16)는 3.0"의 깊이를 갖는다. 도 1(a)를 참조하면, 노즐 개구의 치수는 폭(115)에 상응하는 0.50"이다. 라이너(16)의 폭 치수는 1.25"로 방전 공동(26)의 폭(110)에 상응한다.

<47> 도 1(a) 내지 도 3의 바람직한 실시예에 대한 특정 치수를 제시하고 있지만, 당업자들에게 자명한 바와 같이 수많은 수정 및 변형이 본 발명으로부터 벗어나지 않고 이루어질 수 있다. 예를 들면, 플라즈마 비임 소스의 특

정 치수뿐만 아니라, 플라스마 비임 소스의 크기를 변경할 수 있다. 또한, 구성 재료도 변경할 수 있다.

- <48> 본 발명의 플라스마 비임 소스 및 이로부터 생성되는 플라스마(9)는 이하의 측정값으로 나타낸 바와 같은 몇 가지 흥미있는 유용한 특성을 갖는다.
- <49> 플라스마(9)는 매우 고밀도로 이루어진 것으로, 이온 밀도가 300V에서 1kW의 출력을 갖는 DC 전원의 경우에 1cm³ 당 10¹²개를 초과한다. 이온 포화 전류는 주어진 플라스마 비임 소스 치수 및 전원 세팅의 경우에 100mA를 초과하는 것으로 측정되었다[전류 프로브 표면은 플라스마(9)를 차단하게 노즐(6)의 단부에서 5cm 떨어지게 배치하였음]. 전자 전류는 프로브를 접지한 상태에서 1A보다 크다.
- <50> 플라스마(9)의 홀 전류 가동으로 인해, 플라스마(9)는 [방향 전환(turnaround) 지점에서의 단부 효과를 제외하면] 플라스마 비임 소스의 길이에 걸쳐 균일한 경향이 있다. 이는 (대부분의 용례에서 그러한 바와 같이) 균일한 성막, 처리 또는 에칭이 필요로 하는 모든 용례에서 중요하다. 3미터 이상의 기관 폭이 균일하게 처리될 수 있다. 작동시에, 플라스마(9)는 노즐(6)로부터 투사되는 1cm이하의 폭의 균일한 비임으로서 나타난다.
- <51> 본 발명의 플라스마 비임 소스(PBS)는 스퍼터 소스가 아니다. 그 플라스마 비임 소스의 용도는 PECVD, 플라스마 처리 또는 에칭 프로세스를 위한 것이다. 라이너 재료의 스퍼터링이 발생하지만, 단지 최소한의 스퍼터링된 물질만이 노즐을 빠져나간다. 이는 적어도 다음과 같은 2가지 요인 때문이다. 마그네트론 플라스마 영역(8) (도 1a 참조)은 플라스마 비임 소스 내부 깊숙이 위치하고, 스퍼터링된 라이너 물질은 라이너 및 분류기(10, 11) 상에나 커버(5) 및 노즐(6) 상에 다시 코팅되는 경향이 있다. 스퍼터링된 물질은 소정 표면과 접촉시에 용이하게 응축되기 때문에, 그러한 구조는 플라스마 비임 소스를 빠져나가려고 하는 스퍼터링된 물질에 대한 "구불구불한 경로(torturous path)"를 생성한다. 두 번째로, 마그네트론 플라스마(8) 위쪽에 프로세스 가스를 공급함으로써, 플라스마(8)로의 공급 가스의 흐름은 노즐(6)로부터 떨어지게 안내되어, 노즐(6) 밖으로의 응축물 흐름을 방해하는 방향성 모멘텀 효과(directional momentum effect)를 생성한다. 작동시에 플라스마 비임 소스는 낮은 스퍼터링 속도를 보였다. 예를 들면, 수 마이크론의 PECVD 실리콘 산화물 코팅을 성막할 때에, 얻어지는 코팅은 광학적으로 투명하였다. 이러한 결과는 구리 라이너(16)를 이용하여 얻어졌다. 산소 및 아르곤 가스 내에서 스퍼터링된 구리는 검은색 코팅으로서 나타나게 된다. 그러나 이러한 코팅은 기관상에서 확인할 수 없었다.
- <52> 이러한 플라스마 비임 소스 내에서 순수 반응성 가스는 "연소(burning)"될 수 있다. 많은 고밀도 플라스마 소스는 전자를 생성하는 데에 필라멘트, 낮은 일함수 물질 또는 전계 효과 소자를 이용한다. 이러한 소스는 통상 아르곤과 같은 불활성 가스를 소스 내에 공급한다. 그러한 종래 기술의 소스 내부에 산소와 같은 반응성 가스를 이용하게 되면, 전자 소스의 수명을 현저히 단축시키는 경향이 있다. 반응성 프로세스를 달성하기 위해, 그러한 소스는 소스 외부에 산소를 공급하여, 소스를 빠져나오는 아르곤 플라스마와 일부의 산소가 반응하게 한다. 이러한 방식은 효율이 낮지만, 대안이 존재하지 않기 때문에 오늘날에도 수많은 프로세스에서 이용되고 있다. 본 발명의 PBS는 그러한 점을 고밀도의 순수 산소 플라스마를 직접 생성하는 능력으로 교체하였다. 이는 다수의 프로세스에 유리하다. 또한, 아르곤 가스 흐름이 필요하지 않기 때문에 진공 펌핑 요건이 감소된다.
- <53> 본 발명의 PBS는 넓은 범위의 프로세스 압력에 걸쳐 작동할 수 있다. 마그네트론 타입의 소스에 통상적인 바와 같이, PBS는 1 내지 100mTorr 범위의 압력에서 용이하게 작동할 수 있다. 이러한 압력 범위 외에도, 증착 프로세스에서 이용되는 10⁻⁵ Torr 정도로 낮은 범위로 그 작동을 확장시킬 수 있다. 이는 노즐(6)이 플라스마 비임 소스를 빠져나가는 가스 컨덕턴스(gas conductance)를 제한하기 때문에 이루어질 수 있다. 프로세스 가스(27)를 방전 공동(26) 내에 공급함으로써, 플라스마 비임 소스 외부에서는 훨씬 낮은 프로세스 압력이 존재하더라도 방전 공동 내의 압력은 mTorr 범위로 유지될 수 있다.
- <54> 절연성 PECVD 막의 연속적인 성막이 가능하다. PECVD에서, 그 프로세스 중에 전극이 흔히 코팅된다. 이는 SiO₂와 같은 절연막의 경우에 아크 방전을 야기하거나, 프로세스의 완전한 중단을 초래할 수 있다. PBS의 경우에, 노즐은 방전 공동 안으로의 응축성 가스의 컨덕턴스를 제한하여, 내부 마그네트론 전자 소스가 오염되지 않게 한다. 이는 큰 면적의 PECVD 프로세스를 위한 PBS에 대해 중요한 이점으로 이하에서 더 상세하게 설명한다.
- <55> 플라스마 비임(9)은 프로세스 챔버 내부의 평균 자유 경로(free mean path)를 따라 노즐(6)로부터 수백 mm 만큼 연장한다. 예를 들면, 3mTorr에서, 비임은 적어도 300mm 연장한다. 이러한 특성은 비임 소스가 수많은 용례에서 뛰어나게 할 수 있다. 예를 들면, 비평면 3D 기관에 대해 균일한 PECVD 코팅, 처리 등이 가능하다.
- <56> 기관은 PBS로부터 전기적으로 절연될 수 있다. 기관은 단지 선택적으로 전기 회로의 일부를 이루기 때문에, 기

판은 접지되거나, 부유 상태로 유지하거나, 다른 전원에 의해 별도로 바이어싱될 수 있다. 이러한 특징이 다음 도면들에 예시되어 있다.

- <57> PBS(24)는 표준 DC 마그네트론 전원을 이용하거나, 0 내지 100MHz 주파수 범위의 다양한 주파수의 교류 전원을 이용하여 작동된다. 도 1(a) 내지 도 3에서, 분류기 박스(3) 및 커버(5)는 접지에 연결된다. 이는 챔버에 높은 전압이 덜 노출되게 하며(안전성), 장착이 보다 용이하다는 점에서 편리하다. 대안적으로, 외부 구성 요소인 박스(3)와 커버(5)는 전기적으로 부유 상태로 될 수 있다. 몇몇 가능한 구성이 다음 도면에 도시되어 있다.
- <58> 도 4에서는 PECVD 코팅 용례에서의 플라즈마 비임 소스(24)를 도시하고 있다. 아르곤과 산소의 혼합물(41)이 튜브(40)에서 플라즈마 비임 소스의 포트(4)로 급송된다. 모노머 전구체 가스가 플라즈마 비임 소스 외부에 분배된다. 코팅은 전구체 가스가 플라즈마(9) 내의 이온화된 가스에 의해 활성화될 때에 기판(23) 상에 성막된다. 이러한 프로세스는 본 발명의 중요한 이점을 돋보이게 한다. 즉, 노즐(6)의 컨덕턴스 제한은 물론, 노즐(6)을 통해 빠져나가는 플라즈마(9)의 높은 밀도 및 방향성으로 인해, 전구체 가스(43)는 플라즈마 소스(43) 내에 쉽게 유입되지 않는다. 이는 코팅이 진행된 후에, 플라즈마 비임 소스(24)의 방전 공동(26)에 비교적 PECVD 코팅이 없는 경우에 확인할 수 있다. 종래의 PECVD 소스에서, 플라즈마 전극이 프로세스에 노출된다. 플라즈마는 전극에서 가장 밀도가 높기 때문에, 노출된 전극은 프로세스를 오래 진행할 수 없게 하는 두꺼운 코팅을 빨리 얻게 된다.
- <59> 플라즈마 비임 소스(24)에 의해 처리되는 기판은 다양한 재료 및 형상을 포함할 수 있다. 그러한 기판은 예를 들면 가요성 웹, 평판 유리, 3차원 형상, 금속, 실리콘웨이퍼, 및 각종 폴리머 재료를 포함할 수 있으며, 이에 한정되지 않는다. 수많은 기타 물리적 구성 및 프로세스 구성이 플라즈마 비임 소스(24)를 사용하여 가능하다. 예를 들면, 전구체 가스는 즉각적인 정체(immediate buildup)라는 문제점 없이 방전 공동(26) 안으로 도입될 수 있으며, 탄화수소와 같은 몇몇 가스는 연장된 기간 동안 플라즈마 비임 소스 내로 공급될 수 있다. PBS는 또한 PECVD 외에 플라즈마 처리, 표면 세정 또는 반응성 이온 에칭과 같은 수많은 플라즈마 프로세스를 수행할 수 있다. 기판의 "처리(treat)"란 용어는 전술한 모든 프로세스를 포괄적으로 나타내는 데에 이용되고 있다.
- <60> 도 5에서는 전자 비임 증착 웹 코팅 용례에서 증착물(evaporant)(29)을 반응시키는 데에 이용되는 플라즈마 비임 소스(24)를 도시하고 있다. 드럼(25)이 성막 영역에 걸쳐 웹(23)을 지지한다. 도가니(27)는 증착물 원료(28)를 수용한다. 전자 비임 소스(26)가 도가니(27) 내로 비임(31)을 방사한다. 플라즈마(9)는 플라즈마 비임 소스로부터 증착물 구름(evaporant cloud)(29) 내로 안내되어, 플라즈마(9)의 이온화된 가스와의 반응을 조장한다. 차폐(30)가 전자 비임(31)에 대한 플라즈마(9)의 영향을 억제한다. 본 발명 이전에는 중공 캐소드 소스가 증착물의 반응을 달성하는 데에 이용되어 왔다. 중공 캐소드는 중공 캐소드의 외부의 플라즈마가 제한된 확산만을 하기 때문에 본질적으로 균일하지 못하다. PBS의 경우에, 자기력선(19)은 전자를 가두고, 정전기력에 의해 이온도 마찬가지로 플라즈마 영역(9) 내에 가둬진다. 또한, 전술한 바와 같이, PBS는 전자 가둠의 클로즈드 드리프트 특성으로 인해 기판 폭에 걸쳐 균일하다.
- <61> 도 6에서는 위성형 박스 코터(planetary box coater) 용례에 적용된 플라즈마 비임 소스(24)를 도시하고 있다. 도 6에서, 플라즈마 비임 소스(24)는 단부에서 본 것보다는 길이 방향을 따라 도시되어 있다. 도 6에서, 플라즈마 비임(9)은 플라즈마 시트로서 나타난다. 플라즈마 비임 소스(24)는 기판을 지지하는 위성으로부터 거리를 두고, 즉 박스 코터의 저부에 배치되어, 다른 성막 소스(예를 들면, 전자 비임 또는 열증착 소스)를 위한 공간을 제공한다. 플라즈마 비임 소스(24)와 기타 성막 소스를 조합함으로써, 코팅은 플라즈마(9)의 작용에 의해 치밀화될 수 있다. 순수 아르곤이 금속 코팅을 치밀화하는 데에 이용되거나, 반응성 가스가 추가될 수 있다. 종래 기술에 비한 본 발명의 플라즈마 비임 소스의 큰 이점은, 그 플라즈마 비임 소스 내에서 산소와 같은 반응성 가스를 직접 소모하는 플라즈마 비임 소스의 능력에 있다. 종래 기술에서는 반응성 가스의 소모에 민감한 필라멘트 또는 기타 전자 생성 수단을 필요로 하였기 때문에, 플라즈마 비임 소스 내에 불활성 가스의 사용이 필요하였다. 그러한 소스에서, 반응성 가스는 소스의 외부의 프로세스 챔버 내로 공급되었다. 프로세스 챔버 내에서 반응성 가스의 낮은 이온화 효율은 큰 소스 파워 및 큰 아르곤 유량이 필요하였다. 순수 반응성 플라즈마(또는 필요에 따라 불활성과 반응성의 조합)를 생성하는 플라즈마 비임 소스(24)의 경우, 프로세스 효율이 향상되고, 프로세스를 적당한 압력으로 유지하기 위해 필요한 전체 펌핑 속도가 감소된다(불필요한 아르곤을 펌핑에 의해 제거할 필요가 없다).
- <62> 도 7에서는 실리콘웨이퍼와 같은 기판(23)에 적용된 플라즈마 비임 소스(24)를 도시하고 있다. 도 7에서, 웨이퍼(23)를 지지하는 스테이지(51)가 병진 운동하여, 플라즈마(9)에 의해 웨이퍼(23)가 균일하게 처리되게 한다. 플라즈마 비임 소스(24)와는 별도로 기판(23)이 바이어싱될 수 있음을 도시하고 있다. 바이어스 전원(52), 도

시한 예의 경우에 전류가 웨이퍼(23)를 통해 흐르기에 충분한 주파수를 갖는 AC 전원이 스테이지(51)에 연결된다. PBS 전원(17)은 플라즈마(9)를 생성한다. 바이어스 전원(52)이 없는 경우, 절연성 기관(23)은 통상 플라즈마(9)의 고유 부유 전압(characteristic floating voltage)(이 전압은 PBS의 경우에 프로세스 조건에 따라 통상 약 -10 내지 -70볼트임)까지 상승할 것이다. 바이어스 전원(52)을 온 상태로 함으로써, 플라즈마(9)와 기관(23) 사이의 플라즈마 암부(plasma dark space)에 걸친 전압 강하가 양 또는 음의 방향으로 프로세스를 위해 필요한 수준까지 변할 수 있다.

<63> 도 8에서는 2개의 플라즈마 비임 소스(24a, 24b)가 기관에 걸쳐 큰 면적의 균일한 플라즈마를 생성하는 데에 어떻게 적용될 수 있는지를 도시하고 있다. 이 경우, 기관은 롤(64) 상에 걸쳐진 가요성 웹(23)이다. 2개의 플라즈마 비임 소스(24a, 24b)는 플라즈마 비임 소스(24a)의 자석(60, 61)(그리고, 이 플라즈마 비임 소스에서 도시 생략한 단부 자석)은 S극이 플라즈마(9)를 향하게 배치되는 한편, 플라즈마 비임 소스(24b)는 N극이 내측을 향하고 있는 자석(62, 63)을 구비하고 있다는 점을 제외하면 동일하다. 이러한 구성은 두 플라즈마 비임 소스들 간의 자기장의 공유를 생성하여, 도시한 바와 같이 폐쇄된 플라즈마 영역(9)을 생성한다.

<64> 도 9에서는 우주에서의 추진 용례를 위해 구성된 PBS의 단면도를 도시하고 있다. 마그네트론 전자 소스 및 커스프 자기장에 대한 기본 구성들은 전술한 도면에서와 동일하다. 이러한 플라즈마 비임 소스에서, 커스프 자기장(18, 19)은 환형 전자석(70, 71)에 의해 생성된다. 전자 소스의 마그네트론 플라즈마(8)는 라이너 튜브(16) 내에서 생성된다. 라이너(16)는 절연체 판(72)에 의해 박스(3)로부터 전기적으로 절연되고, 절연체 링(73)에 의해 전자석(71)으로부터 전기적으로 절연된다. 추진제 가스(27)는 포트(92)를 통해 가스 공동(79) 내로 보내진다. 이어서, 가스(27)는 라이너(16)와 이에 대향한 전극(5) 사이의 간극(78)을 통해 방전 공동(26) 내에 유입된다. 커버 전극(5)은 절연체 판(76)에 의해 원형 박스(3)로부터 전기적으로 절연된다. 커버(5)는 전자석(70)의 환형 개구 내로 아래쪽으로 설치된 노즐 부분(6)을 갖고 있다. 라이너(16)와 커버(5)는 전원(74)의 양단에 연결된다. 캐소드 단자가 라이너(16)에 연결되어 있는 DC 전원이 도시되어 있다. AC 또는 RF 전원 역시 이용될 수 있다. 박스(3)는 접지에 연결된다. 커버(5)는 전원의 일측과 함께 접지에 연결될 수 있다.

<65> 작동시에, 전원(74)이 온 상태로 되고 가스(27)가 방전 공동(26) 안으로 유입되면, 마그네트론 플라즈마(8)에 의해 생성된 전자가 자기장(18)의 미리 자기장 영역에 갇히고 플라즈마(39, 9)가 생성된다. 플라즈마(9)가 노즐(6)을 통해 배출될 때에 추진력이 발생한다. 추진력의 하나의 성분은 자기적 노즐 효과에 의해 생성된다. 자기 미리(39)를 통과한 후에, 전자는 이들이 노즐(6)로부터 우주 공간 안으로 더 이동함에 따라 자기장 강도의 감소를 경험하게 된다. 이러한 음의 구배에 응답하여, 전자 운동은 열 스피닝(thermal spinning)에서 자기력선의 축선을 따른 동적 운동으로 전환된다. 이어서, 전자는 이온을 정전기적으로 압박하여 플라즈마 비임 소스로부터 멀어지게 가속한다. 영역(18)에서의 자기장이 이온을 가둘 정도로(이는 자기장 강도가 적어도 1000 가우스를 초과하는 경우에 발생함) 세질 수 있다면, 다른 형태의 이온 추진력이 생성될 수 있다. 이러한 조건 하에서, 이온은 자기적으로 가두어지며, 노즐(6)을 통과할 때에 방사상 전기장에 의해 가열될 수 있다. 이온이 노즐을 빠져나갈 때에, 이온은 애노드(5)로부터의 정전기적 반발력 및 자기적 노즐 효과에 의해 가속된다.

<66> 바람직한 실시예의 전자 가둠의 다른 양태에서, 2개의 가능한 3축 자기장 전자 탈출 경로가 라이너(16)에 의해 물리적으로 경계가 정해진다. 3축 자기장 영역은 원뿔 형상의 압축 영역(171, 19)과 평면 디스크 압축 영역(170)을 포함한다. 라이너(16)가 DC 회로의 캐소드로서 연결되거나 AC 전원의 음의 AC 사이클에 있는 경우에, 전자는 라이너(16)의 표면으로부터 정전기적으로 반사된다. 전자는 처음에 마그네트론 가둠 영역(S)에서 생성된다. 이러한 전자는 애노드 전극(5)에 도달하려 하기 때문에, 전자는 충돌 확산에 의해 자기력선(19)을 가로질러 미리 영역(39)을 통과해 이동함으로써, 커버(5)로 되돌아오기 전에 노즐(6)을 통해 플라즈마 비임 소스를 빠져나가게 된다. 자기력선을 가로질러 확산하는 동안, 전자는 또한 자기력선을 따라 나선 운동한다. 자기력선(170)이 라이너(16)를 통과하게 플라즈마 비임 소스를 구성함으로써, 그러한 자기력선을 따라 이동하는 전자는 정전기적으로 가둬진 상태를 유지한다. 자기력선(170)이 전기적 부유 표면이나 대향 전극(5)을 통과할 수 있게 되었다면, 얼마간의 전자가 자기장(170)의 압축 미러를 통해 빠져나갈 것이다. 단지 1축 자기장 영역(18)이 전자 탈출에 대해 개방될 수 있게 하면, 플라즈마 분출류(plasma plume)(9)를 생성 및 유지하는 데에 있어서의 전자의 효율적인 사용을 향상시킨다.

<67> 도 10은 플라즈마 비임 소스의 다른 실시예를 도시하고 있다. 전술한 바와 같이, 플라즈마 비임 소스는 원형, 환형, 또는 길이를 확장한 형태일 수 있다. 플라즈마 비임 소스(100)는 회로류 자석(1, 2)을 이용하고 2개의 전원(83, 84)을 이용한다. 도시한 바와 같이, 전원(83)은 캐소드 라이너(16)를 박스(3)에 연결한다. 절연체(81)가 박스(3)를 커버(5)로부터 전기적으로 분리시킨다. 전원(84)은 애노드 커버(5)를 박스(3)에 연결한다. 박스(3)는 접지된다. 이러한 구성을 이용함으로써, 플라즈마 전위는 접지에 대해 조절될 수 있다. 이는 플라

즈마(9)를 접지된 기관에 적용하는 경우에 유용할 수 있다. 플라스마 전위를 상승시킴으로써, 기관에 충돌하는 이온 에너지가 증가할 수 있다. 도 10에는 또한 커버(5) 내에 내장된 프로세스 가스 매니폴드(80)가 도시되어 있다. 작은 분배 구멍(85)이 가스(27)를 플라스마 비임 소스의 길이를 따라 균일하게 방전 공동(26) 안으로 안내한다. 자석(1, 2)들이 커스프 자기장 배치로 서로를 대면하게 함으로써, 미러 영역(39)에서 강한 미러 압축 비가 생성된다. 회로류 자석(1, 2)의 경우, 미러의 정점에서 자기장 강도는 500 가우스를 용이하게 초과할 수 있다. 전자가 미러 영역(39)을 통과할 때에, 전자는 강력한 자기장에 영향을 받으며, 그에 상응하게 전자의 Larmor 회전 반경(Larmor gyro radius)이 작아진다. 이러한 조건 하에서, 도 10의 단면도에서와 같이 단부에서 플라스마를 보았을 때에, 노즐(6)을 통과하는 플라스마(9)의 폭은 3mm 정도로 매우 좁아진다. 이는 무엇보다도 특히 Window, Sawides 및 Helmer의 수직 배향 자석에 비해 유리하다. 수직 배향 자석의 경우, 널 영역(25)이 마그네트론 가둠 영역(8) 위에 생성된 동안에, 자기장 강도는 통상 100 가우스 미만이고 전자의 Larmor 회전 반경은 커지게 된다. 도 10에 도시한 실시예에서, 분류기(10)는 알루미늄 본체(12) 내에 끼워진다. 분류기(10)의 용도는 라이너(16)의 스퍼터링 속도를 감소시키는 데에 기여하고, 라이너(16)의 스퍼터링을 균일하게 하여 라이너(16)가 더 오래가도록 하는 데에 있다. 이와 관련하여 유용하지만, 분류기는 기본적인 플라스마 비임 소스의 작동에 반드시 필요한 것은 아니다. 본체(12)는 압출 성형된 구멍(82)에 의해 수냉된다. 절연체(14, 86)는 박스(3) 내에서 캐소드 본체(12)를 지지하여, 캐소드[본체(12) 및 라이너(16)]를 박스(3)로부터 전기적으로 절연시킨다. 도 1(a)에 도시한 바와 같이, 플라스마 비임 소스(100)는 길이가 연장된 직사각형일 수 있다. 자기장 영역(8, 9) 모두의 폐쇄된 경로를 형성하는 데에 이용되는 단부 자석들은 도 10의 단면도에서 도시하지 않았다.

<68> 도 11에서는 수직 배향 자석을 갖는 변형예의 플라스마 비임 소스(1100)를 도시하고 있다. 이러한 자석 구성은 Window 및 Harding이 교시한 바와 같은 타입 II의 비대칭형 마그네트론 자기장의 전형이다. 이러한 실시예는 다양한 자석(97) 및 방전 공동(103)의 형상이 본 발명의 사상 내에서 이용될 수 있다는 점을 보여주고 있다. 본 실시예에서, 자석(97)은 2개의 가둠 영역, 즉 캐소드(98)의 표면(105)에서의 마그네트론 가둠(1102) 및 노즐(104)을 통한 미러/노즐 가둠(93)을 생성한다. 다른 바람직한 실시예에서와 같이, 마그네트론 전자 생성 영역(102)은 방전 공동(103) 내에 수용된다. 방전 공동은 널 자기장 영역(95)을 수용한다. 커버 판(91)의 노즐 개구(104)는 미러 자기장(93)의 축선과 일치한다. 이러한 실시예는 다음과 같이 구성된다. 평면 라이너(98)는 건드릴 가공된 구멍(99)을 통해 수냉되고, 분류기(96) 내에 끼워진다. 자석(97) 및 경사 분류기(109)가 분류기(96)와 함께 도시한 비대칭 자기장을 생성한다. 분류기(96, 109)는 자성강으로 이루어진다. 평면 캐소드(98) 및 자석 요소(96, 97, 109)는 전기적으로 부유 상태의 박스(90) 내에서 전기 절연체(도시 생략)에 의해懸垂(懸垂)되어 있다. 전기적으로 부유 상태의 커버 판(91)은 박스(90)에 고정된다. 커버 판(91)은 구멍(92)을 통해 수냉된다. 박스(90)와 커버 판(91)은 알루미늄으로 이루어져 비자성이다. 커버 판(91) 및 캐소드(98)로 물을 안내하는 배관은 도시 생략하였다. 가스(27)는 나사 형성 구멍(100)을 통해 박스(90) 안으로 유입된다. 가스(27)는 자석 분류기(96) 둘레로 흘러 방전 공동(103) 안으로 유입된다. 본 발명의 다른 실시예에서와 같이, 전원(108)이 온 상태로 되는 경우, 마그네트론 플라스마(102)가 점화되어 전자를 미러 가둠 영역(106)에 공급한다. 미러 가둠 영역(106) 내에 갇힌 전자는 노즐(104)의 개구를 통해 빠져나가려고 하는 가스(27)와 충돌하여, 고밀도 플라스마(94)를 생성한다.

<69> 도 11에 도시한 본 발명의 또 다른 양태에서는 별도의 애노드(107)를 이용하고 있다. 도시한 바와 같이, 커버(91)는 전기 회로에 전극으로서 연결되지 않는다. 커버(91)의 중요한 양태는 빠져나가는 가스(27)에 대한 컨덕턴스를 제한하여, 그 가스가 노즐(104)에서 미러 가둠 영역(106)을 통해 빠져나가게 하는 데에 있다. 전기적으로, 큰 이동도의 전자가 제공되면, 복귀 전극(return electrode)을 플라스마 비임 소스의 외부에 배치하는 것은, 그 플라스마 비임 소스가 점화된 후에, 소스의 성능을 눈에 띄게 변화시키진 않는다. 애노드(107)가 캐소드(98)로부터 더 멀리 떨어지기 때문에, 플라스마(102)를 점화하기 위해 압력 스파이크가 [베이스 압력 및 이용되는 전원(108)의 점화 전압에 따라] 공동(103) 내에 필요할 수 있다. 일단 전도성 플라스마(102)가 점화되면, 애노드 전극이 프로세스 챔버 내의 임의의 위치에 배치될 수 있다. 애노드 전극이 노즐(104)인 경우, 전술한 바와 같이 얼마간의 이온 가속 이점이 얻어질 수 있다. 도 11에 도시한 플라스마 비임 소스에서, 라이너(98)의 재료는 알루미늄이다. 알루미늄은 산소 가스(27)가 이용되는 경우 양호한 2차 전자 에미터가 된다는 이점을 가져, 캐소드 표면(105) 상에 형성된 반응성 생성물, 즉 알루미늄이 매우 천천히 스퍼터링된다. 이는 주어진 전력에 대해 높은 전자 전류가 생성되어, 캐소드 재료(98)가 서서히 스퍼터링되어 제거된다는 점에서 비임 소스 작동에 유리하다. 이러한 특성을 갖는 다른 재료가 이용될 수도 있다. 아르곤 플라스마(94)를 원하는 경우에, 양호한 캐소드 재료는 탄소이다. 탄소는 뛰어난 2차 전자 에미터는 아니지만, 아르곤에서 매우 천천히 스퍼터링된다. 도 11은 단면도를 도시하고 있음을 유념해야 한다. 전술한 도면에서 도시한 바와 같이, 플라스

마 비임 소스는 원형 또는 직사각형일 수 있으며, 1미터보다 긴 길이로 확장될 수 있다.

- <70> 도 12a는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 2개의 플라즈마 비임 소스(300)를 이용하는 이중 PBS 구성의 단면도이다. 이 실시예에서, 플라즈마 비임 소스(300)는 PECVD 코팅을 도포하도록 건축용 유리(301)와 같은 평면 기판(301) 위에 배치된다. 플라즈마 비임 소스(300)는 단면도로 도시한 것으로 길이가 3mm 이상으로 길 수 있다. 유리 기판(301)은 플라즈마 비임 소스(300) 아래의 롤러(306) 상에서 이동된다. 플라즈마 비임 소스(300)들은 자석(324, 325)들의 극성이 두 플라즈마 비임 소스들 간에 반대로 되어 있다는 점을 제외하면 동일하다. 분류기 박스(320)는 자석(324 또는 325)을 지지한다. 코어(321)는 절연체(도시 생략)에 의해 박스(320) 내부에 지지된다. 코어(321)는 건드릴 가공된 구멍(322) 및 상호 연결용 물 배관(도시 생략)에 의해 수냉된다. 타겟 라이너(312)는 중앙 분류기(323)와 마찬가지로 코어(322)에 고정된다. 이러한 3개의 부품은 전기적으로 함께 연결되어 소스 전극을 형성한다. 상부판(305)은 플라즈마 비임 소스의 길이를 따라 가스를 소스 공동(311) 내로 균일하게 분배하는 매니폴드(309)를 수용한다. 상부판(305)은 또한 소스 공동(311)에 대해 중심이 맞춰진 노즐(306)을 구비한다. 상부판(305)은 건드릴 가공된 구멍(328)을 통해 수냉된다. 상부판(305)은 박스(320)에 나사(도시 생략)에 의해 고정된다. 알루미늄 프레임(330)이 박스(320)로부터 상부판(305)을 이격시키고 있다.
- <71> 2개의 플라즈마 비임 소스(300)의 코어 전극(321)은 AC 전원(329)의 양측에 연결된다. 전원(329)은 20kHz 내지 500kHz의 주파수 범위를 갖는 교류 전류 전원이다. 이러한 중주파수 범위는 전극 표면 상의 절연막 퇴적물을 통해 전류를 용량성으로 결합하기에 충분히 높은 주파수이기 때문에 바람직하다. 또한, 수십 kW의 정격 출력을 갖는 중주파수의 전원은 쉽게 입수할 수 있고 비교적 저렴하다. 고주파수 또는 저주파수를 갖는 전원 또한 이용될 수 있다. 플라즈마 비임 소스(300), 박스(320), 및 상부판(305)은 접지되거나 부유 상태로 될 수 있다.
- <72> 반응성 및/또는 불활성 가스(310)가 매니폴드(309)를 통해 소스 방전 공동(311) 안으로 공급된다. 플라즈마 비임 소스(300)의 외부에는 매니폴드(307)가 전구체 가스(308)를 분배한다. 예를 들면, 가스(310)는 산소 가스일 수 있고, 가스(308)는 헥사메틸디실록산(HMDSO)과 같은 실리콘 함유 가스일 수 있다. PBS 외부에 전구체 가스(308)를 급송함으로써, 플라즈마 비임 소스(300)의 내부에 절연막 퇴적물이 최소화된다. 이는 종래 기술의 PECVD 소스에 비한 PBS의 중요한 이점이다(도 4 참조).
- <73> 작동시에, 플라즈마 비임 소스(300)들은 각각 번갈아가면서 캐소드 전극으로서 기능을 한다. 캐소드일 때, 방전 공동(311) 내부의 마그네트론(303)이 점화되고 미리 플라즈마(302)를 유발하는 전자를 방출한다. 하나의 PBS가 캐소드인 동안에, 다른 PBS는 회로를 위한 애노드로 된다. 단일 PBS의 경우에, 시간이 경과함에 따라, PBS 내부의 라이너 전극(312)은 비교적 코팅되지 않고 유지되지만, 접지를 통한 복귀 전류 경로는 절연막으로 코팅될 수 있다. 이러한 현상은 "애노드 소실 효과(disappearing anode effect)"로 지칭되는 것으로, 반응성 스퍼터링 프로세스에서 잘 알려져 있다. AC 전원의 양단에 2개의 PBS를 배치함으로써, 두 전극(312) 모두가 프로세스 챔버에서 발생하는 절연 코팅으로부터 "은폐"될 수 있을 뿐만 아니라, 각각의 전극이 번갈아 캐소드로서 작동할 때에 얇은 절연성 퇴적물이 계속해서 제거된다. 이러한 구성은, 절연막 PECVD 프로세스를 연속적으로 장기간 할 수 있게 한다. 전기적으로, 이러한 구성은, Estes 및 Westwood의 공개 공보는 물론, Scherer, Schmitt, Latz 및 Schanz의 공개 공보에서 개시하고 있는 바와 같은 이중 마그네트론 캐소드 장치와 유사하다. 전자를 생성하는 마그네트론 방전을 노즐 개구에 의해 프로세스 챔버로부터 분리한다는 점이 PECVD를 위한 이중 비대칭 마그네트론 구성에 대한 PBS의 차이점이자 이점이다.
- <74> PECVD에서, 전구체 가스의 분해(breakdown)가 플라즈마의 존재 하에서 발생한다. 플라즈마의 생성을 유발하는 전극이 전구체 가스에 노출되는 경우에, 전극에는 상당한 비율의 코팅이 생성된다. 이는 스퍼터용 마그네트론 타입 플라즈마 소스가 이용되고 전구체가 강력한 레이스트랙 형태의 음극 글로우(negative glow)에 노출되는 경우에 특히 그러하다. 전극 상의 코팅 퇴적물은 심각한 프로세스 장애를 야기한다. 전기 회로의 임피던스가 퇴적물에 의해 변화하여, 프로세스의 안정성에 영향을 미친다. 성막 속도 및 재료 사용량을 비롯한 프로세스의 효율이 전극에 코팅이 발생하는 만큼 감소한다. 가요성 웹 또는 건축용 유리(301)와 같은 기판 상에 장기간 코팅을 진행하는 것은 실용적이지 못하다. 그리고, 노출된 전극을 지속적으로 세정 또는 교체하기 위한 유지 보수는 성가신 일이다. 이중 PBS의 구성의 경우, 내부 마그네트론 캐소드 상의 코팅 퇴적물은 최소화되고 장기간 PECVD 코팅을 진행하는 것이 가능하다.
- <75> 도 12a에 도시한 이중 PBS 구성의 다른 중요한 특징은, 전원 사이클에서 번갈아가면서 플라즈마 비임 소스(300)로부터 방사되는 이온 비임의 생성에 있다. 그 효과를 설명하기 위해 도 12b에 하나의 PBS의 노즐 영역의 상세도가 도시되어 있다. AC 전원(329)에 의한 이중 PBS의 작동 중에, 각각의 PBS가 애노드인 동안에 다른 PBS는 캐소드이다. 애노드인 동안에, 모든 전자(315)는 애노드로 흘러 전원으로 복귀해야 한다. 전자(315)는 PBS의 내부

전극(312)에 도달하기 위해, 노즐 개구(306)를 통해 방전 공동(311) 안으로 들어가야 한다. 전자(315)가 노즐 개구를 향해 이동할 때에, 전자(315)는 노즐 개구(306)를 통해 나오는 미리 자기장(327)에 의해 방해받는다. 미리 자기장(327)은 기관(301)에 근방의 보다 약한 자기장 영역까지 밖으로 연장하는 노즐(306)에서의 강한 자기장에 의해 생성된다. 전자 전류의 흐름이 미리 자기장에 걸쳐 방해받기 때문에, 전압 강하가 생성된다. 파선(316, 314)은 대략적으로 그러한 전압 강하 영역의 경계를 표시하고 있다. 파선(314)은 노즐(306)에서의 가장 강한 자기장 영역이다. 파선(316)은 약한 자기장 영역으로서, 대략 미리 전자 가둠의 시작점에 해당한다. 파선(316)의 위치는 예시를 위해 나타낸 것으로, 기관의 위치 및 자기력선(327)의 강도에 따라 기관에 보다 근접할 수 있다. 전자(315)가 방전 공동(311) 안으로 유입되는 것이 방해받기 때문에, 가스 원자(318)는 노즐(306)을 통해 방전 공동(311) 밖으로 흐른다. 이러한 중성 원자가 전자(315)와 충돌하여 이온(317)이 형성된다. 이온(317)은 이어서 파선(314, 316)을 가로지르는 전기장의 영향을 받게되어, 이온(317)이 기관(301)을 향해 플라즈마 비임 소스(300) 밖으로 가속된다. 이러한 전체적인 효과는 축방향 전자 미리 가둠에 의한 "엔드 홀(End Hall)" 효과를 이용하는 이온 소스와 유사하다. 작동시에, 각각의 반사이클마다 이온(317)의 고밀도 선형 비임이 플라즈마 비임 소스(300)로부터 기관(301)을 향해 나온다. 동시에, 캐소드 PBS로부터 유출된 전자는 그러한 이온 비임을 중성화시킨다. 그 결과, 기관에 충돌하는 이상적으로 중성화되고 균일한 고밀도 이온 비임이 얻어진다. 그 이온 에너지는 약 60 내지 120eV이다.

<76> 플라즈마 비임 소스(300)를 설치할 때에, 냉각수를 코어(321)로 안내하는 물 배관이 절연되어 그 배관에 전자가 도달하는 것을 방지하는 것이 중요하다. 프로세스 챔버 내에서 전극 전위를 갖는 물 배관용 이음쇠 또는 기타 구성 요소에 전자가 도달할 수 있는 경우에, 전자는 애노드 사이클 동안에 그러한 구성 요소로 흐르게 될 것이다. 이는 전자가 전원으로 다시 돌아갈 "보다 용이한" 경로를 발견하는 경우에 노즐(306)에서의 미리 임피던스를 통과하려 하지 않을 것이기 때문에 발생한다.

<77> 이온 충격에 의해 막의 품질이 현저히 향상된다는 점은 당업계에 공지되어 있다. 이온 충격이 없는 경우, PECVD 막은 연질이고 밀도가 낮을 수 있다. 고품질 고밀도 막을 생성하기 위해, 이온 충격이 흔히 사용된다. 이는 기관에 바이어를 걸거나 별도의 이온 소스를 이용함으로써 통상 행해진다. 기관에 바이어를 거는 것은 비교적 간단하지만, 추가적인 전원이 필요하다. 그러나, 두꺼운 플라스틱 또는 건축용 유리와 같은 몇몇 기관은 바이어를 걸기가 곤란하다. 두 번째 방법, 즉 별도의 이온 소스의 사용은 전극 노출의 문제점을 겪게 되고, 또한 이온 소스는 통상 큰 면적의 고속 PECVD를 위해 필요한 선형 구성 및 전류 밀도를 충족하지 못한다. 도 12a 및 도 12b에 도시한 이중 PBS 구성은 그러한 문제점을 해결하는 한편, 다음과 같은 다수의 중요한 이점을 갖는다.

<78> 건축용 유리의 인라인 코팅 및 가요성 웹의 롤 코팅과 같은 용례를 위해 장기간의 연속적인 성막을 진행할 수 있다. 코팅으로부터 전극을 보호하는 것의 중요성이 그러한 용례에서 과하게 강조되지 않을 수 있다. 이중 PBS의 실제 용례에서, 내부 방전 공동(311) 내를 최소한으로만 코팅하면서 수백 마이크론의 SiO₂와 같은 절연막을 기관 상에 성막할 수 있다.

<79> 자기적 전자 가둠은 큰 면적에 걸쳐 균일한 코팅을 가능하게 한다. 종래 기술의 PECVD 프로세스에서, 간단하면서도 노출된 RF 평면 전극이 흔히 사용되어 왔다. 그러한 RF 전극은 빨리 코팅될 뿐만 아니라, 대형 전극에 걸쳐 플라즈마의 균일성을 달성 및 유지하기가 곤란하다.

<80> 각각의 PBS로부터 번갈아가면서 방사되는 60 내지 120eV의 이온 비임은 독특한 것으로, 고밀도 고품질의 유용한 막을 형성할 수 있다. 이러한 균일하면서 중성화된 이온 비임은 PECVD 프로세스에서 매우 유리하다.

<81> PBS로부터 방사되는 고밀도 플라즈마는 물론, (전원에 의해 번갈아가면서 방사되는) 캐소드로부터의 전자 비임과 애노드로부터의 이온 비임 모두는 성막 속도를 높게 한다. 예를 들면, 산소 가스와 HMDSO를 이용하여 이산화실리콘막을 성막할 때에, 200nm-m/min의 동적 성막 속도(dynamic deposition rate)를 일정하게 달성한다.

<82> 이중 PBS는 비자기적 가둠의 PECVD 소스에 비해 저압에서 작동할 수 있다. 이는 분말 형성 없이 고전력을 이용할 수 있게 하며, 이에 따라 높은 성막 속도 및 높은 막 품질의 프로세스를 가능하게 한다.

<83> 이중 PBS 소스(300)에서 자석(324, 325)들은 두 PBS 소스에서 동일 자극이 내측을 향하게 하거나, 상이한 자극이 내측을 향하게 구성될 수 있다. 도 12a에서는 내측을 향하고 있는 자극이 다른 2개의 PBS 소스를 도시하고 있다.

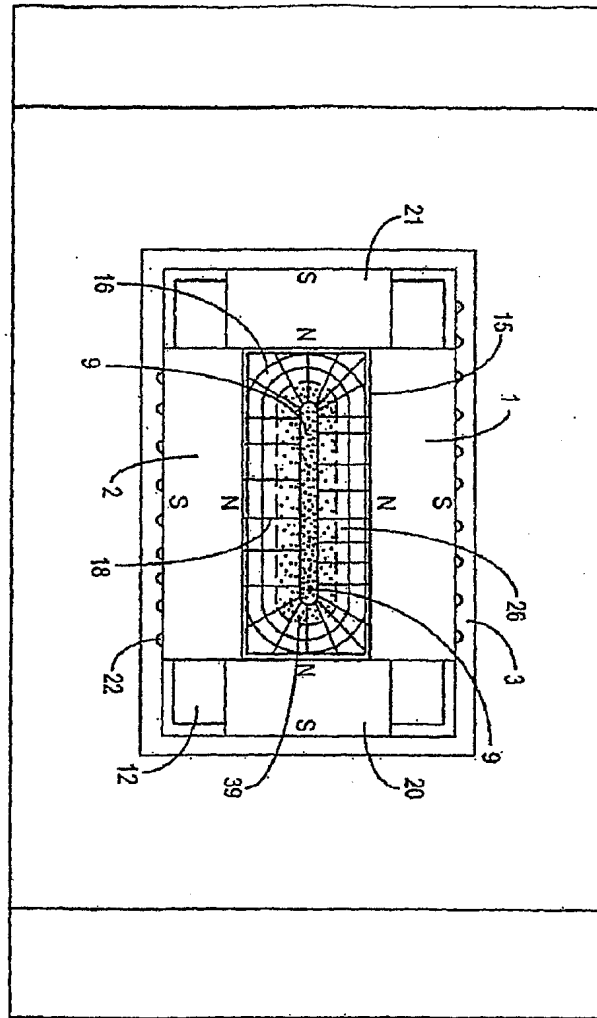
<84> 본 발명의 플라즈마 비임 소스는 수많은 이점 및 용례를 갖는다. 본 명세서에서 다수의 구성을 개시하였지만, 본 발명의 사상 내에서는 더 많은 구성이 가능하다. PBS의 주요한 용례는 면적이 큰 기관의 PECVD이다. 이러

한 용례 내에서, 수많은 기판 및 코팅 프로세스가 가능하다. 기판의 범위는 수많은 다양한 크기 및 형상을 포함한다. 대략적으로 열거하자면, 좁은 가요성 웹, 넓은 가요성 웹, 건축용 및 차량용 유리나 태양전기 패널과 같은 큰 평면 기판, 그리고 자동차용 윈드쉴드 및 전조등 반사갯이나 휴대폰용 커버와 같은 일련의 3차원 부품을 들 수 있다. 플라스틱 및 유리와 같은 절연 재료, 전도성 금속, 및 반도체 재료와 같은 수많은 기판 재료를 이용할 수 있다. 광범위의 물질이 광범위한 전구체 선택이 가능한 PBS를 이용한 PECVD에 의해 성막될 수 있다. SiO_2 , TiO_2 , SiN , SiC 및 이들 모두의 혼합물과 같은 막은 그 전구체들이 쉽게 입수할 수 있고, 안전 및 환경에 대한 문제가 적으며, 저렴하다는 점에서 용이하게 성막될 수 있다. 또한, 유리하게 이용될 수 있는 수많은 금속, 금속 질화물, 및 금속 산화물 함유 전구체가 현재 이용될 수 있다. PBS를 이용한 PECVD는 예를 들면 차단막(barrier film), 광학 코팅, 내마모성막, 전기적 기능성막, 광촉매 코팅, 항균막, 투명 전기 전도성 막, 광가변 코팅(color shifting coating), 및 발광막(emissive film)과 같은 수많은 박막 용례에 적용될 수 있다. PECVD 외에도, PBS의 다른 용도로는 전술한 바와 같이 반응성 이온 에칭, 플라즈마 세정, 반응성 성막 프로세스의 보조 및 플라즈마 처리가 있다.

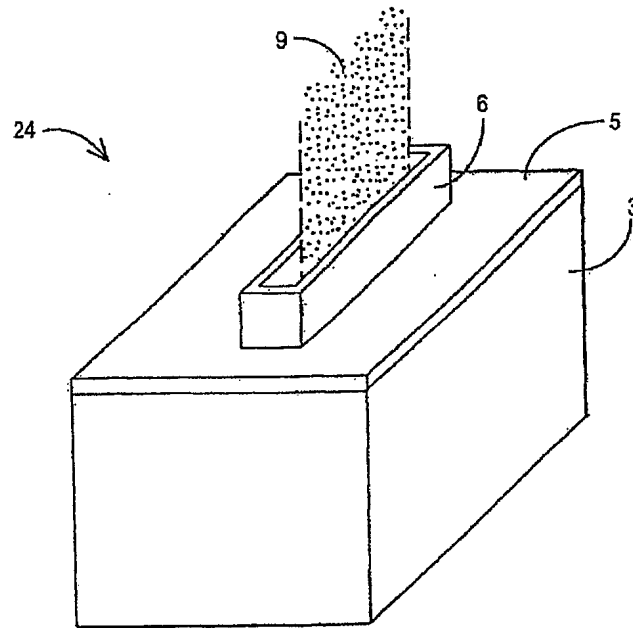
도면의 간단한 설명

- <26> 도 1의 (a)는 본 발명에 따른 플라즈마 비임 소스의 단면도이고,
- <27> 도 1의 (b)는 도 1(a)에 파선 원 1B로 나타낸 부분에서 취한 플라즈마 비임 소스 박스의 프로세스 가스 도관의 확대도이며,
- <28> 도 2는 커버를 제거한 상태에서의 도 1의 장치의 평면 단면도이고,
- <29> 도 3은 도 1의 장치의 등각 투상도이며,
- <30> 도 4는 비임이 기판 및 별도의 가스 입구를 향하고 있는 상태에서의 도 1의 플라즈마 비임 소스를 나타내는 도면이고,
- <31> 도 5는 전자 비임 증착 용례에서 반응성 성막을 보조하는 데에 이용되는 도 1의 플라즈마 비임 소스를 나타내는 도면이며,
- <32> 도 6은 위성/박스 코팅 용례(planetary/box coating application)에 적용되고 있는 도 1의 플라즈마 비임 소스의 측면도이고,
- <33> 도 7은 병진 운동하는 바이어싱된 기판 상으로 플라즈마를 보내고 있는 도 1의 플라즈마 비임 소스를 나타내는 도면이며,
- <34> 도 8은 자극이 반대로 된 자석을 갖는 2개의 도 1의 플라즈마 비임 소스가 서로 대면하고 있는 것을 나타내는 도면이고,
- <35> 도 9는 우주용 추진 장치 용례(space thruster application)를 위한 본 발명의 전자석식 예의 단면도이며,
- <36> 도 10은 이온 소스의 양태를 향상시키는 전력 구성을 갖는 바람직한 실시예를 나타내는 도면이고,
- <37> 도 11은 수직 배향 자석 및 평면 캐소드로 구현된 플라즈마 비임 소스의 단면도이며,
- <38> 도 12a는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 단일 AC 전원의 양단에 연결된 2개의 플라즈마 비임 소스를 나타내는 도면이고,
- <39> 도 12b는 하나의 플라즈마 비임 소스(Plasma Beam Source: PBS)의 노즐 영역의 상세도이며,
- <40> 도 13은 종래 기술의 비대칭 마그네트론 스퍼터 소스의 단면도이다.

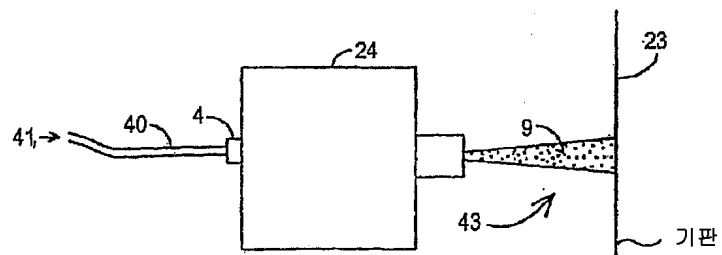
도면2



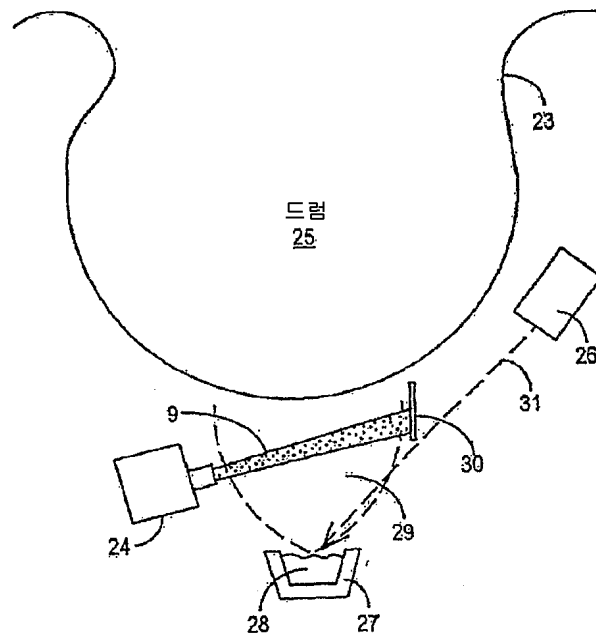
도면3



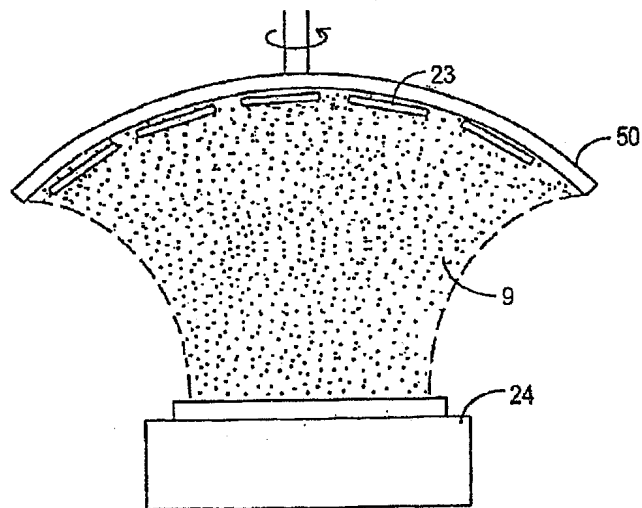
도면4



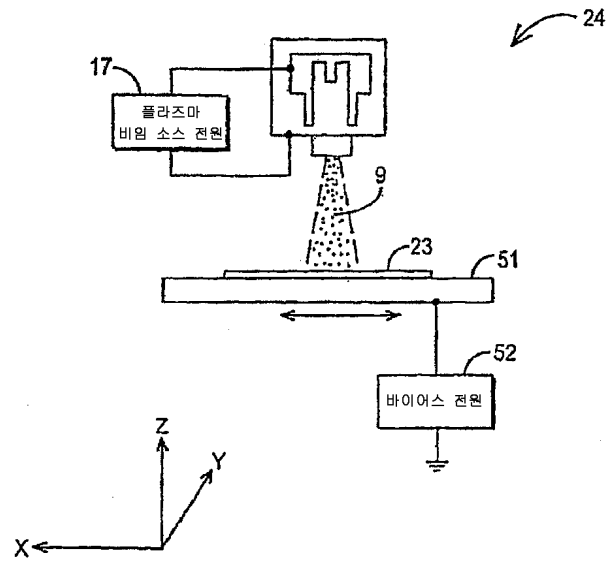
도면5



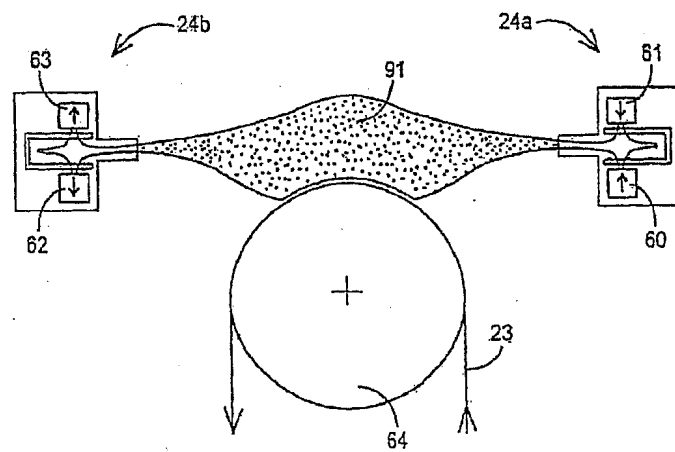
도면6



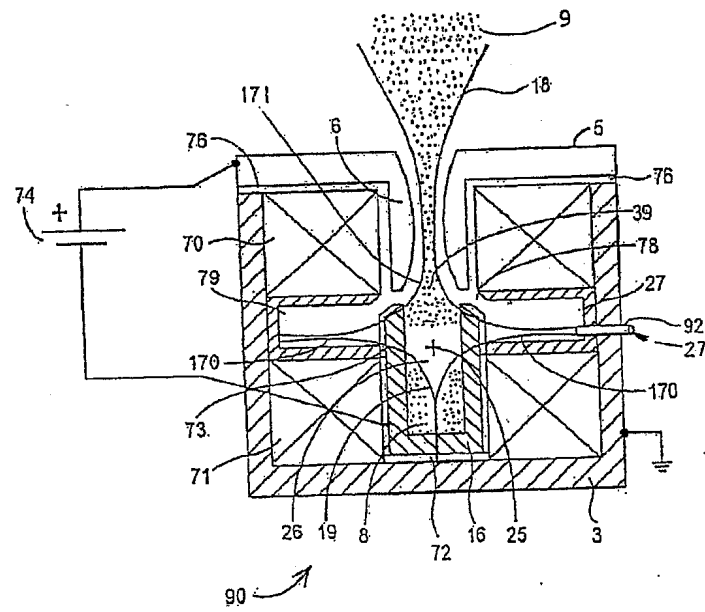
도면7



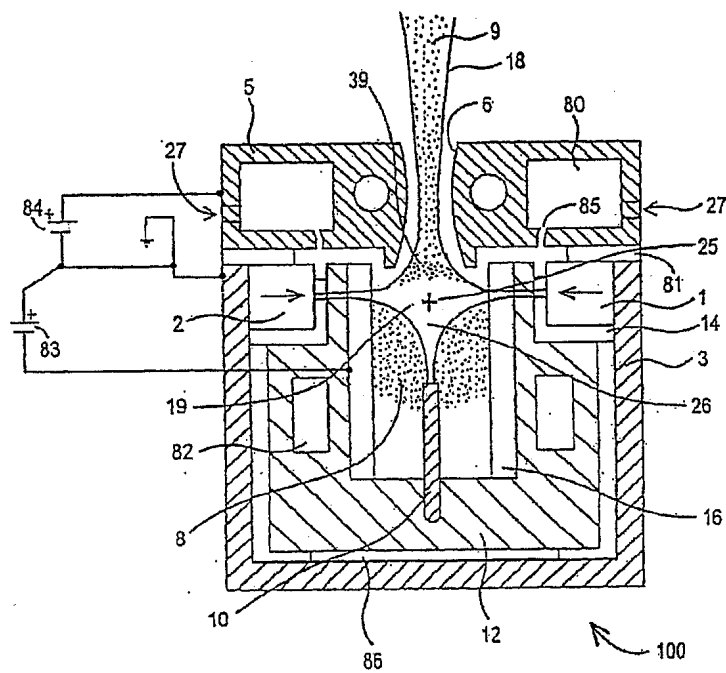
도면8



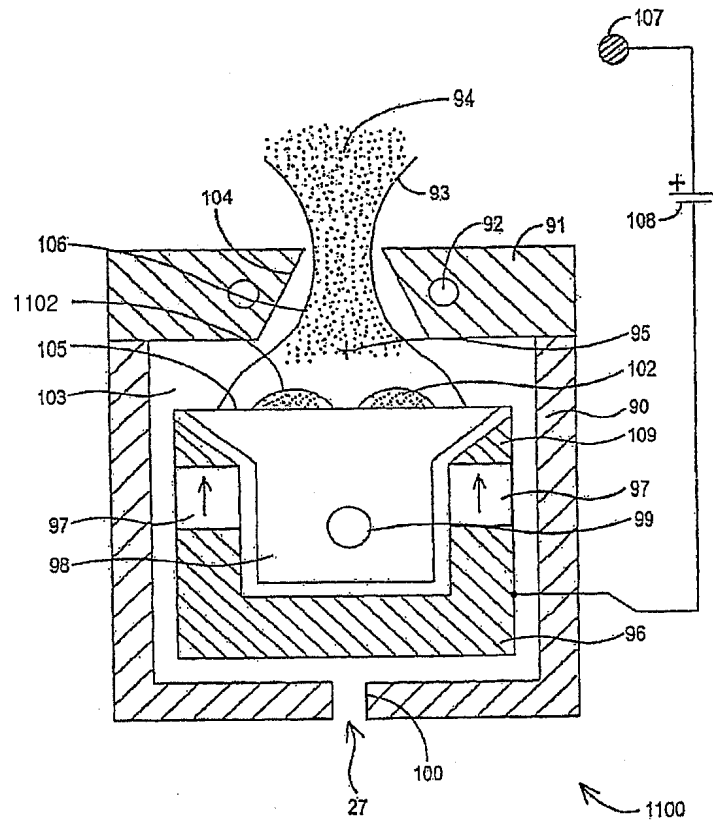
도면9



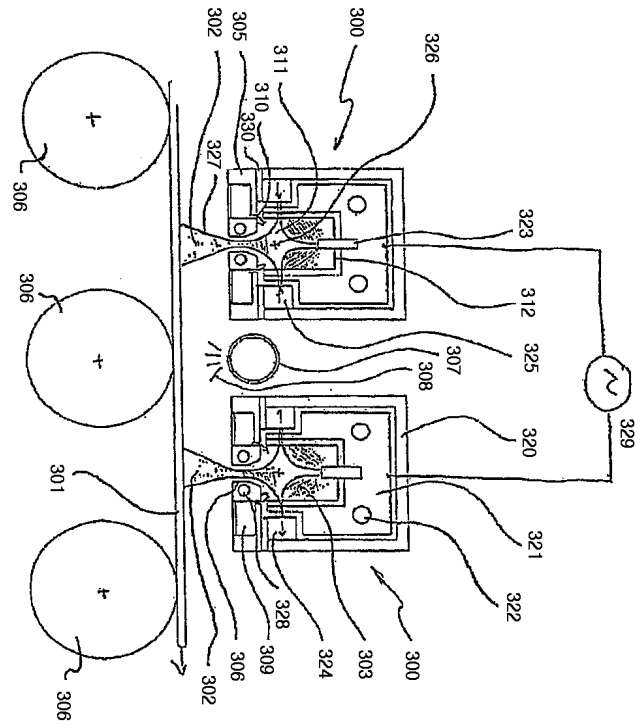
도면10



도면11



도면12a



도면12b

