



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0112266
(43) 공개일자 2008년12월24일

(51) Int. Cl.

H01J 49/40 (2006.01) G01N 33/00 (2006.01)

H01J 37/244 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-7024313

(22) 출원일자 2008년10월02일

심사청구일자 없음

번역문제출일자 2008년10월02일

(86) 국제출원번호 PCT/US2007/006244

국제출원일자 2007년03월09일

(87) 국제공개번호 WO 2007/106449

국제공개일자 2007년09월20일

(30) 우선권주장

11/371,907 2006년03월10일 미국(US)

11/678,524 2007년02월23일 미국(US)

(71) 출원인

베리안 세미콘덕터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.

미국 01930 매사추세츠주 글로스터 도리 로드 35

(72) 발명자

구, 본웅

미국 01810 매사추세츠주 앤도버 주니어 로드 41

고데트, 루도빅

미국 01915 매사추세츠주 베벌리 브로튼 드라이브 1308

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

박영우

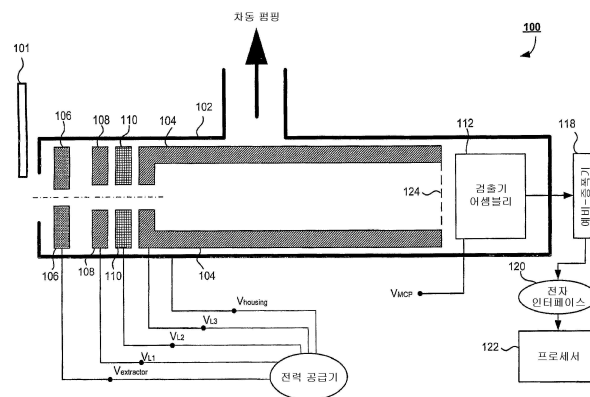
전체 청구항 수 : 총 34 항

(54) 플라즈마 공정을 모니터 및 제어하기 위한 기술

(57) 요약

플라즈마에서의 이온 종들을 모니터링하기 위한 비행시간 이온 센서는 하우징을 포함한다. 드리프트 튜브는 상기 하우징에 위치한다. 추출기 전극은 플라즈마로부터 이온들을 유인하기 위하여 상기 하우징 내에 상기 드리프트 튜브의 제1 단부에 위치한다. 다수개의 전극들은 상기 추출기 전극에 인접하게 상기 드리프트 튜브의 제1 단부에 위치한다. 상기 다수개의 전극들은 상기 유인된 이온들의 적어도 일부가 상기 드리프트 튜브로 들어가고 상기 드리프트 튜브의 제2 단부를 향하여 이동하도록 바이어스된다. 이온 검출기는 상기 드리프트 튜브의 상기 제2 단부에 인접하게 위치한다. 상기 이온 검출기는 상기 유인된 이온들의 적어도 일부와 관련된 도착 시간들을 측정한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

부르루미스, 바실리스 파나요티스

미국 01960 매사추세츠주 피바디 아파트먼트 2 레
어 센트럴 스트리트 90

싱, 비크람

미국 01845 매사추세츠주 노스 앤도버 앰버빌 로드
75

팡, 지웨이

미국 01915 매사추세츠주 베벌리 필그림 하이츠 6

린제이, 버나드 지.

미국 01923 매사추세츠주 덴버스 뉴베리 스트리트
180

특허청구의 범위

청구항 1

하우징;

상기 하우징에 위치하는 드리프트 튜브;

상기 하우징 내에 상기 드리프트 튜브의 제1 단부에 위치하며, 플라스마로부터의 이온들의 유인(attraction) 및 반발(repulsion) 중 적어도 하나를 수행하는 추출기 전극;

상기 추출기 전극에 인접하게 상기 드리프트 튜브의 제1 단부에 위치하며, 상기 유인된 이온들의 적어도 일부가 상기 드리프트 튜브로 들어가고 상기 드리프트 튜브의 제2 단부를 향하여 이동하도록 바이어스되는 다수개의 전극들; 및

상기 드리프트 튜브의 상기 제2 단부에 인접하게 위치하며, 상기 유인된 이온들의 적어도 일부와 관련된 도착 시간들을 측정하는 이온 검출기를 포함하는 플라스마의 이온 종들을 모니터링하기 위한 비행시간 이온 센서.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 추출기 전극은 적어도 하나의 플라스마로부터의 이온들의 유인 및 반발을 수행하는 포텐셜로 전기적으로 플로팅되거나 바이어스되는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 다수개의 전극들 중 적어도 하나는 상기 이온들을 포커싱하는 정전기 렌즈들을 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 다수개의 전극들 중 적어도 하나는 상기 이온들을 편향시키는 그리드를 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 추출기 전극과 전기적으로 연결되는 출력을 가지며, 상기 플라스마에서의 이온들의 유인 및 반발 중 적어도 하나를 수행하는 상기 추출기 전극 상에 DC 전압을 발생시키는 DC 전력 공급기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 상기 추출기 전극과 전기적으로 연결되는 출력을 가지며, 상기 플라스마에서의 이온들의 유인 및 반발 중 적어도 하나를 수행하는 상기 추출기 전극 상에 펄스화된 전압 신호를 발생시키는 펄스 전력 공급기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 펄스화된 전압 신호는 주기 신호를 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 다수개의 전극들 중 하나의 전극과 전기적으로 연결되는 출력을 가지며, 이온들의 유인 및 반발 중 하나를 수행하는 전압 펄스 신호를 발생시키는 펄스 전력 공급기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 전압 펄스 신호는 상기 다수개의 전극들 중 하나의 전극 상에서 제거(desorption) 및 증착(deposition) 중 하나를 유발시키는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 10

제 8 항에 있어서, 상기 전압 펄스 신호는 상기 플라즈마에 의해 처리되는 웨이퍼에 인가되는 전압과 동조되는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 11

제 8 항에 있어서, 상기 전압 펄스 신호는 상기 이온들의 시간-분해 측정을 달성하기 위하여 타이밍 기준 신호에 대하여 지연되는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 12

제 8 항에 있어서, 상기 전압 펄스 신호에서의 적어도 다수의 전압 펄스들은 특정한 이온 질량들을 선택하도록 선택된 폭을 갖는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 13

제 1 항에 있어서, 상기 다수개의 전극들 중 하나의 전극과 전기적으로 연결되는 출력을 가지며, RF 신호를 발생시키는 RF 전력 공급기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 14

제 13 항에 있어서, 상기 RF 신호는 상기 다수개의 전극들 중 하나의 전극 상에서 제거 및 증착 중 하나를 유발시키는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 15

제 13 항에 있어서, 상기 RF 전력 공급기는 펄스화된 RF 전력 공급기를 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 16

제 13 항에 있어서, 상기 RF 전력 공급기는 고주파 연속파형(CW RF) 전력 공급기를 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 17

제 1 항에 있어서, 상기 드리프트 튜브와 전기적으로 연결되는 출력을 갖는 전력 공급기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 18

제 1 항에 있어서, 상기 추출기 전극에 인접하게 위치하며, 상기 추출기 전극에 인접하게 이온들을 발생시키는 이온화 소스를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 19

제 1 항에 있어서, 에너지 분석기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 20

제 19 항에 있어서, 상기 드리프트 튜브가 상기 에너지 분석기로 구성되는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 21

제 1 항에 있어서, 상기 이온 센서는 상기 추출기 전극이 상기 플라즈마의 에지에 근접하게 위치하도록 플라즈마 챔버의 측벽을 관통하여 설치되는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 22

제 1 항에 있어서, 상기 이온 검출기로부터 데이터를 수신하고 적어도 하나의 제어 신호 및 결합 검출 신호를 발생시키는 프로세서를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 센서.

청구항 23

플라즈마로부터의 이온들의 유인(attraction) 및 반발(repulsion) 중 적어도 하나를 수행하는 바이어스 전압을 추출기 전극에 인가하는 단계;

상기 유인된 이온들의 적어도 일부를 드리프트 튜브를 통해 이동시키는 전압 신호를 상기 추출기 전극에 인접하게 위치하는 다수개의 전극들 중 적어도 하나의 전극에 인가하는 단계;

상기 드리프트 튜브의 일단에서 상기 유인된 이온들의 적어도 일부와 관련된 도착 시간들을 검출하는 단계; 및
상기 도착 시간들로부터 상기 플라즈마에 대한 정보를 결정하는 단계를 포함하는 플라즈마에서의 이온 종들을 모니터링하기 위한 방법.

청구항 24

제 23 항에 있어서, 상기 전압 신호는 펄스화된 전압 신호를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 25

제 23 항에 있어서, 상기 전압 신호는 RF 전압 신호를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 26

제 23 항에 있어서, 상기 추출기 전극에 인접하게 이온들을 발생시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 27

제 23 항에 있어서, 상기 드리프트 튜브에 바이어스 전압을 인가하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 28

제 27 항에 있어서, 상기 드리프트 튜브에 인가된 상기 바이어스 전압은 펄스로 된 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 29

제 23 항에 있어서, 이온들이 기 설정된 시간동안 상기 드리프트 튜브 내로 이동하는 것을 방지하기 위하여 상기 기 설정된 시간에서 적어도 하나의 전극들에 차단 전압을 인가하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 30

제 23 항에 있어서, 상기 드리프트 튜브를 통하여 이온들의 전달을 조정하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 31

제 30 항에 있어서, 상기 조정은 주기적인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 32

제 23 항에 있어서, 상기 다수개의 전극들 중 적어도 하나에 대한 상기 전압 신호는 상기 다수개의 전극들 중 적어도 하나로부터의 제거(desorption)를 유발하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 33

제 23 항에 있어서, 상기 다수개의 전극들 중 적어도 하나에 대한 상기 전압 신호는 상기 다수개의 전극들 중 적어도 하나 상에서의 증착(deposition)을 유발하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 34

플라즈마로부터의 이온들의 유인(attraction) 및 반발(repulsion) 중 적어도 하나를 수행하는 바이어스 전압을 추출기 전극에 인가하기 위한 수단;

상기 유인된 이온들 중 적어도 일부를 드리프트 튜브를 통해 이동시키는 전압 신호를 상기 추출기 전극에 인접하게 위치하는 다수개의 전극들 중 적어도 하나의 전극에 인가하기 위한 수단; 및

상기 드리프트 튜브의 일단에서 상기 유인된 이온들의 적어도 일부와 관련된 도착 시간들을 검출하기 위한 수단을 포함하는 비행시간 이온 센서.

명세서

기술 분야

- <1> 본 발명은 반도체 제조 장치에 관한 것이다. 보다 상세하게는, 본 발명은 플라즈마 공정을 모니터 및 제어하기 위한 기술에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 플라즈마 공정들은, 예를 들면, 다양한 불순물들을 웨이퍼들에 주입하고, 박막들을 증착 또는 식각하기 위한 반도체 제조에 널리 사용되고 있다. 예상 가능하고 반복 가능한 공정 결과들을 달성하기 위하여, 플라즈마 특성들을 면밀히 모니터링하고 제어하는 것이 중요하다. 예를 들면, 플라즈마 주입(plasma doping, PLAD) 공정들의 연구는 플라즈마의 이온 성분이 주입 종들, 주입 깊이 프로파일들, 공정-관련 오염 등을 결정하는 중요한 정보의 일부일 수 있다는 것을 보여 왔다. 상기 이온 성분은 가스 비율, 전체 가스 압력, 및 방전 전력과 같은 PLAD 공정 파라미터들과 함께 변화한다. 상기 이온 성분은 또한 플라즈마 챔버의 조건 상태에 상당히 의존하여 변화할 수 있다. 그러므로, 반복 가능하고 예측 가능한 공정 결과들을 달성하기 위하여, PLAD 공정 동안, 바람직하게는 인-시튜(in situ) 및 실시간(real-time)으로, 상기 이온 성분을 파악하는 것이 중요하다.
- <3> 존재하는 플라즈마 장치들은 플라즈마의 상세한 실시간 정보(예를 들면, 이온 성분)를 제공하는 능력이 종종 부족하다. 예를 들면, 전형적인 PLAD 공정에 있어서, 플라즈마는 패러데이 컵 전류(Faraday cup current)에 근거하여 주입 함량을 모니터링함으로써 제어된다. 패러데이 컵은 오로지 전체 전하 계수기이며, 다른 전하의 입자들을 구별하거나 플라즈마 특성들에 대하여 어떠한 정보를 제공하지 못한다. 인-시튜 질량 분석은 종래 일부의 빔-라인 이온 주입 시스템들에 채용되어 왔을지라도, 일반적으로는, 높은 작업 처리량을 달성하기 위하여 플라즈마-기반 이온 주입 시스템들에 있어서 회피되어 왔다.
- <4> 추가로, 상업적 질량/에너지 분석기들 및 4중극 질량 분광기들과 같은 종래의 이온 센서들은 종종 제조 기구들에서 사용하기가 너무 크다든지 너무 감입적인 문제가 있다. 큰 이온 센서들은 플라즈마 측정 하에서 섭동을 일으키고 이에 따라 공정 결과들을 왜곡시키는 경향이 있다. 더욱이, 종래의 이온 센서들의 크기 및 무게는 종종 반도체 공정 장치에서 채용할 선택들을 제한시킨다. 또한, 플라즈마가 온(on) 및 오프(off) 상태를 사이에서 교호하는 펄스 플라즈마 공정에 있어서, 상기 플라즈마의 시간-분해 측정들이 자주 필요로 하게 된다. 그러나, 존재하는 이온 센서들은 거의 시간-분해 측정들을 제공하지 않는다.

발명의 상세한 설명

- <5> 본 출원은 2006년 3월 10일자로 미국특허청에 출원된 미국 특허 출원 제11/371,907호(발명의 명칭: 플라즈마 공정을 모니터 및 제어하기 위한 기술(Technique for Monitoring and Controlling a Plasma Process))의 일부-계속출원을 우선권으로 한다. 미국 특허 출원 제11/371,907호는 전체적으로 본 출원에 병합된다.

실시 예

- <18> 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 상세히 설명한다. 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 해당 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양한 다른 형태로 구현할 수 있을 것이다.
- <19> 본 발명의 실시예들은 플라즈마 공정을 인-시튜로 모니터링하고 제어하기에 적합한 비행시간(time-of-flight,

TOF) 이온 센서들의 다수의 컴팩트한 설계들을 제공한다. 이러한 설계들은 유연한 이온 추출 및 이온 포커싱 기술들을 사용하여 플라즈마 챔버에서 이온 성분을 측정할 수 있다. 각각의 TOF 이온 센서는 플라즈마 챔버에서 다양한 방법들로 설치될 수 있고, 예를 들면, 인-시튜 공정 제어, 챔버 신속 검사, 결함 검출, 주입 함량 수정, 및 주입 균일성 측정과 같은 다수의 기능들을 위해 구성될 수 있다. 각각의 이온 센서의 민감도 및 크기는 시간-분해 측정 및 플라즈마의 공간 측정을 허용할 수 있다.

<20> 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 예시적인 이온 센서(100)가 도시되어 있다. 실시예들에 있어서, 이온 센서(100)는 이온 센서(100)의 입구에 근접하여 이온들을 발생시키는 이온화 소스(101)를 포함한다. 일 실시예에 있어서, 이온 소스(101)는 낮은 에너지 전자 소스를 사용하여 전자 구름을 발생시킨다. 상기 전자 구름에서의 전자들은 전자 부착에 의해 중성 원자들과 분자들의 이온화 및 이온들의 변환을 촉진시키는 전자 충돌을 발생시킨다. 다른 실시예들에 있어서, 이온 소스(101)는 이온-주입 및/또는 광자-충돌 이온화에 의해 이온 센서(100)의 입구 근처에서 이온들을 발생시킨다. 이온 소스(101)는 연속적이거나 펄스화된 이온 소스일 수 있다. 이온 소스(101)는 중성 가스 또는 빠른 중성 종들의 종래의 RGA형 측정들을 제공하기에 적합한 다양한 애플리케이션에 유용하다.

<21> 이온 센서(100)는 플라즈마 챔버의 뷰 포트에서의 설치를 위해 채택될 수 있고 차동 펌핑(differential pumping)을 수용할 수 있는 하우징(102)을 포함한다. 하우징(102)은 개별적으로 원하는 포텐셜 V_{housing} 으로 바이어스될 수 있다. 하우징(102)의 좌측면은 플라즈마로부터 추출된 이온들이 하우징(102)의 좌측면 상의 애퍼처("하우징 애퍼처")를 통해 들어오므로 "추출기 측면"이라 할 수 있다. 하우징(102)의 우측면은 이온 검출이 하우징(102)의 우측면 상에서 일어나므로 "검출기 측면"이라 할 수 있다.

<22> 이온 센서(100)는, 예를 들면, 원하는 포텐셜 V_{L3} 으로 개별적으로 바이어스될 수 있는 하우징(102)의 내부의 드리프트 튜브(104)를 포함한다. 드리프트 튜브(104)는 전형적으로 무시할만한 전자기장을 갖는 중공형 공간을 갖는다. 드리프트 튜브(104)의 추출기 측면은 이온들을 허용하기 위한 애퍼처("드리프트 튜브 애퍼처")를 가질 수 있다. 드리프트 튜브(104)의 검출기 측면은 외부의 전기장들을 차단하면서 이온들을 배출시키는 그리드(grid, 124)를 가질 수 있다. 플라즈마 챔버의 압력은 전형적으로 1 내지 3,000 mTorr인 반면, 드리프트 튜브 압력은 전형적으로 2×10^{-6} Torr 이하이다. 차동 펌핑은 상기 압력 차이를 유지하기 위해 사용될 수 있다.

<23> 다양한 실시예들은 상기 하우징 애퍼처 및 상기 드리프트 튜브 애퍼처 사이에서, 드리프트 튜브(104)의 추출기 측면에 인접한 렌즈들 또는 편향기들을 형성하는 하나 이상의 전극들 및/또는 그리드들을 포함한다. 실시예들에 있어서, 이온들을 추출하고 포커싱하기 위한 일련의 전극들이 존재한다. 예를 들면, 상기 하우징 애퍼처에 인접한 추출기 전극(106)이 있을 수 있다. 추출기 전극(106)은, 실제 애퍼처 크기가 상기 차동 펌핑 요구 조건들에 따라 적어도 일부분이 변화될 수 있으나, 10 내지 500 마이크로(실시예들에 있어서, 바람직하게는, 50 내지 200 마이크로)의 직경을 갖는 애퍼처를 가질 수 있다. 추출기 전극(106)은 플라즈마로부터 양 또는 음의 이온들을 끌어당기기 위해 적당한 포텐셜 $V_{\text{extractor}}$ 로 바이어스될 수 있다.

<24> 상기 유인된 전자들이 유한한 빔 각도(예를 들면, $\pm 1.5^\circ$ 와 동일하거나 작은 각도) 내에서 상기 추출기 측면을 향하여 이동하는 것을 확보하기 위하여, 두개 또는 그 이상의 전극들(예를 들면, 정전기 렌즈들(108, 110))이 하우징(102), 추출기(104), 및 드리프트 튜브(104)의 애퍼처들과 정렬된 애퍼처들을 가지고 직렬로 배열될 수 있다. 각각의 정전기 렌즈들은 개별적으로 포커싱된 빔의 상기 이온들을 도입하는 원하는 정전기장을 형성하도록 바이어스될 수 있다. 다양한 동작 모드들에 있어서, 상기 정전기 렌즈들은 양 또는 음의 전압으로 바이어스될 수 있다. 상기 정전기 렌즈들 중 하나는 전압 펄스와 함께 상기 유인된 전자들의 일부(또는 패킷)를 드리프트 튜브(104)로 허용하도록 구비된다. 상기 전압 펄스는 상기 이온들의 주기적 또는 거의-연속적인 샘플링을 위해 정기적으로 반복될 수 있다.

<25> 다양한 실시예들에 있어서, 리펠러(repeller) 전압 및 추출 전압 펄스의 조합이 어느 한 쌍의 전극들에 적용되어 양의 이온들이 드리프트 튜브(104)로 드라이브된다. 상기 이온들의 비행시간은 상기 추출 펄스가 발생하는 시간과 관련하여 결정된다. 예를 들면, 일 실시예에 있어서, 정전기 렌즈(108)는 양의 전압 펄스 V_{L1} 로 바이어스된다. 상기 양의 전압 펄스는 주기적 또는 비주기적일 수 있다. 정전기 렌즈(110)는 양의 리펠링 전압 V_{L2} 로 바이어스된다. 일 실시예에 있어서, 양의 이온들이 상기 리펠러 전극들을 지나 드리프트 튜브(104)로 드라이브되도록 하기 위하여 양의 리펠러 전압은 정전기 렌즈들(110)에 인가되고 양의 전압 펄스는 인접한 정전기 렌즈들(108)에 인가된다. 상기 양의 리펠러 전압은 주기적 또는 비주기적일 수 있다. 드리프트 튜브(104)가 V_{L3} 으로 바

이어스될 때 상기 일련의 배열에서 제3 정전기 렌즈들로 작용할 수 있다. 상기 드리프트 튜브 상의 바이어스 전압은 펄스화된 전압일 수 있다. 음의 이온들은 유사한 배열을 사용하여 상기 드리프트 튜브로 추출될 수 있다.

- <26> 실시예들에 있어서, 전압 펄스들은 하나 이상의 상기 전극들에 인가된다. 예를 들면, 전압 펄스들은 드리프트 튜브(104), 추출기(106), 정전기 렌즈들(108), 및 정전기 렌즈들(110) 중에서 적어도 두개에 인가될 수 있다. 상기 적어도 두개의 전압 펄스들은 상기 이온들이 상기 드리프트 튜브에 들어가도록 동시에 또는 소정의 시간만큼 지연되어 인가될 수 있다.
- <27> 실시예들에 있어서, 차단 전압은 이온들이 드리프트 튜브(104)로 이동하는 것을 효과적으로 방지하기 위하여 추출기(106), 정전기 렌즈들(108), 및 정전기 렌즈들(110) 중에서 적어도 하나에 인가된다. 일부의 동작 방법들에 있어서, 상기 차단 전압의 크기는 일부의 이온들이 상기 드리프트 튜브로 들어가도록 주기적으로 변화된다. 드리프트 튜브(104)를 통해 상기 전자들이 비행시간은 상기 전압이 변화되는 시간과 관련하여 결정된다.
- <28> 상기 이온들이 드리프트 튜브(104) 내로 허용되면, 상기 이온들은 어떤 전기장에 의해 실질적으로 영향 받지 않고 상기 추출기 단부를 향하여 흐른다. 상기 이온들은 전형적으로 동일한 운동 에너지를 갖는다. 무거운 이온들은 상대적으로 느리게 이동하고 가벼운 이온들은 상대적으로 빠르게 이동한다. 충분한 비행시간(즉, 드리프트 튜브(104)의 충분한 길이)이 주어지면, 상기 이온들은 이온 종들의 이온 질량에 기초하여 개별적인 패킷들로 분리된다.
- <29> 실시예들에 있어서, 상기 드리프트 튜브를 통한 이온들(양 또는 음의)의 전달은 4중극 구성요소들을 사용하여 조정된다. 일 실시예에 있어서, 상기 조정은 주기적이다. 다른 실시예에 있어서, 상기 조정은 비주기적이다. 조정은 상기 개별적인 4중극 구성요소들과 관련된 RF 또는 DC 전압들을 변화시킴으로써 수행될 수 있다. 이러한 실시예들에 있어서, 상기 이온들의 비행시간은 상기 조정이 일어나는 시간과 관련하여 결정된다.
- <30> 다른 다양한 실시예들에 있어서, 상기 드리프트 튜브를 통한 이온들(양 또는 음의)의 전달은 수많은 다른 수단들에 의해 조정될 수 있다. 예를 들면, 이온들의 전달은 상기 이온들의 정전기적 편향에 의해 조정될 수 있다. 이온들의 전달은 기계적 게이팅(gating), 다단계 초퍼(chopper), 또는 다른 형태의 기계적인 단속기와 같은 기계적인 수단들에 의해 조정될 수 있다. 예를 들면, 일 실시예에 있어서, 상기 기계적인 단속기는 기계적인 셔터이다. 기계적인 수단에 의한 조정은 때때로 낮은 에너지 애플리케이션들에 대해 장점을 가지고 있다. 이러한 실시예들에 있어서, 상기 이온들의 비행시간 또한 상기 조정이 일어나는 시간과 관련하여 결정된다.
- <31> 상기 추출기 측면 상에서, 검출기 어셈블리(112)는 상기 이온들을 검출하기 위해 사용될 수 있다. 검출기 어셈블리(112)는 상업적으로 유용하거나 주문형 이온 검출 장치(예를 들면, 마이크로-채널 플레이트(MCP) 어셈블리)의 형태일 수 있다. 상기 이온들의 검출 및/또는 수집은, 예를 들면, 하나 또는 그 이상의 V_{MCP} 와 같은 전압 바이어스들과 함께 제어될 수 있다. 검출기 어셈블리(112)는 전자적 인터페이스(120)를 통해 프로세서 유닛(122)에 순차적으로 연결된 예비-증폭기(pre-amplifier, 118)에 연결될 수 있다. 전자적 인터페이스(120)는, 예를 들면, 고속 데이터 포착 카드일 수 있다. 프로세서 유닛(122)은, 예를 들면, 개인용 컴퓨터(PC) 또는 산업용 계산 장치일 수 있다.
- <32> 구별되는 이온 질량수들을 갖는 상기 개별적인 이온 패킷들은 상기 추출기에 의해 순차적으로 검출된다. 상기 검출된 신호들은 예비-증폭기(118)에 의해 증폭된다. 이어서 증폭된 신호들은 프로세서 유닛(122)에 의해 처리된다. 각각의 개별적인 패킷에 대응하는 신호들은 질량 스펙트럼에서 질량 피크를 생성한다. 상기 질량 스펙트럼은 상기 플라스마로부터의 이온 종들의 하나 또는 그 이상의 샘플링들에 근거하여 상기 플라스마의 이온 성분을 반영한다.
- <33> 실시예들에 있어서, 추출기 어셈블리(112)는 소정의 위치들에서의 상기 이온들을 검출하기 위해 사용되는 위치-감지 입자 검출기를 포함한다. 이러한 위치-감지 입자 검출기들은 이온 질량 또는 이온 에너지를 결정하기 위해 사용될 수 있는 이온 위치 정보를 제공한다. 다양한 실시예들에 있어서, 이온들을 검출하기 위해 사용되는 상기 검출기 표면 부분은 전기적, 자기적, 또는 기계적인 수단들에 의해 선택된다. 예를 들면, 전기적으로 어드레스 가능한 검출기 어레이가 위치 기능으로서 이온들을 검출하는 데 이용될 수 있다. 소프트웨어 알고리즘은 상기 검출기 신호들로부터 위치-감지 데이터를 추출하는 데 이용될 수 있다. 또한, 기계적인 수단이 상기 검출기에 충격을 가하는 상기 이온들의 유효한 발산을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들면, 기계적인 배리어가 상기 검출기의 일부를 차폐하기 위해 사용될 수 있다. 추가적으로, 이온 편향기들 또는 이온 콜리메이터들은 상기 이온들을 편향 또는 시준하는 데 사용되어 상기 이온들이 상기 검출기의 원하는 부분에 충격을 가하도록 하게 한다.

- <34> 본 발명의 실시예들에 따르면, 이온 센서(100)는 하우징(102), 드리프트 튜브(104), 추출기 전극(106), 정전기 렌즈들(108, 110), 및 추출기 어셈블리(112)에 다른 조합의 전압 포텐셜들을 인가함으로써 유연하게 구성될 수 있다. 예시적인 구성들이 도 2 내지 도 4에 도시된다.
- <35> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 예시적인 구성을 갖는 이온 센서(200)를 나타낸다. 이온 센서(200)는 도 1에 도시된 이온 센서(100)와 실질적으로 동일한 구성요소들을 포함할 수 있다. 이러한 예시적인 구성에 있어서, 하우징(104)은 플라즈마 챔버 벽에 접지 및/또는 부착될 수 있다.
- <36> 실시예들에 있어서, 추출기 전극(106)은 양의 이온들의 추출을 위해 약 -50V 내지 0V 또는 음의 이온들의 추출을 위해 약 0V 내지 50V의 DC 추출기 전압 $V_{\text{extractor}}$ 으로 바이어스된다. 다른 실시예들에 있어서, 펄스화된 전압 또는 RF 신호가 추출기 전극(106)에 인가되어 이온들을 유인하거나 반발시킨다. 다양한 실시예들에 있어서, 상기 펄스화된 전압은 주기적이거나 비주기적이고 상기 RF 신호는 펄스화되거나 펄스화되지 않을 수 있다. 상기 펄스화된 RF 전압 신호들은 상기 전극 표면으로부터의 제거(desorption) 또는 상기 전극 표면상에서의 증착(deposition)이 가능하도록 사용될 수 있다.
- <37> 설명의 편의를 위하여, 후술하는 설명은 단지 양의 이온들이 샘플링되는 것을 가정하기로 한다. 그러나, 본 발명의 실시예들은 음의 이온들의 샘플링을 위해서도 용이하게 채택되거나 구성될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 더욱이, 단순화를 위하여, 정전기 렌즈들(108)은 렌즈 1, 정전기 렌즈들(110)은 렌즈 2, 및 드리프트 튜브(104)는 렌즈 3으로 나타내기로 한다. 렌즈 1 및 렌즈 3은, 예를 들면, -150V 및 -300V 사이의 고정된 값과 동일하거나 유사한 포텐셜로 유지될 수 있다. 상기 원하는 포텐셜은 드리프트 튜브(104) 및 원하는 이온 질량 분해능과 같은 요인들에 의해 결정된다.
- <38> 실시예들에 있어서, 렌즈 1 및 렌즈 3은 다른 포텐셜들(예를 들면, $V_{L1} = -400V \sim -200V$ 및 $V_{L3} = -200V$)로 바이어스될 수 있다. 렌즈 2는 -500V 내지 -900V의 V_{L2} 로 바이어스될 수 있다. 상기 게이트를 열기 위하여, 짧은 전압 펄스(예를 들면, 50 내지 500 nanosecond)가 렌즈 2에 제공되어 드리프트 튜브(104) 내부로의 이온들의 패킷을 허용할 수 있다. 상기 게이트를 닫기 위하여, 비교적 큰 양의 포텐셜이 렌즈 2 상에 부과되어 양의 이온들이 드리프트 튜브(104)로 들어가는 것을 차단할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 렌즈 2(즉, 게이트 전극)는 매우 짧은 게이팅 주기 동안만 제외하고는, 예를 들면, +30V 또는 그 이상의 양의 전압으로 정상적으로 바이어스될 수 있다. 예를 들면, 게이트 펄스 폭이 100ns이고, 웨이퍼의 펄스 주파수가 5,000kHz(주기 = 200 microsecond)이며 웨이퍼 펄스 당 샘플링이 한번 수행된다고 가정하면, 상기 주기의 99.95%(199.9 microsecond) 동안에 상기 게이트 전극은 닫혀지고 상기 주기의 0.05% 동안에만 상기 게이트 전극이 개방된다.
- <39> 상기 게이트 펄스가 상기 웨이퍼 펄스와 동조될 때, 지연이 도입되어 상기 게이트 펄스가 상기 웨이퍼 펄스에 대하여 개방되도록 제어한다. 이 경우에 있어서, 시간 공간에서 다른 위치들에 있는 플라즈마를 고해상도로 샘플링하는 것이 가능하다. 렌즈들 1 내지 3 상에 상기 바이어스들의 집합적인 효과는 상기 허용된 이온들을 제한된 분산 각도를 갖는 빔으로 포커싱하는 정전기장일 수 있다. 검출기 측면 상에서, 검출기 어셈블리(112)는 높은 전압 V_{MCP} 로 바이어스될 수 있다. 그리드(124)는 드리프트 튜브(104)를 상기 높은 전압 V_{MCP} 로부터 정전기적으로 차폐할 수 있다.
- <40> 이온 센서(200)는 또한 플라즈마의 시간-분해 측정들을 위해 구성될 수 있다. 많은 반도체 공정 플라즈마들은 주기적으로 온(on) 및 오프(off) (애프터글로우, afterglow) 상태들 사이를 교호하는 "펄스화된 플라즈마들"이다. 상기 플라즈마-온 상태가 각 사이클의 1 내지 50%(또는 그 이상) 동안 지속될 수 있다. 상기 펄스화된 동작은 플라즈마 조건들 및 공정 화학적 성질들에서의 동적 변화들을 유발시킬 수 있다. 상기 이온 종들의 샘플링은 상기 플라즈마 펄스들 또는 웨이퍼 바이어스 펄스, 또는 이들이 동조되어 있다면 이들 모두와 동조될 수 있다. 상기 기준 펄스(플라즈마 펄스들 및/또는 웨이퍼 바이어스)와 관련된 상기 게이트 지연을 변화시킴으로써, 시간-분해 측정이 상기 전체 주기에 걸쳐 수행될 수 있다.
- <41> 상기 이온들의 비행시간들은 시작 신호 및 정지 신호 사이의 시간 차이를 관찰함으로써 결정된다. 상기 이온 조정 동작(전기적 또는 기계적 동작)은 상기 시작 신호에 의해 개시된다. 상기 정지 신호는 상기 이온 검출기에서의 상기 이온들의 도착 시간에 의해 결정된다. 실시예들에 있어서, 시작 및 정지 신호들은 알려진 주파수의 펄스열(pulse train)을 게이트하는 데 사용되어 상기 비행시간에 비례하는 계산을 하게 한다. 일 실시예에 있어서, 상기 시작 및 정지 신호들은 커패시터를 가르는 전압을 발생하는 데 사용되며, 상기 전압은 이후에 일정한 비율로 방전된다. 상기 방전 주기는 펄스열을 게이트하는 데 사용되어 상기 비행시간에 비례하는 계산을 하게 한다. 다른 실시예에 있어서, 상기 시작 및 정지 신호들은 상기 비행시간에 비례하는 크기를 갖는 아날로

그 펄스를 발생시킬 수 있도록 사용된다.

- <42> 이온 센서(200)는 또한 상기 이온들의 에너지 분포 및/또는 상기 플라스마 포텐셜을 측정하도록 구성될 수 있다. 일 실시예에 있어서, 추출기 전극(106), 정전기 렌즈(108), 및 정전기 렌즈(110)와 같은 전극 또는 그리드는 바이어스되어 지면 구성요소가 된다. 상기 전극 전압의 역할로서 전달된 이온들의 개수는 이어서 측정된다. 상기 에너지 분포 및 상기 플라스마 포텐셜 모두는 상기 측정된 데이터로부터 결정될 수 있다.
- <43> 다른 실시예에 있어서, 상기 이온들의 에너지 분포는 검출기 어셈블리(122)에서의 상기 이온들의 도착 시간들의 전개(spread)를 관찰함으로써 결정된다. 예를 들면, 위치-감지 입자 검출기들은 도 1과 관련하여 설명된 바와 같이 소정의 위치들 상에서의 상기 이온들을 검출하는 데 사용될 수 있다. 또한, 상기 에너지 분포는 선행기술로 잘 알려진 방법들에 의해 직접적으로 측정될 수 있다. 예를 들면, 조정된 입자 검출기들은 상기 검출기들에 의해 생성된 신호들의 크기를 관찰함으로써 에너지 또는 질량을 측정하는 데 사용될 수 있다.
- <44> 또 다른 실시예에 있어서, 드리프트 튜브(104)는 에너지 분석기의 기능을 수행하도록 구성될 수 있다. 드리프트 튜브(104)를 에너지 분석기로 구성하는 수많은 방법들이 있다. 예를 들면, 일 실시예에 있어서, 드리프트 튜브(104)는 굴곡진 형상으로 형성되고 정전기적 또는 자기적 편향 구성요소들을 포함한다. 드리프트 튜브(104)의 형상은 다른 에너지들을 갖는 이온들이 다른 각도들로 구부러지도록 선택된다. 다른 실시예에 있어서, 드리프트 튜브(104)는 검출기 어셈블리(112)로의 상기 드리프트 경로의 일부로서 평행-플레이트 에너지 분석기를 포함한다. 예를 들면, 상기 에너지 분석기는 45도 각도 형태의 에너지 분석기일 수 있다. 다른 실시예에 있어서, 드리프트 튜브(104)는 검출기 분석기로의 상기 드리프트 경로의 일부로서 원통형 거울 또는 구형 에너지 분석기를 포함한다. 다른 실시예에 있어서, 하나 또는 그 이상의 그리드들인 상기 이온 경로에 배치되어 지면 포텐셜 분석기로서 드리프트 튜브(104)를 구성한다. 또한, 다른 실시예에 있어서, 상기 드리프트 튜브는 상기 RF 또는 DC 전압들을 조정함으로써 다른 에너지들을 갖는 이온들 사이에서 구별시키는 능력을 갖는 RF 4중극, 또는 하나 또는 그 이상의 영구 또는 전자석들을 포함한다. 상기 영구 자석들의 위치들은 조정될 수 있다.
- <45> 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 분석기(114)를 갖는 이온 센서(200A)를 나타낸다. 에너지 분석기(114)는 드리프트 튜브(104) 및 검출기 어셈블리(112) 사이에 위치한다. 에너지 분석기(114)는 원하는 에너지 범위 내의 이온들을 선택하도록 사용된다.
- <46> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다른 예시적 구성을 갖는 이온 센서(300)를 나타낸다. 이온 센서(300)는 도 1의 이온 센서(100)의 구성요소들과 실질적으로 동일한 구성요소들을 포함한다. 그러나, 본 예시적 구성에 있어서, 추출기 전극(106)은 RF(1 내지 300MHz, 전형적으로 13.56MHz) 바이어스를 수신한다. RF 바이어스 추출기 전극(106)은 이중의 기능을 수행할 수 있다. 즉, 추출기 전극(106)은 이온들을 추출하고 또한 증착-지배 환경에서의 상기 추출기 애퍼처로부터 증착물(deposits)을 제거할 수 있다.
- <47> 많은 반도체 제조 공정들은 박막 물질들이 플라스마 챔버에서 증착되는 증착-지배 환경에서 수행된다. 두꺼운 절연막이 상기 추출기 애퍼처를 차단하게 되면, 추출기 전극(106) 상의 DC 바이어스는 더 이상 유효하지 않게 된다. RF 바이어스는 스퍼터가 상기 추출기 애퍼처를 청소하여 상기 증착된 물질들을 제거하도록 도움을 줄 수 있다. 이에 따라, RF 바이어스는 "자정작용(self-cleaning)" 능력을 갖는 이온 센서(300)를 제공할 수 있다. 이온 추출을 위하여, 상기 RF 바이어스는 -50V와 0V 사이의 음의 평균 포텐셜(또는 RF 자기-바이어스(self-bias)), 및 0V 내지 100V의 피크 대 피크(peak-to-peak) 값을 가질 수 있다. 스퍼터 세정 목적들을 위하여, 상기 RF 자기-바이어스는 스퍼터링 임계값보다 더 클 수 있고 상기 피크 대 피크 값이 100 내지 1000V 또는 그 이상일 수 있다.
- <48> 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 또 다른 구성을 갖는 이온 센서(400)를 나타낸다. 이온 센서(400)는 도 1의 이온 센서(100)와 실질적으로 동일한 구성요소들을 포함할 수 있다. 그러나, 본 예시적 구성에 있어서 추출기 전극(106)은 게이트로서 기능한다. 게이트 펄스가 추출기 전극(106)에 제공되어 이온들의 패킷을 이온 센서(400)로 끌어당긴다. 렌즈 2는 DC 바이어스가 제공되어 상기 이온빔을 포커싱한다.
- <49> 본 발명의 실시예들에 따른 이온 센서들은 플라스마 챔버에서 이온 종들의 유연한 검출을 위한 수많은 방법들로 설치될 수 있다. 예시적인 설치 선택들이 도 5 내지 도 7에 도시된다.
- <50> 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 센서(508)를 위한 하나의 설치 선택을 나타낸다. 다소 단순화된 플라스마 챔버(500)는 웨이퍼(504)를 보유하는 플레이트/캐소드(502)가 구비되도록 도시되어 있다. 애노드(506)는 플레이트/캐소드(502) 상부에 위치한다. 애노드(506)는 접지될 필요는 없으며, 예를 들면, -1kV 내지 +1kV 사이의 전압(다른 전압들도 가능함)으로 바이어스될 수 있다. 애노드 샤프트(507)는 수직 방향으로 애노드(506)의

이동을 가능하게 할 수 있다. 플라스마(50)는 애노드(506) 및 플레이트/캐소드(502) 사이에서, 캐소드 바이어스 전압들 또는 추가적인 플라스마 소스들에 의해서 발생될 수 있다.

<51> 이온 주입 애플리케이션들을 위하여, 음의 전압 펄스들이 플레이트(502)에 인가되어 양의 이온들을 웨이퍼(504)를 향하여 끌어당길 수 있다. 음의 이온들에 대해서는, 양의 전압 펄스들이 사용될 수 있다. 이온 센서(508)는 플라스마 챔버(500)의 측벽에 설치될 수 있다. 상기 설치되는 뷰 포트나 유사한 메커니즘을 통해 이루어질 수 있다. 이온 센서(508)는 플라스마(50)의 가장자리 근처 또는 가장자리로의 측방으로 연장된 추출기 팁을 가질 수 있다. 상기 추출기 팁은 이동 가능하도록 설치될 수 있다. 상기 추출기 팁의 작은 크기 때문에, 상기 추출기 팁은 플라스마(50)를 비교적 방해하지 않으면서 플라스마(50) 내로 깊게 삽입될 수 있다.

<52> 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 센서를 위한 또 다른 설치 선택을 나타낸다. 본 설치 선택에 있어서, 상기 측벽에 설치되는 이온 센서(508) 대신에 또는 이에 추가하여, 이온 센서(602)가 애노드 측에 설치될 수 있다. 즉, 이온 센서(602)는 애노드(506)를 관통하여 설치되고 플라스마(50)를 향해 아래로 돌출된 추출기 팁을 갖고 수직적으로 배치될 수 있다. 이온 센서(602)는 애노드(506)와 전기적으로 연결될 수 있다. 이온 센서(602) 또는 이의 추출기 팁은 애노드(506)에 대하여 독립적으로 상방 및 하방으로 이동하여 플라스마 챔버(500)의 다른 공간 지점들에서의 이온들을 샘플링할 수 있다. 이와 다르게, 이온 센서(602) 또는 이의 추출기 팁은 다른 공정 조건들의 인-시튜 분석을 위해 애노드(506)와 함께 상방 및 하방으로 이동할 수 있다. 수평적으로 위치하는 이온 센서(508)는 플라스마(50)의 공간 측정을 위해 유사하게 구동될 수 있다.

<53> 도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 실시예들에 따른 플라스마 공정 챔버들의 다른 예들을 나타낸다.

<54> 도 6a에 있어서, 플라스마 챔버(600A)가 도시되어 있다. 이온 센서(602)는 애노드(506)를 관통하여 설치될 수 있다. 벨로우 밀봉(bellows seal, 604)은 상기 챔버 벽을 통해 이온 센서(602)의 설치 및 이동을 수용할 수 있다. 플라스마(50)는 웨이퍼(504) 또는 플레이트(502) 상에 인가된 음의 펄스화된 전압들에 의해 발생될 수 있다. 일 실시예에 따르면, 플라스마(50)로부터 이온 센서(502)로의 이온들의 추출은 상기 플라스마 발생과 동조될 수 있으며, 이에 따라 상기 전압은 웨이퍼(504) 상에서 펄스로 될 수 있다.

<55> 도 6b에 있어서, 플라스마 챔버(600B)가 도시되어 있다. 도 6b에 도시된 플라스마 발생 기술은 도 6a에 도시된 플라스마 발생 기술과 구별된다. 플라스마 챔버(600B)는, 예를 들면, ICP 또는 헬리콘(Helicon) 플라스마 소스들과 같은 하나 또는 그 이상의 외부 플라스마 소스들을 가질 수 있다. 예를 들면, 일 실시예에 있어서, RF 파워 공급기(605) 및 RF 정합 유닛(607)은 RF 코일들(606)에 연결된다. 유전체 인터페이스들(609)을 통하여, RF 코일들(606)은 RF 전력을 플라스마 챔버(600B)로 공급할 수 있다. 플레이트(502)은 웨이퍼(502)에 충격을 가하는 이온들의 에너지를 제어하도록 바이어스될 수 있다.

<56> 도 6c에 있어서, 다른 플라스마 발생 기술이 채용된 플라스마 챔버(600C)가 도시되어 있다. 하나 또는 그 이상의 마이크로웨이브 소스들은 플라스마 챔버(600C)에 연결되어 상기 전력을 공급하여 플라스마(50)를 발생 및 유지시킬 수 있다. 예를 들면, 마이크로웨이브 공급기(611)는 튜너(613) 및 웨이브가이드 또는 케이블을 통해 마이크로웨이브 공동(cavity, 608)에 연결될 수 있다. 마이크로웨이브 공동(608)에 공급된 마이크로웨이브 전력은 내부에서 "소스 플라스마(source plasma)"를 형성할 수 있으며, 여기서 상기 소스 플라스마는 상기 플라스마 챔버(600C)로 확산되어 플라스마(50)를 형성할 수 있다. 이와 다르게, 플라스마(50)는 공동(608)을 통해서 플라스마 챔버(600C) 내로 마이크로웨이브 전력을 연결함으로써 플라스마 챔버(600C) 내부에서 직접적으로 형성될 수 있다.

<57> 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 센서를 위한 또 다른 설치 선택을 나타낸다. 본 설치 선택에 있어서, 하나 또는 그 이상의 이온 센서들(702)은 캐소드 측에 설치될 수 있다. 즉, 이온 센서(702)는 웨이퍼(504)에 인접하게 위치하는 추출기 팁을 갖고 플레이트/캐소드(502)를 관통하여 수직적으로 배치될 수 있다. 이온 센서(702)를 위한 설치 위치는 패터데이 컵이 전형적으로 위치하는 장소(또는 인접하게)일 수 있다. 상기 추출기 컵은 플라스마(50)에서 위로 돌출되므로, 이온 센서(702) 및 웨이퍼(504)는 플라스마(50)에 대한 동일하거나 유사한 유리한 지점을 공유할 수 있다. 그 결과, 이온 센서(702)는 웨이퍼(504)가 바라보는 것과 동일한 이온들의 성분 및 함량을 바라볼 수 있으며, 웨이퍼(504)의 플라스마 공정의 매우 정확한 제어를 용이하게 할 수 있다. 플라스마 주입(PLAD) 시스템에 있어서, 예를 들면, 이온 센서(702)는 이온들이 웨이퍼(504)로 주입되는 것을 직접적으로 검출할 수 있다. 원한다면, 이온 센서(702)는 공간 측정을 위해 상방 및 하방으로 이동할 수 있다.

<58> 도 7a 내지 도 7b는 본 발명의 실시예들에 따른 공정 제어를 위하여 이온 센서들을 채용하기 위한 예시적인 시스템들을 나타낸다.

- <59> 도 7a는 웨이퍼(504)에 인접하게 설치되는 이온 센서(702)를 나타낸다. 패러데이 컵(704)은 웨이퍼(504)의 타측에 설치되거나 패러데이 컵(704)은 웨이퍼(504)를 부분적으로 둘러쌀 수 있다. 이온 센서(702) 및 패러데이 컵(704) 모두는 웨이퍼(504)와 같이 플라즈마(도시되지 않음)를 향하고 있다. 이온 센서(702)는 이온 센서(702)로부터 수신된 측정 데이터에 기초하여 인-시튜 이온 성분을 계산하는 유닛(706)에 연결될 수 있다. 패러데이 컵(704)은 상기 패러데이 컵 전류에 기초하여 전체 이온 함량을 계산하는 전하 계수기(708)에 연결될 수 있다. 상기 이온 성분 정보 및 상기 이온 함량 데이터는 함량 보정 모듈(710)로 입력될 수 있다. 추가적으로, 상기 이온 성분 데이터는 이후의 공정 제어를 위하여 시스템 제어기(712)로 입력될 수 있다.
- <60> 도 7b는 웨이퍼(504) 둘레에 설치되는 두 개 또는 그 이상의 이온 센서들(702)을 나타낸다. 이러한 이온 센서들(702)로부터의 상기 인-시튜 이온 성분 데이터는 시스템 제어기(712)로 입력될 수 있다. 시스템 제어기(712)의 출력 기능들(714)은 이온 함량 보정, 함량 균일성 제어, 플라즈마 챔버 조건, 및/또는 공정 결함 검출을 포함할 수 있으며, 이에 제한되지는 않는다. 상기 센서가 웨이퍼(504) 둘레의 플레이트에 설치되는 실시예들에 있어서, 드리프트 튜브(104, 도 1 참조)는 상기 플레이트로부터 절연되거나 상기 플레이트 포텐셜에 있을 수 있다.
- <61> 플라즈마(50)의 캐소드-측(또는 웨이퍼-측) 측정을 위하여, 이온 센서(702)는 도 2 내지 도 4에 도시된 이온 센서들과 구별되도록 구성될 수 있다. 하나의 예가 도 8에 도시된다.
- <62> 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 예시적인 이온 센서(800)를 나타낸다. 이온 센서(800)는, 추출기 전극(106)이 제거된 점을 제외하고는, 도 2에 도시된 이온 센서(200)와 실질적으로 동일한 구성요소들을 포함할 수 있다. 상기 추출기 측면에서의 상기 하우징 애퍼처는 약 10 내지 500 마이크로(바람직하게는, 50 내지 200 마이크로)로 축소될 수 있다. 하우징(102)은 웨이퍼(504)와 동일하거나 유사한 포텐셜(예를 들면, 0V 내지 -10V)로 바이어스될 수 있다. 렌즈 1, 렌즈 2(드리프트 튜브(104)), 및 검출기 어셈블리(112) 역시 같거나 유사한 포텐셜로 바이어스될 수 있다. 렌즈 2는 게이트로서 기능하여 이온 패킷들을 드리프트 튜브(104)로 펄스화 한다.
- <63> 이 경우에 있어서 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 이온 센서들은 전형적으로 어느 정도까지는 입력 데이터의 처리 및 출력 데이터의 생성을 포함함을 이해할 수 있을 것이다. 다양한 실시예들에 있어서, 이러한 입력 데이터 처리 및 출력 데이터 생성은 하드웨어 또는 소프트웨어에서 수행될 수 있다. 예를 들면, 특정한 전자적 구성요소들은 상술한 본 발명에 다른 이온 종들의 인-시튜 모니터링과 관련된 기능들을 수행하기 위한 플라즈마 처리 장치 또는 유사하거나 이와 관련된 회로에서 채용될 수 있다. 이와 다르게, 저장된 명령들에 따라 동작하는 하나 또는 그 이상의 프로세서들은 상술한 본 발명에 따른 이온 종들의 인-시튜 모니터링과 관련된 기능들을 수행할 수 있다. 이러한 경우에 있어서, 상기 명령들은 하나 또는 그 이상의 프로세서 판독 가능한 캐리어들(예를 들면, 자기 디스크) 상에 저장되거나, 하나 또는 그 이상의 신호들을 통해 하나 또는 그 이상의 프로세서들로 전송되는 것은 본 발명의 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에 있음을 이해할 수 있을 것이다.
- <64> 일 실시예에 있어서, 함량 또는 플라즈마 조건들은 본 발명에 따른 TOF 센서로부터 획득된 데이터에 응답하는 제어기 또는 컴퓨터 및 전자적 수단을 포함하는 자동화 또는 반-자동화 페루프 제어의 일부로서 변화될 수 있다. 검출기 어셈블리(112)로부터 획득된 데이터는 측정된 TOF 스펙트럼들의 다양한 부분들의 절대적 또는 상대적 크기들을 포함할 수 있다. 검출기 어셈블리(112)로부터의 데이터는 FWHM에서의 변화들과 같은, 비행시간 피크들의 형태를 포함할 수 있다. 검출기 어셈블리(112)로부터의 데이터는 소수의(오염) 피크들의 존재 또는 부존재, 상기 에너지 분포, 및 상기 질량 분포를 포함할 수 있다.
- <65> 상기 TOF 센서로부터의 데이터는 가스 불순물들, 잔류 오염물질들, 및 상기 플라즈마를 제어하는 데 사용되는 장비의 오작동들과 같은 결함 조건들을 검출하는 데 사용될 수 있다. 상기 플라즈마 조건들은 가스 유량, 가스 혼합, 압력, RF 전력, RF 주파수, 주입 전압, 가동 사이클(duty cycle)과 같은 상기 TOF 센서의 작동 파라미터 또는 다른 관련 파라미터를 조정함으로써 상기 데이터에 응답하여 변화될 수 있다.
- <66> 상기에서는 본 발명의 실시예들을 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허 청구 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 더욱이, 본 발명은 여기서 특정한 목적을 위하여 특정한 환경에서 특정한 수단으로 설명되었지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이의 유용성은 여기에 제한되지 않으며 다른 목적들을 위한 다른 환경들에서 유익하게 수행될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

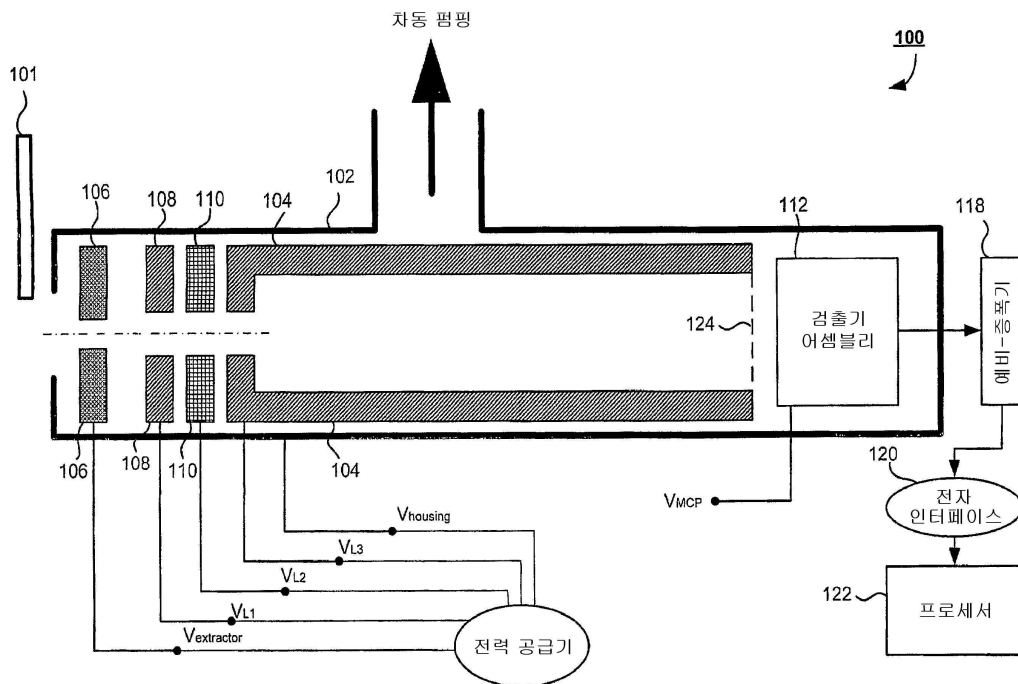
- <6> 본 발명의 특징들 및 기타 이점들은 상세한 설명 및 첨부된 도면들을 참조하여 다양한 실시예들을 상세하게 기술함으로써 더욱 명확하게 이해될 것이다. 각 도면들을 설명하면서, 유사한 구성요소에 대하여 유사한 참조부호

들로 나타낸다. 첨부된 도면들은 본 발명을 제한하는 것이 아니라 단순히 예시적인 것으로 이해되어야 한다.

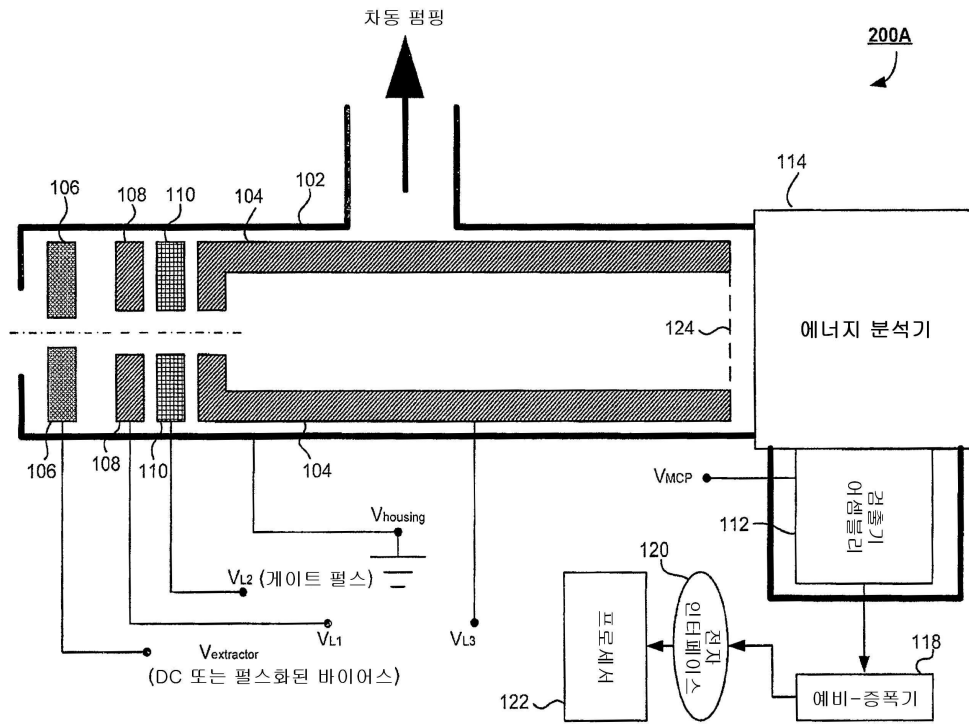
- <7> 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 예시적인 이온 센서를 나타낸다.
- <8> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 예시적 구성을 갖는 이온 센서를 나타낸다.
- <9> 도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 에너지 분석기를 갖는 이온 센서를 나타낸다.
- <10> 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다른 예시적 구성을 갖는 이온 센서를 나타낸다.
- <11> 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 또 다른 예시적 구성을 갖는 이온 센서를 나타낸다.
- <12> 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 센서를 위한 설치 선택을 나타낸다.
- <13> 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 센서를 위한 다른 설치 선택을 나타낸다.
- <14> 도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 실시예들에 따른 플라즈마 공정 챔버들을 나타낸다.
- <15> 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 센서를 위한 또 다른 설치 선택을 나타낸다.
- <16> 도 7a 및 도 7b는 본 발명의 실시예들에 따른 공정 제어를 위하여 이온 센서들을 채용하기 위한 시스템들을 나타낸다.
- <17> 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 센서를 나타낸다.

도면

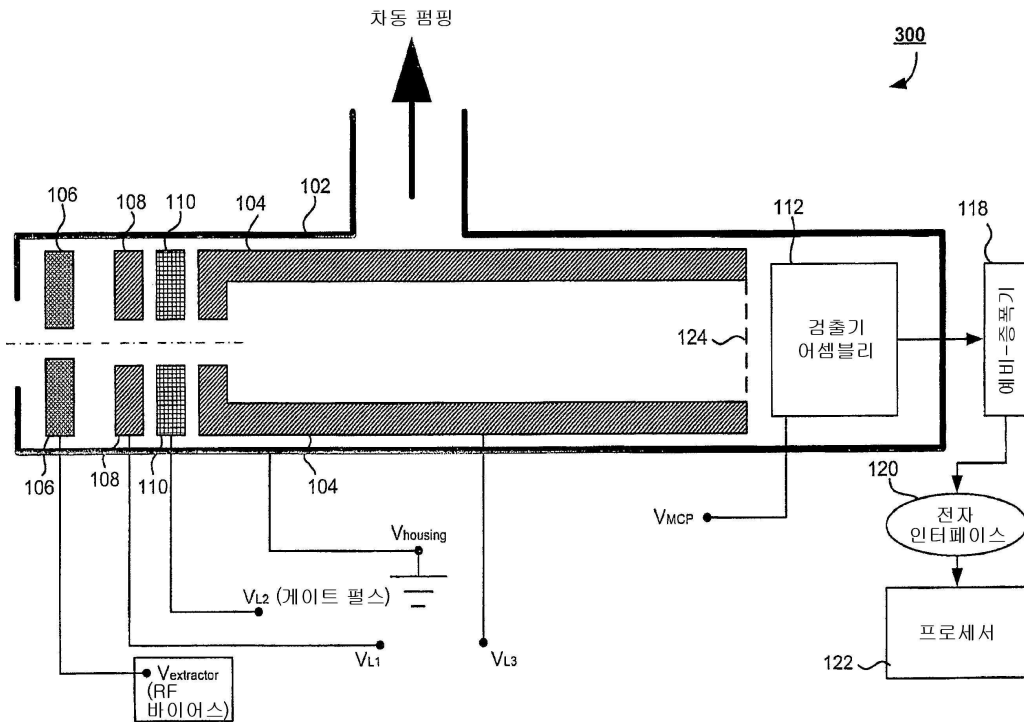
도면1



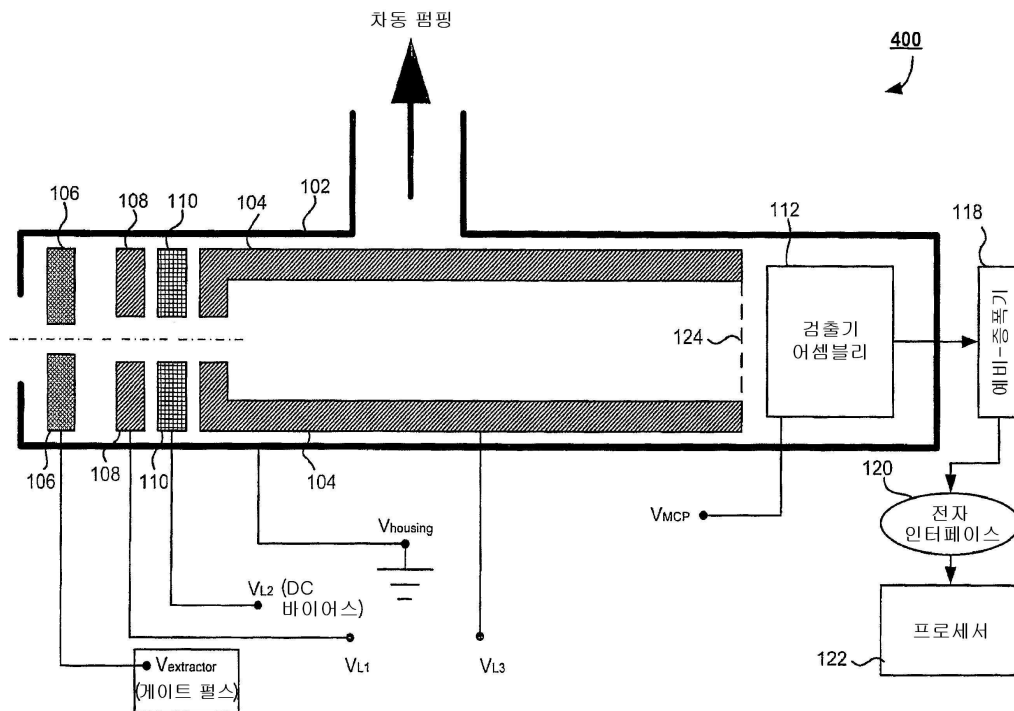
도면2a



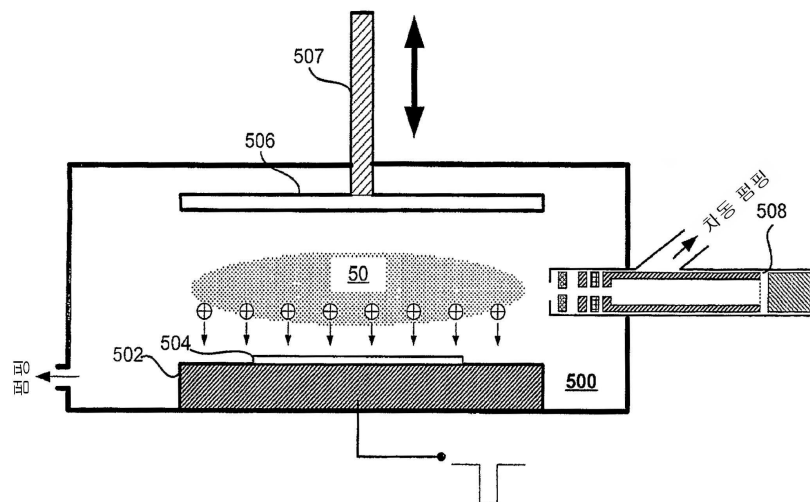
도면3



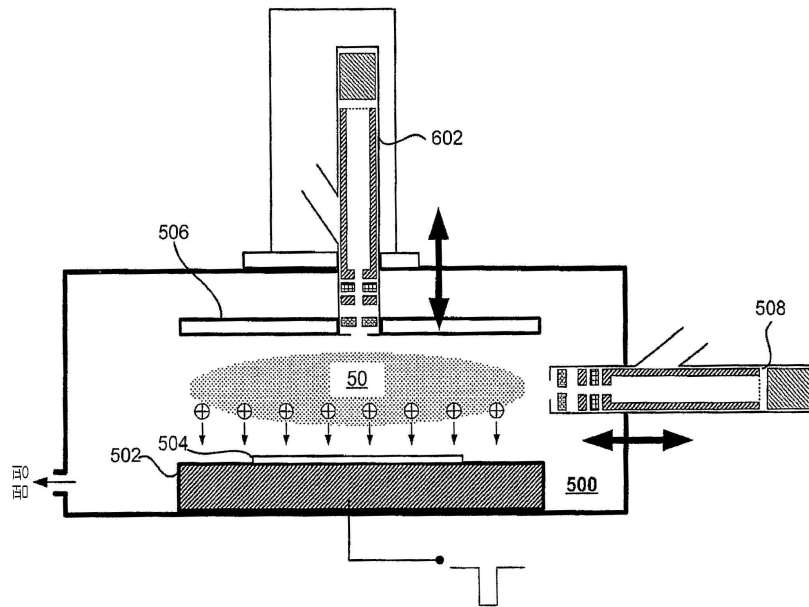
도면4



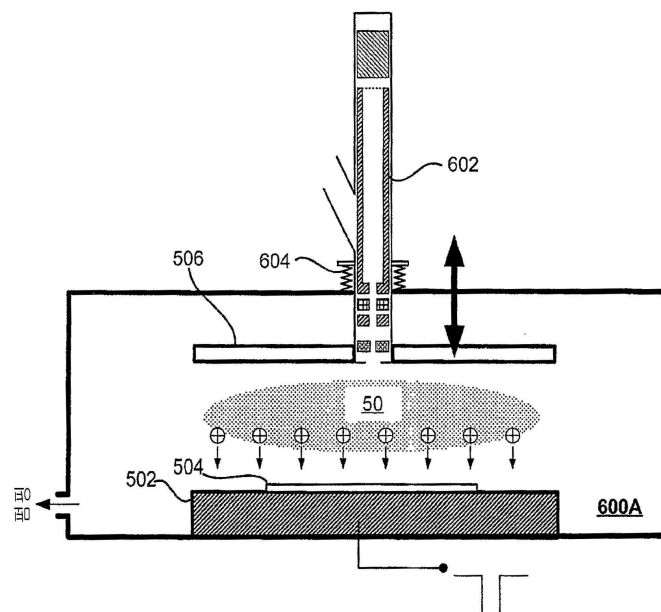
도면5



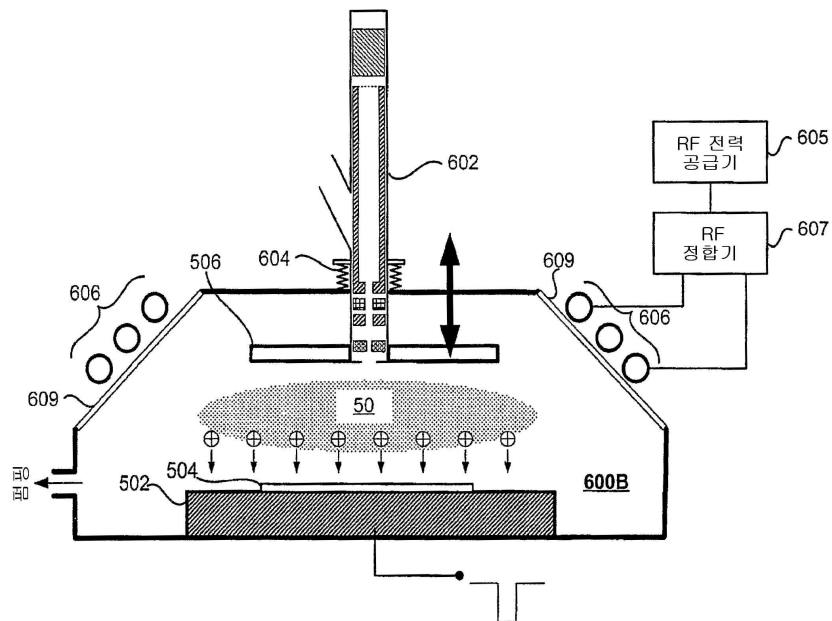
도면6



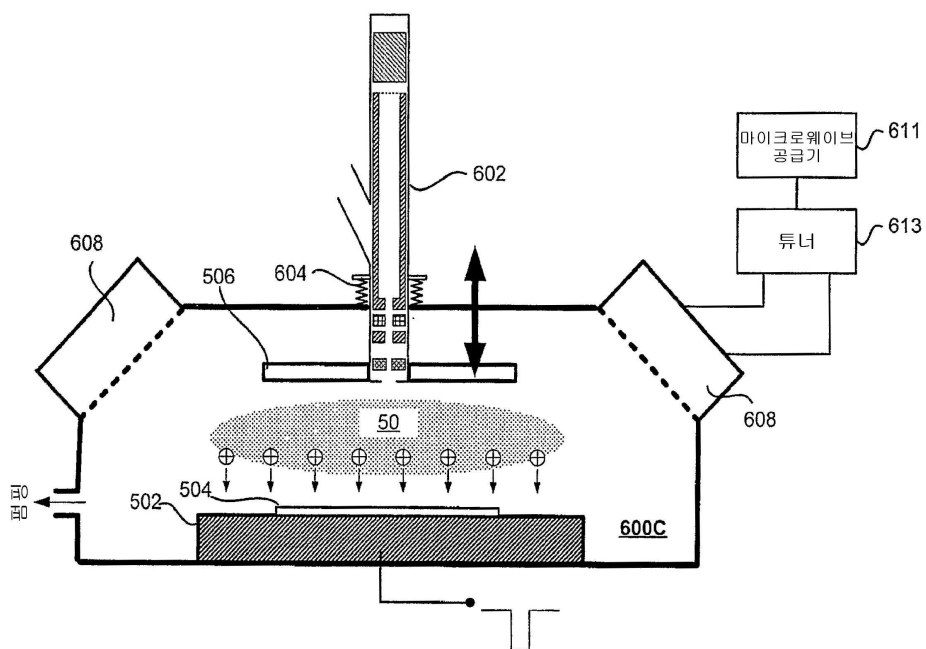
도면6a



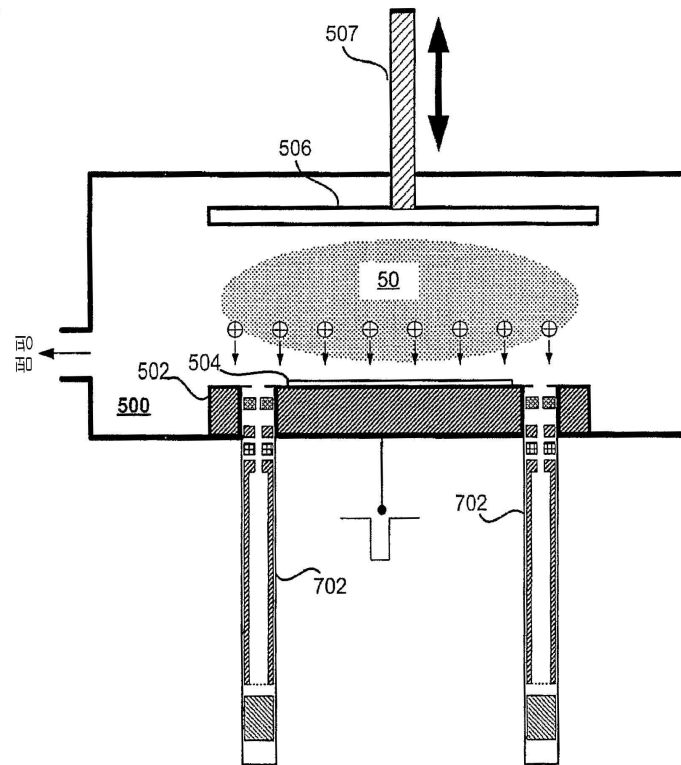
도면6b



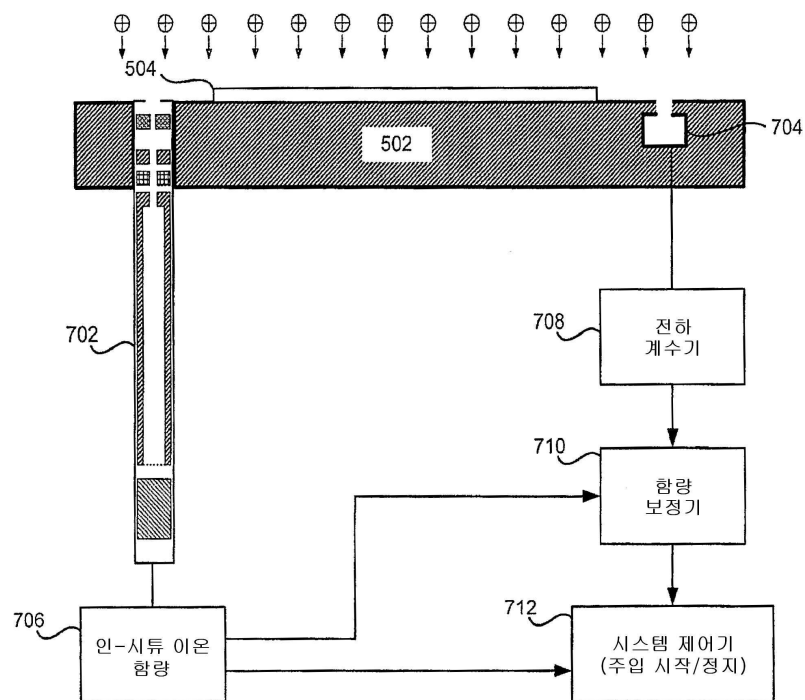
도면6c



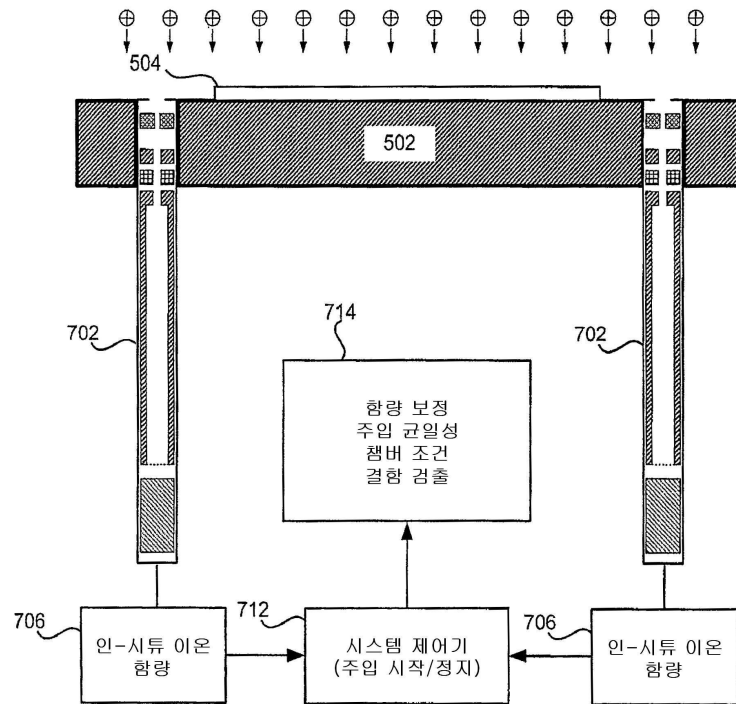
도면7



도면7a



도면7b



도면8

