



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2009-0029209
(43) 공개일자 2009년03월20일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) Int. Cl.
<i>H01L 21/265</i> (2006.01) <i>H01J 33/02</i> (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2008-7030410</p> <p>(22) 출원일자 2008년12월12일
심사청구일자 없음
번역문제출일자 2008년12월12일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/US2007/013984
국제출원일자 2007년06월13일</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2007/146394
국제공개일자 2007년12월21일</p> <p>(30) 우선권주장
60/813,431 2006년06월13일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인
세미이큅, 인코포레이티드
미합중국, 매사추세츠 01862, 빌레리카, 유니트 21호, 설리반 로드 34</p> <p>(72) 발명자
글래비쉬, 힐튼, 에프.
미국, 네바다 89450, 인클라인 빌리지, 피.오. 박스 4348, 타이너웨이 803</p> <p>제이콥슨, 데일, 콘래드
미국, 뉴 햄프셔 03079, 살렘, 플린트락 로드 16
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
김학수, 문경진</p> |
|--|---|

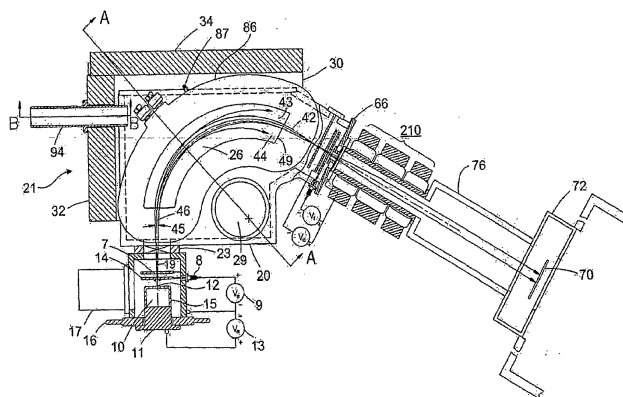
전체 청구항 수 : 총 81 항

(54) 이온 주입을 위한 이온 빔 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은, 공통적인 1가의 도펀트 이온 중 및 클러스터 이온의 주입을 가능하게 하기 위해 구성된 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성에 관한 것으로, 상기 빔 라인 구성은 자석의 강자석 극과 질량 선택 애퍼처 사이에 상당한 폭의 극 간격을 한정하는 질량 분석기 자석을 구비하고, 상기 분석기 자석은, 슬롯-형 이온 소스 추출 애퍼처로부터 이온 빔을 수용하고, 빔의 폭에 대응하는 평면에서의 질량 선택 애퍼처에서 분산을 생성하도록 크기를 갖고, 질량 선택 애퍼처는 클러스터의 빔을 선택하도록 크기를 갖는 질량-선택 폭으로 설정될 수 있고, 질량 선택 애퍼처는 또한 실질적으로 더 좁은 질량 선택 폭으로 설정될 수 있고, 상기 분석기 자석은 실질적으로 단일 원자량 또는 분자량의 1가의 도펀트 이온의 빔의 선택을 가능하게 하는데 충분한 질량 선택 애퍼처에서의 분해능을 갖는다.

대표도



(72) 발명자

호르스키, 토마스, 앤.

미국, 메사추세츠 01719, 박스보러프, 디폿 로드
816

하토, 사미, 케이.

미국, 뉴 햄프셔 03062, 나슈아, 오티븐 글렌 서클
17

특허청구의 범위

청구항 1

공통적인 1가의 도펀트 이온 중 및 클러스터 이온의 주입을 가능하게 하기 위해 구성된 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성으로서, 상기 빔 라인 구성은 질량 분석기 자석의 강자성 극 사이의 상당한 폭을 갖는 극 간격 및 질량 선택 애퍼처를 한정하는 질량 분석기 자석을 구비하고, 상기 분석기 자석은 적어도 약 80mm 높이와 적어도 약 7mm 폭을 갖는 슬롯-형 이온 소스 추출 애퍼처로부터 이온 빔을 수용하고, 그리고 빔의 폭에 대응하는 평면에서 질량 선택 애퍼처에서 분산을 생성하도록 크기를 갖고, 상기 질량 선택 애퍼처는 동일한 종이지만 증분적으로 상이한 분자량을 갖는 클러스터 이온의 빔을 선택하도록 크기를 갖는 질량-선택 폭으로 설정될 수 있고, 상기 질량 선택 애퍼처는 또한 실질적으로 더 좁은 질량-선택 폭으로 설정될 수 있고, 상기 분석기 자석은 실질적으로 단일 원자량 또는 분자량의 1가의 도펀트 이온의 빔에 대한 선택을 가능하게 하는데 충분한 질량 선택 애퍼처에서의 분해능(resolution)을 갖는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 질량 선택 애퍼처는 1가의 이온 종에 대한 제 1 설정과, 클러스터 이온을 수용하기 위해 제 1 설정의 질량-선택 폭의 적어도 15배의 제 2 설정으로 설정될 수 있는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서, 1가 도핑 이온을 위한 질량 선택 애퍼처에서의 질량 분석기 자석의 분해능은 적어도 60인, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 4

제 1항 내지 제 3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 질량 분석기 자석은 이온 소스 추출 애퍼처의 폭의 질량 분산 평면에서 컨주게이트(conjugate) 이미지를 질량 선택 애퍼처에서 형성하도록 크기를 갖고, 구성되고 배열되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 5

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분석기 자석의 질량 선택 애퍼처는 적어도 30mm의 애퍼처 폭으로 설정될 수 있는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 6

제 1항 내지 제 5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분석기 자석은 적어도 12mm의 폭과 90mm의 높이를 갖는 슬롯-형 이온 소스 추출 애퍼처로부터 추출된 빔을 분석하도록 구성되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 7

제 1항 내지 제 6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 슬롯-형 추출 애퍼처 폭은 약 12.5mm이고 높이는 약 100mm인, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 8

제 1항 내지 제 7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 질량 선택 애퍼처는 1가의 이온 종에 대한 제 1 설정과, 클러스터 혼합물로부터 생성된 클러스터 이온을 수용하기 위해 제 1 설정의 질량-선택 폭의 적어도 15배인 제 2 설정으로 설정될 수 있고, 1가의 도핑 이온에 대한 질량 선택 애퍼처에서의 질량 분석기 자석의 분해능은 적어도 60인, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 9

제 1항 내지 제 8항 중 어느 한 항에 있어서, 형성된 전자 빔을 이용하여 이온화 모드에 의해 최대 약 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류 밀도의 이온을 생성하도록 구성된 이온 소스와 결합하여, 이온 소스는 교대로 가스 및 가열된 증기의

형태인 공급 물질을 수용하도록 구성되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 10

제 1항 내지 제 9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 이온 소스는 아크 방전을 이용하여 제 2 이온화 모드로 교대로 기능하도록 구성되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 11

제 1항 내지 제 10항 중 어느 한 항에 있어서, 가스의 이온 빔과의 상호 작용에 의해 이온 빔 내의 음이온을 생성하기 위해 분석기 자석의 하류에서 가스를 도입하는 수단을 포함하는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 12

제 1항 내지 제 11항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분석기 자석은 단일 쌍의 코일을 갖는 섹터 2극 자석이고, 상기 자석은 극 간격에 들어가고 떠나는 이온 빔 경로의 주 축에 실질적으로 수직인 입구 및 출구 극 에지를 갖고, 상기 분석기 자석은 섹터 자석에서 이온 빔의 휨(bend) 평면에 수직인 평면에서 빔 상에 실질적으로 어떠한 집속 효과도 갖지 않고, 자석보다 선행하는 이온 집속 시스템은 자석의 질량-분산 평면에 수직인 평면에서 집속하는 빔을 제공하는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 13

제 12항에 있어서, 상기 집속 시스템은 이온 소스와 연관된 이온 추출 시스템의 렌즈 요소를 포함하는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 14

제 1항 내지 제 13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분석기 자석의 극 간격은 통과하도록 구성되는 최대 크기의 이온 빔의 대응하는 치수보다 실질적으로 더 크고, 극의 면과 빔 경로 사이에 그래파이트(graphite) 또는 실리콘의 라이닝(lining)이 존재하는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 15

제 1항 내지 제 14항 중 어느 한 항에 있어서, 극 간격을 한정하는 극 부재는, 극 간격 치수에 관해 비교적 작은 극 폭의 이용을 가능하게 하는 방식으로 자기장을 성형하기 위해 빔 경로의 중간 평면쪽으로 극 표면을 각각 하강 및 상승시키는 트렌치 및 shim으로 성형된 극 면을 갖는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 16

제 1항 내지 제 15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 극 간격을 한정하는 극 부재는 분석기 자석의 자기장을 받는 동안 이온 빔이 통과하는 비자기 물질의 진공 하우징의 벽에 내장되고 밀봉되고, 극 부재 사이의 자석의 자기장 구조는 진공 하우징의 외부에 위치하는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 17

제 1항 내지 제 16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분석기 자석은 약 10kGauss를 초과하는 자기장을 포함하는, 극 간격에서의 조정가능한 자기장을 생성하도록 구성된 섹터 자석인, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 18

제 1항 내지 제 17항 중 어느 한 항에 있어서, 옥타데카보란으로부터 생성된 약 80keV 이온을 선택하도록 구성되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 19

제 1항 내지 제 18항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 질량 분석기는 약 400mm보다 큰 반경(R), 약 90도보다 큰 섹터 각도(ϕ), 유효 극 출구 경계로부터 질량 분해 애퍼처로의 약 200mm의 거리(b)를 갖는 섹터 자석을 포함하고, 상기 질량 분석기는 약 -1.2 내지 -0.80의 배율(M)을 갖는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 20

제 19항에 있어서, R은 약 500mm이고, ϕ 은 약 120도이고, b는 약 195mm이고, M은 약 -0.83이고, 상기 분석기 자석은 약 12.5mm의 추출 애퍼처 폭을 갖는 소스로부터 이온 빔을 분석하도록 구성되고, 상기 분석기 자석은 약 88의 질량 분해능($m/\Delta m$)을 갖는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 21

제 1항 내지 제 20항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 질량 분석기 자석은 약 205amu 내지 약 220amu의 전체 질량 범위에 걸쳐 이온을 선택하도록 구성되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 22

제 1항 내지 제 21항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 질량 분석기 자석은 약 113amu 내지 약 123amu의 전체 질량 범위에 걸쳐 이온을 수용하도록 구성되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 23

제 1항 내지 제 22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 질량 선택 애퍼처는 평행한 편심 축 주위에 동기적인 역-회전을 위해 장착된 한 쌍의 역-회전가능한 원통형 표면에 의해 한정되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 24

제 23항에 있어서, 상기 원통형 표면 중 적어도 하나는 수냉되고(water-cooled), 그래파이트 또는 실리콘의 커버링(covering)을 지지하는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 25

제 1항 내지 제 24항 중 어느 한 항에 있어서, 분석기 자석에 후속하여 빔 라인의 부분에서 다수의 요소 4극자 집속 렌즈를 포함하고, 상기 렌즈는 빔 단면의 직교 방향으로 빔의 치수를 제어하도록 배열되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 26

제 25항에 있어서, 상기 렌즈는 적어도 3개의 4극자 요소를 갖고, 빔 단면의 직교 방향으로 빔의 치수 및 각도 발산을 동시에 제어하도록 구성되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 27

제 25항 또는 제 26항에 있어서, 상기 렌즈는 4극자 트리플릿 집속 렌즈인, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 28

제 25항 내지 제 27항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 렌즈는 자기 4극자 트리플릿 집속 렌즈인, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 29

제 25항 내지 제 28항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 트리플릿의 제 1 렌즈 요소가 긴 프로파일 치수에서 집속을 야기하도록 하고, 제 2 렌즈 요소가 짧은 치수에서 집속을 야기하고 긴 치수에서 디포커싱(defocusing)을 야기하기 위해 제 1 요소의 극성과 반대 극성을 갖도록 하고, 제 3 렌즈 요소가 제 1 요소와 동일한 극성을 갖도록 적응된 제어와 결합하여, 분석기 자석에서 이온 빔의 휨 평면에 접선인 평면에서 빔 프로파일의 긴 치수를 가지고, 4극자 트리플릿 집속 렌즈에 들어가는 연장된 단면 프로파일을 갖는 빔을 생성하도록 구성되고, 상기 렌즈 요소의 자기장 세기는 각각 연장된 프로파일의 치수 모두에서 동시적인 집속을 달성하도록 제어되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 30

제 25항 내지 제 29항 중 어느 한 항에 있어서, 분석기 자석에 후속하고 4극자 렌즈에 선행하는 감속 유닛을 포함하고, 상기 렌즈는 감속 유닛에서 빔의 감속을 초래하는 빔 발산을 제어하기 위해 제어되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 31

제 25항 내지 제 30항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 클러스터 이온의 적어도 하나의 이온 빔을 생성하기 위한 이온 소스와 결합되고, 상기 분석기 자석의 질량 선택 애퍼처는 동일한 클러스터 이온 종의 이온 질량의 범위를 전달하도록 조정되고, 4극자 렌즈의 렌즈 요소의 개별적인 자기장 세기는, 다른 경우 이온 빔에서 이온의 상이한 질량의 범위에 기여하게 발생하는 목표 기관에서 각도 편차를 동시에 실질적으로 제거하도록 조정되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 32

제 1항 내지 제 31항 중 어느 한 항에 있어서, 낮은 에너지, 높은 선량의 주입 상태에서 붕소 함유 클러스터 이온의 높은 전류를 생성하도록 배열되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 33

제 25항 내지 제 32항 중 어느 한 항에 있어서, 4개의 강자성 코어 부분 주위에 개별적으로 감겨진 4개의 코일을 포함하는 자기 4극자 렌즈 요소를 구비하고, 상기 코어 부분은 빔이 통과하는 비-강자성 물질의 진공 하우징에 침투하고 밀봉되는 강자성 극 부분에 고정되고, 인접한 코일은 4개의 극 사이의 영역에서 4극자 자기장을 생성하기 위해 반대 극성으로 감겨지고, 자기 플럭스는 강자성 요크 구조를 통해 자기적으로 결합되는 코어 부분을 통해 하나의 극으로부터 다른 극으로 복귀되는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 34

제 25항 내지 제 33항 중 어느 한 항에 있어서, 4극자 렌즈에 후속하여 이온 빔을 스캐닝하도록 구성된 스캐너와, 목표 기관에 걸쳐 빔의 평행 스캐닝을 가능하게 하기 위해 스캐너와 협력하도록 구성된 시준기를 포함하는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 35

제 25항 내지 제 34항 중 어느 한 항에 있어서, 실질적으로 다음 값, 즉

A. 분석기 자석: $R=500\text{mm}$, $\phi=120^\circ$; $G=118\text{mm}$; $s_1=31\text{mm}$; $s_2=8.6\text{mm}$; $h_1=8.7\text{mm}$; $h_2=4.7\text{mm}$; $W=166\text{mm}$; 힘 전력=80keV 옥타데카보렌.

B. 질량 선택 애퍼처: 최소 약 8mm에서 최대 약 38mm.

C. 4극자 트리플릿 집속 렌즈: 애퍼처: 극 팁 사이의 80 대각선; 조정가능한 0-5kGauss의 극 팁 자기장의 빔 라인 특징 및 파라미터를 갖는, 다목적 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 36

해당 피크 근처에 다수의 질량의 클러스터 이온의 주입을 가능하게 하기 위해 구성된 이온 주입기 빔 라인 구성으로서, 상기 빔 라인 구성은 자석의 강자성 극과 질량 선택 애퍼처 사이의 극 간격을 한정하는 질량 분석기 자석을 갖고, 상기 극 간격은 클러스터 이온을 생성하는 낮은 밀도의 이온 소스로부터 이온 빔을 수용하도록 크기를 갖고, 질량 선택 애퍼처는, 동일한 도펀트 종이지만 증분적으로 상이한 분자량을 갖는 클러스터 이온의 빔을 선택하도록 크기를 갖는 질량-선택 폭으로 설정될 수 있고, 이온 주입기 빔 라인은 다수의 4극자 집속 요소를 포함하는 분석기 자석에 후속하여 빔 라인의 부분에서 다수-요소 집속 시스템을 포함하고, 렌즈 시스템의 렌즈 요소의 개별적인 자기장 세기는, 빔 단면의 직교 방향으로 빔의 치수를 제어하고, 다른 경우 이온 빔에서 클러스터 이온의 상이한 질량의 범위의 결과로서 나타나는 목표 기관에서 각도 편차를 동시에 실질적으로 제거하도록 조정되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 37

제 36항에 있어서, 형성된 전자 빔을 이용하여 이온화 모드에 의해 최대 약 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류 밀도의 이온을 생성하도록 구성된 이온 소스와 결합하고, 상기 이온 소스는 가열된 증기의 형태인 공급 물질을 수용하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 38

제 36항 또는 제 37항에 있어서, 상기 질량 선택 애퍼처는 약 113 내지 약 123amu와, 약 205amu 내지 약 220amu의 범위에서 질량을 갖는 이온을 선택하도록 설정될 수 있는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 39

제 36항 내지 제 38항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 렌즈 시스템은 적어도 3개의 4극자 요소를 갖고, 4극자 자기장에 의해 빔 단면의 직교 방향으로 빔의 치수 및 각도 발산을 동시에 제어하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 40

제 36항 내지 제 39항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 렌즈 시스템은 4극자 트리플렛 집속 렌즈인, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 41

제 40항에 있어서, 상기 렌즈는 자기 4극자 트리플렛 집속 렌즈인, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 42

제 41항에 있어서, 트리플렛의 제 1 렌즈 요소가 긴 프로파일 치수에서 집속을 야기하도록 하고, 제 2 렌즈 요소가 짧은 치수에서 집속을 야기하고 긴 치수에서 디포커싱을 야기하기 위해 제 1 요소의 극성과 반대 극성을 갖도록 하고, 제 3 렌즈 요소가 제 1 요소와 동일한 극성을 갖도록 적응된 제어와 결합하여, 분석기 자석의 휨 평면에 접선 평면에서 빔 프로파일의 긴 치수를 가지고, 4극자 트리플렛 집속 렌즈에 들어가는 연장된 단면 프로파일을 갖는 빔을 생성하도록 구성되고, 상기 렌즈 요소의 자기장 세기는 각각 연장된 프로파일의 치수 모두에서 동시적인 집속을 달성하도록 제어되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 43

제 24항 내지 제 26항 중 어느 한 항에 있어서, 이온 소스와 연관된 조정가능한 추출 광학기기는 분석기 자석의 비-분산 평면에서 빔 수렴도를 생성하도록 구성되고, 수 μA 내지 수 mA의 빔 전류의 넓은 범위, 그리고 약 4keV 내지 80keV의 에너지의 넓은 범위에 걸쳐 4극자에 대한 입구에서 수용될 빔의 크기를 갖도록 최적화되고, 4극자 트리플렛은, 웨이퍼 또는 기관에서 비-분산(수직) 및 분산(수평) 평면 모두에서 웨이퍼 또는 기관에서의 빔 크기 및 각도 발산의 최종적인 최적화를 제공하며, 이것은 에너지 및 전류의 범위에 걸쳐 추출 광학기기에 의해 도입된 빔 크기 및 각도에서의 변동을 보상하는 것을 포함하는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 44

제 36항 내지 제 43항 중 어느 한 항에 있어서, 분석기 자석에 후속하고 렌즈 시스템의 4극자 렌즈 요소에 선행하는 감속기 유닛을 포함하고, 상기 4극자 렌즈 요소는 감속 유닛에서 빔의 감속을 초래하는 빔 발산을 제어하도록 제어되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 45

제 44항에 있어서, 4극자 트리플렛 렌즈는 상기 감속기 유닛에 후속하는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 46

제 36항 내지 제 45항 중 어느 한 항에 있어서, 분석기 자석에 후속하는 감속 유닛을 포함하고, 상기 감속 유닛은 한 쌍의 4극자 집속 요소 사이에 배치되고, 감속 유닛을 지나는 4극자 렌즈 요소는 감속 유닛에서 빔의 감속을 초래하는 빔 발산을 제어하도록 제어되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 47

제 43항 내지 제 46항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 감속 유닛은 또한 이온 가속을 가능하게 하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 48

제 43항 내지 제 45항 중 어느 한 항에 있어서, 감속기 또는 가속기에 후속하고 뒤이어 4극자 요소가 후속하는 적어도 하나의 자기 빔 라인 요소를 포함하고, 상기 감속기 또는 가속기는 이온 빔에서 이온의 상이한 질량에 기인하는, 자기 빔 라인 요소에서 발생하는 질량 분산을 오프셋하기 위해 상이한 질량을 갖는 이온 빔에서의 교차를 가능하게 하도록 제어되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 49

제 43항 내지 제 48항 중 어느 한 항에 있어서, 최종적인 에너지 자석에 뒤이어 자기 스캐너 및 자기 시준기가 후속하고, 자기 스캐너 및 시준기는 동일한 방식으로 회전되고, 최종적인 에너지 자석은 반대 방식으로 회전되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 50

제 43항 내지 제 49항 중 어느 한 항에 있어서, 소스 추출 에너지로부터 상이한 에너지로 이온을 후치(post) 가속하거나 감속시킬 수 있는 질량 선택 애퍼처를 지나는 원통형의 3개의 전극 후치 가속기 구조가 있고, 상기 후치 가속기의 중심 전극은 후치 가속기 영역을 통과할 때 이온 빔의 다양한 집속도를 얻기 위해 조정가능한 전압이 공급되도록 연결되고, 4극자 요소는 후치 가속기의 어느 한 측면 상에 위치되고, 후치 가속기에 후속하여, 후치 가속(또는 감속) 동안 부정확한 에너지로 생성된 이온 또는 중성 입자를 제거하기 위한 최종적인 에너지 자석이 있고, 상기 최종적인 에너지 자석에 뒤이어, 스캐너 자석과 동일한 방식으로 빔을 휘는 시준기 렌즈와 연계하여 작용하는 자기 스캐너가 후속하고, 후치-가속기 집속 전극과 연계하여 4극자 요소의 세기는 목표 기관에서 빔 크기 및 각도 발산을 최적화하고, 다른 경우 다수의 질량 이온의 존재로 인해 야기되는 각도 편차를 최소화하도록 조정되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 51

제 50항에 있어서, 후치-가속기 집속 전극과 연계하여 4극자 요소의 세기는 빔에서 다수의 질량 이온의 존재에 기인하여 목표 기관에서 이온 빔의 확장을 실질적으로 제거하기 위해 최종적인 에너지 자석에 대해 협력하여 조정되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 52

제 36항 내지 제 51항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 질량 분석기 자석의 간격은 분석기 자석의 휨 평면에 수직 방향으로 적어도 최소 80mm의 단면 치수의 이온 소스 추출 애퍼처로부터 이온 빔을 수용하도록 크기를 갖는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 53

제 52항에 있어서, 상기 분석기 자석의 질량 선택 애퍼처는 약 8mm 내지 38mm의 폭의 애퍼처로 조정가능한, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 54

제 36항 내지 제 53항 중 어느 한 항에 있어서, 적어도 10mm의 폭을 갖는 슬롯-형태 이온 소스 추출 애퍼처로부터 추출된 빔을 질량 선택 애퍼처에서 집속하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 55

제 36항 내지 제 54항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분석기 자석의 극 간격은 통과되도록 구성되는 최대 크기의 이온 빔의 대응하는 치수보다 실질적으로 더 넓고, 극의 면과 빔 경로 사이에 그래파이트 또는 실리콘의 라이닝이 존재하는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 56

제 36항 내지 제 55항 중 어느 한 항에 있어서, 극 간격을 한정하는 극 부재는, 빔의 극 간격 치수 및 단면 치수에 관해 비교적 작은 극 폭의 이용을 가능하게 하는 방식으로 자기장을 성형하기 위해 빔 경로의 중간 평면쪽으로 극 표면을 각각 하강 및 상승시키는 트렌치 및 심으로 성형된 극 면을 갖는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 57

제 36항 내지 제 56항 중 어느 한 항에 있어서, 극 간격을 한정하는 극 부재는, 분석기 자석의 자기장을 받는 동안 이온 빔이 통과하는 비강자성 물질의 진공 하우징의 벽에 내장되고 밀봉되고, 극 부재 사이의 자석의 강자성 구조는 진공 하우징의 외부에 위치하는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 58

제 1항 내지 제 57항 중 어느 한 항에 있어서, 분석기 자석은 약 500mm의 반경을 갖는 섹터 자석이고, 약 10kGauss를 초과하는 자기장을 포화하는 극 간격에서 조정가능한 자기장을 생성하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 59

제 1항 내지 제 58항 중 어느 한 항에 있어서, 옥타데카보란으로부터 생성된 적어도 80keV 이온을 선택하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 60

제 1항 내지 제 59항 중 어느 한 항에 있어서, 질량 분석기는 약 400mm보다 큰 반경(R)과, 약 90도보다 큰 섹터 각(ϕ)과, 극 출구로부터 질량 분해 애퍼처로의 약 200mm의 거리(b)를 갖는 섹터 자석을 포함하는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 61

제 60항에 있어서, R은 약 500mm이고, ϕ 는 약 120도이고, b는 약 195mm이고, M은 약 -83이고, 상기 분석기 자석은 약 12.5mm의 추출 애퍼처 폭을 갖는 소스로부터 이온 빔을 분석하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 62

제 1항 내지 제 61항 중 어느 한 항에 있어서, 전자 충돌에 의해 클러스터 이온을 생성하기 위해 물질을 이온화할 수 있는 이온 소스를 갖고, 상기 주입기는 진공 하우징 내에서, 질량 분석기 자석에 후속하는 빔 스캐너 및 시준기와, 클러스터 이온 빔과의 상호 작용에 의해 음이온을 형성할 수 있는 가스를, 빔에 중성화된 음이온을 제공하도록 스캐너 또는 시준기의 진공 하우징의 영역 안으로 넣는 시스템을 갖는, 이온 주입기 빔 라인 구성.

청구항 63

전자-충돌 이온화에 의해 클러스터 이온을 생성하기 위해 물질을 이온화시킬 수 있는 이온 소스와 결합된 이온 주입기 빔 라인으로서, 상기 빔 라인은, 연관된 진공 하우징 부분 내에서 주입 스테이션에 선행하여, 클러스터 이온 빔을 형성하기 위해 이온 소스로부터 이온을 추출할 수 있는 추출 전극 조립체와, 빔을 위한 질량 분석기 자석과, 분석기 자석의 하류에서, 중성화된 음이온을 빔에 제공하도록 클러스터 이온 빔과의 상호작용에 의해 음이온을 형성할 수 있는 가스를 제공하기 위한 시스템과 결합된, 분석된 빔이 통과되는 이온 빔 스캐너 및 이온 빔 시준기를 포함하는, 이온 주입기 빔 라인.

청구항 64

주입에 적합한 종의 이온을 생성하기 위해 물질을 이온화시킬 수 있는 이온 소스와 결합된 이온 주입기 빔 라인으로서, 상기 빔 라인은, 연관된 진공 하우징 부분 내에서 주입 스테이션에 선행하여, 상기 종의 이온의 빔을 형성하기 위해 이온 소스로부터 이온을 추출할 수 있는 추출 전극 조립체와, 빔을 위한 질량 분석기 자석과, 분석기 자석의 하류에서, 중성화된 음이온을 빔에 제공하도록 이온 빔과의 상호작용에 의해 음이온을 형성할 수 있는 가스를 제공하기 위한 시스템과 결합된, 분석된 빔이 통과되는 이온 빔 스캐너 및 이온 빔 시준기를 포함하는, 이온 주입기 빔 라인.

청구항 65

제 11항 또는 제 62항 내지 제 64항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 가스는 SF₆인, 이온 주입기 빔 라인.

청구항 66

제 65항에 있어서, SF₆ 가스는 약 5x10⁻⁷ 내지 10⁻⁵ torr의 압력에 제공되는, 이온 주입기 빔 라인.

청구항 67

제 11항 또는 제 62항 내지 제 66항 중 어느 한 항에 있어서, 소스 추출 에너지로부터 낮은 에너지로 이온을 후치 감속시킬 수 있는 자기 분석기를 지나는 후치 가속기 구조가 있는, 이온 주입기 빔 라인.

청구항 68

이온 주입기 빔 라인을 위한 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 제공하는 디바이스로서, 상기 질량 선택 애퍼처는 평행한 편심 축 주위에 동기적인 회전을 위해 장착된 한 쌍의 역-회전가능 원통형 표면에 의해 한정되는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 제공하는 디바이스.

청구항 69

제 67항에 있어서, 원통형 표면의 적어도 하나는 수냉되고, 그래파이트 또는 실리콘의 커버링을 지지하는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 제공하는 디바이스.

청구항 70

제 67항 또는 제 68항에 있어서, 비철 물질의 2개의 기어링된(gearred), 역-회전 편심 수냉식 증공 실린더를 포함하고, 각 실린더는 그래파이트 또는 실린더의 각 슬리브에 의해 커버되고, 상기 실린더는 이온 주입기의 빔 라인과 정렬된 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 생성하는 평행한 편심 축 상에 역-회전하도록 장착되는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 제공하는 디바이스.

청구항 71

제 67항 내지 제 69항 중 어느 한 항에 있어서, 이온 주입을 위한 최소 분해 슬릿 폭과, 최소 분해 슬릿 폭의 약 4배 내지 6배의 폭을 포함하는 분해 슬릿 폭을 제공하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 제공하는 디바이스.

청구항 72

제 67항 내지 제 70항 중 어느 한 항에 있어서, 적어도 약 38mm의 최대 이온 주입 슬릿 폭을 갖는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 제공하는 디바이스.

청구항 73

이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석으로서, 약 500mm의 중심 경로 반경과, 약 120°의 섹터 각도와, 적어도 약 80mm의 극 간격을 갖는 섹터 자석을 포함하고, 상기 자석은 단일 쌍의 코일과 연관되고, 상기 자석은 극 간격에 들어가고 나가는 이온 빔 경로의 주 축에 실질적으로 수직인 입구 및 출구 극 에지를 갖고, 상기 자석은 섹터 자석의 휨 평면에 수직인 평면에서 빔 상에 실질적으로 어떠한 집속 효과도 갖지 않는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석.

청구항 74

제 72항에 있어서, 자석의 질량-분산 평면에 수직인 평면에서 집속하는 빔을 제공하는 자석을 선행하는 이온 집속 시스템과 결합되는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석.

청구항 75

제 72항 또는 제 73항에 있어서, 상기 집속 시스템은 이온 소스와 연관된 이온 추출 시스템의 렌즈 요소를 포함하는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석.

청구항 76

제 72항 내지 제 74항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분석기 자석의 극 간격은 통과되도록 구성되는 최대 크기

의 이온 빔의 대응하는 치수보다 실질적으로 더 넓고, 극의 면과 빔 경로 사이에 그래파이트 또는 실리콘의 라이닝이 존재하는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석.

청구항 77

제 72항 내지 제 75항 중 어느 한 항에 있어서, 극 간격을 한정하는 극 부재는, 극 간격 치수에 관해 비교적 작은 극 폭의 이용을 가능하게 하는 방식으로 자기장을 성형하기 위해 빔 경로의 중간 평면쪽으로 극 표면을 각각 하강 및 상승시키는 트렌치 및 심으로 성형된 극 면을 갖는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석.

청구항 78

제 72항 내지 제 76항 중 어느 한 항에 있어서, 극 간격을 한정하는 극 부재는, 분석기 자석의 자기장을 받는 동안 이온 빔이 통과되는 비자기 물질의 진공 하우징의 벽에 내장되고 밀봉되고, 극 부재 사이의 자석의 강자성 구조는 진공 하우징의 외부에 위치하는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석.

청구항 79

제 72항 내지 제 77항 중 어느 한 항에 있어서, 분석기 자석은 약 10kGauss를 초과하는 자기장을 포함하는 극 간격에서의 조정가능한 자기장을 생성하도록 구성된 섹터 자석인, 이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석.

청구항 80

제 72항 내지 제 78항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 분석기 자석은 적어도 12mm의 폭과 90mm의 높이를 갖는 슬롯-형 이온 소스 추출 애퍼처로부터 추출된 빔을 분석하도록 구성되는, 이온 주입기 빔 라인을 위한 분석기 자석.

청구항 81

제 1항 내지 제 80항 중 어느 한 항의 장치를 이용하여 이온 주입을 수행하는 방법.

명세서

기술분야

<1> 본 발명의 분야는 반도체 웨이퍼 및 다른 기판 목표에 이온 주입하는 것에 관한 것이다. 본 발명은 특히, C, Si, Ge, 및 Sn의 IV족 원소의 어느 한 측면 상의 주기율표에 놓이는 요소 B, P, As, Sb 및 In과 같은 전기 도펀트 중의 다수의 원자를 포함하는 분자 이온을 효과적으로 주입하는 것과, 또한 예를 들어 비결정질화, 도펀트 확산 제어, 응력 엔지니어링(stress engineering), 또는 결합 제거를 달성하기 위해 반도체 기판을 변형하는데 이제 사용되는 C, Si, 또는 Ge와 같은 원소의 다수의 원자를 포함하는 분자 이온을 효과적으로 주입하는 것에 관한 것이다. 그러한 분자 주입물, 특히 많은 수의 해당 원자, 즉 4개 이상의 원자를 갖는 이온을 갖는 분자 주입물은 60nm 이하의 임계 치수를 갖는 집적 회로를 제조하는데 유용하다. 본 발명의 분야는 또한 공통적으로 사용된 단일 원자 도펀트 이온에 적합한 주입기 빔 라인 구성에 관한 것으로, 특히 전술한 이온의 모든 3개의 클래스를 주입하는데 유용한 다목적 주입기 빔 라인 구성에 관한 것이다.

배경기술

<2> 고 선량의 낮은 에너지 주입의 경우에, 해당 원소의 다수의 원자를 포함하는 분자 이온을 이용하는 잠재적인 장점은 여러 해 동안 인식되어 왔다. 주어진 이온 빔 전류에 대해, 선량은 해당 원소의 원자 다양성에 비례하여 증가된다. 그러한 이온은 소스로부터 추출될 수 있고, 해당 원소의 원자량에 대한 분자량의 비율에 비례하여, 훨씬 더 높은 에너지로 웨이퍼 또는 다른 목표 기판으로 전달될 수 있다. 따라서, 비교적 높은 선량 주입에 대해, 웨이퍼 처리량은 내부 공간 전하력 및 이온 빔 내의 고유한 열 이온 온도에 의해 엄격히 한정되지 않는다. 또한, 주어진 선량에 대해, 빔에 의해 웨이퍼로 전달된 전기 전하는 상당히 더 적다.

<3> 그러나, 종래의 주입기에서 그러한 분자 이온을 이용하려는 시도가 이루어질 때 존재하는 다수의 결함을 극복하는 것이 바람직하다. 첫째, 종래의 이온 주입기의 이온 소스는 비교적 높은 밀도, 고온 플라즈마를 갖고, 무거운 분자 이온은 실질적으로 그러한 소스에 의해 붕괴되어, 종종 낮은 분자 이온 수율을 초래한다. 둘째, 분자 이온은 종종 이온 내의 다양한 수소 원자량의 결과로서, 그리고 또한 생성된 이온에 존재하는 원소의 2이상의 동위 원소가 있는 경우 동위 원소량의 2항식 분배(binomial distribution)의 결과로서 질량의 범위 내에 생성된

다. 상이한 질량의 이온은 일반적으로 주입기 빔 라인을 통해 상이한 경로를 나타내고, 그 결과, 웨이퍼 표면 위에 바람직하지 않은 각도 및/또는 선량 변이(variation)를 생성할 수 있다. 셋째, 분자 이온의 비교적 높은 질량은 단일 원자 주입 에너지를 종종 수 keV에 한정하는데, 이는 종래의 분석기 자석(및 사용된 경우 다른 자성 요소)의 한정된 자기장 세기 및 크기로 인한 것이다.

- <4> 이온 주입기 톨을 구성하고 동작하는 것과 연관된 상업적 비용을 최소화하기 위해, 분자 이온을 주입하는 것과 연관된 결함을 극복할 수 있고 공통 1가 도펀트 종을 주입할 수 있는 다목적 이온 주입기를 갖는 것이 바람직하다.
- <5> 더욱이, 사실상 공통 1가의 도펀트 종을 주입하기 위해 구성되는 이온 주입기에서조차, 일반적으로 요구된 넓은 동적 범위의 선량을 충족시키기 위해 빔에서의 넓은 범위의 이온 밀도에 걸쳐 효과적인 동작을 가능하게 하고, 이온 에너지 분해능에 대해, 그리고 반도체 구조를 저하시키는 이온 종으로부터 자유도에 대해 목표에서 높은 이온 순도를 제공하고, 작은 각속도, 우수한 각도 한정, 및 웨이퍼의 표면에 걸쳐 우수한 선량 균일도를 갖는 웨이퍼 기관 상에 이온을 충돌시키는 것이 바람직하다.

발명의 상세한 설명

- <6> 다목적 이온 주입기 빔 라인 구조를 특징으로 하고, 예를 들어 붕소 수소화물 혼합물인 데카보렌 B₁₀H₁₄ 및 옥타 데카보렌 B₁₈H₂₂로부터 생성된 이온을 포함하는 도펀트 종의 많은 원자를 포함하는 실질적으로 더 큰 분자 이온과 같은 공통적인 1가의 도펀트 이온 종 및 클러스터 이온의 주입을 가능하게 하기 위해 구성된다. 빔 라인 구성은 질량 선택 애퍼처를 한정하는 질량 분석기 자석과, 자석의 강자성 극 사이의 상당한 폭의 극 간격을 한정하는 질량 분석기 자석을 갖고, 분석기 자석은 적어도 약 80mm 높이와 적어도 약 7mm 폭의 넓은 영역의 슬롯-형태의 추출 이온 소스 애퍼처로부터 이온 빔을 수용하고, 빔의 폭에 대응하는 평면에서 질량 선택 애퍼처에서 분산을 생성하도록 크기를 갖고, 질량 선택 애퍼처는 동일한 종이지만 증분적으로 상이한 분자량의 클러스터 이온의 빔을 선택하도록 크기를 갖는 질량-선택 폭에 설정될 수 있고, 질량 선택 애퍼처는 또한 실질적으로 더 좁은 질량-선택 폭으로 설정될 수 있고, 분석기 자석은 실질적으로 단일의 원자량 또는 분자량의 도펀트 1가의 이온의 빔의 선택을 가능하게 하는데 충분한 질량 선택 애퍼처에서 분해능을 갖는다.
- <7> 바람직한 구현은 하나 이상의 다음의 특징을 갖는다.
- <8> 질량 선택 애퍼처는 1가 이온 종에 대한 제 1 설정과, 클러스터 이온을 수용하기 위해 제 1 설정의 질량-선택 폭의 적어도 15배의 제 2 설정으로 설정될 수 있다.
- <9> 1가의 도핑 이온을 위해 질량 선택 애퍼처에서 질량 분석기 자석의 분해능은 적어도 60이다.
- <10> 질량 분석기는, 이온 소스 추출 애퍼처의 폭의 질량 분산 평면에서 컨주게이트(conjugate) 이미지를 질량 선택 애퍼처에서 형성하도록 크기를 갖고 구성되고 배열된다.
- <11> 질량 선택 애퍼처는 적어도 30의 애퍼처 폭으로 설정될 수 있다.
- <12> 분석기 자석은 적어도 12mm 폭과 90mm 높이의 슬롯-형태의 이온 소스 추출 애퍼처로부터 추출된 빔을 분석하도록 구성된다.
- <13> 이온 소스는 약 12.5mm 폭과 약 100mm 높이를 갖는 슬롯-형태의 추출 애퍼처를 갖는다.
- <14> 질량 선택 애퍼처는 1가의 이온 종에 대한 제 1 설정과, 클러스터 혼합물로부터 생성된 클러스터 이온을 수용하기 위해 제 1 설정의 질량 선택 폭의 적어도 15배인 제 2 설정으로 설정될 수 있고, 1가의 도핑 이온을 위한 질량 선택 애퍼처에서 질량 분석기 자석의 분해능은 적어도 60이다.
- <15> 이온 주입기 빔 라인은, 종종 전자 충돌에 의한 이온화로서 언급되는, 형성된 전자 빔을 이용하는 이온화 모드에 의해 최대 약 1mA/cm²의 전류 밀도의 이온을 생성하도록 구성된 이온 소스와 결합되고, 이온 소스는 가스 및 가열된 증기의 형태인 공급 물질을 수용하도록 구성된다.
- <16> 이온 소스는 대안적으로 아크 방전을 이용하는 제 2 이온화 모드에서 기능하도록 구성된다.
- <17> 이온 빔과의 가스의 상호 작용에 의해 이온 빔 내에 음의 이온을 생성하기 위해 분석기 자석의 하류에서 가스를 도입하는 수단이 제공된다.
- <18> 분석기 자석은 단일 쌍의 코일과 연관된 섹터 쌍극자 자석이고, 상기 자석은 극 간격에 들어가고 떠나는 이온

빔 경로의 주 축에 실질적으로 수직인 입구 및 출구 극 에지를 갖고, 상기 분석기 자석은 섹터 자석에서 이온빔의 휨(bend) 평면에 수직인 평면에서 빔 상에 실질적으로 어떠한 집속 효과를 갖지 않고, 자석을 선행하는 이온 집속 시스템은 자석의 평면 수직의 질량-분산 평면에 집속하는 빔을 제공한다.

- <19> 집속 시스템은 이온 소스와 연관된 이온 추출 시스템의 렌즈 요소를 포함한다.
- <20> 분석기 자석의 극 간격은 통과하도록 구성되는 최대 크기의 이온 빔의 대응하는 치수보다 실질적으로 더 크고, 극의 면과 경로의 빔 사이에 그래파이트 또는 실리콘의 라이닝(lining)이 있다.
- <21> 극 간격을 한정하는 극 부재는, 극 간격 치수에 관련하여 비교적 작은 극 폭의 이용을 가능하게 하는 방식으로 자기장을 형성하기 위해 빔 경로의 중간 평면쪽으로 극 표면을 각각 하강 및 상승시키는 트렌치 및 심(shim)으로 형성된 극 면을 갖는다.
- <22> 극 간격을 한정하는 극 부재는, 분석기 자석의 자기장을 받는 동안 이온 빔이 통과하는 비자성 물질의 진공 하우징의 벽에 내장되고 이러한 벽에 밀봉되고, 극 부재 사이의 자석의 강자성 구조는 진공 하우징의 외부에 위치한다.
- <23> 분석기 자석은 약 10kGauss를 초과하는 자기장을 포함하는 극 간격에서 조정가능한 자기장을 생성하도록 구성된 섹터 자석이다.
- <24> 이온 주입기 빔 라인인 옥타데카보렌으로부터 생성된 적어도 80keV 이온을 선택하도록 구성된다.
- <25> 질량 분석기는, 약 400mm보다 더 큰 반경(R)과, 약 90도보다 더 큰 섹터 각(ϕ)과, 유효 극 출구 경계로부터 질량 분해 애퍼처(b) 사이의 약 200mm의 거리(b)를 갖는 섹터 자석을 포함하고, 질량 분석기는 약 -1.2 내지 -0.80의 배율(M)을 갖는다.
- <26> 반경(R)은 약 500mm이고, ϕ 는 약 120도이고, b는 약 195mm이고, M은 약 -83이며, 상기 분석기 자석은 약 12.5mm의 추출 애퍼처 폭을 갖는 소스로부터 이온 빔을 분석하도록 구성되고, 상기 분석기 자석은 약 88의 질량 분해능(m/ Δ m)을 갖는다.
- <27> 질량 분석기 자석은 약 205amu 내지 약 220amu의 전체 질량 범위에 걸쳐 이온을 수용하도록 구성된다.
- <28> 질량 분석기 자석은 약 113amu 내지 약 123amu의 전체 질량 범위에 걸쳐 이온을 수용하도록 구성된다.
- <29> 질량 선택 애퍼처는 평행한 편심 축 주위에 동기적인 역-회전(contra-rotation)을 위해 장착된 한 쌍의 역-회전 가능한 원통형 표면에 의해 한정된다.
- <30> 원통형 표면의 적어도 하나는 수냉되고, 그래파이트 또는 실리콘의 커버링(covering)을 지지한다.
- <31> 다수의 요소의 4극자 집속 렌즈는 분석기 자석에 따르는 빔 라인의 부분에 있고, 상기 렌즈는 빔 단면의 직교 방향으로 빔의 치수를 제어하도록 배열된다. 상기 렌즈는 적어도 3개의 4극자 요소를 갖고, 빔 단면의 직교 방향으로 빔의 치수 및 각도 발산을 동시에 제어하도록 구성된다.
- <32> 렌즈는 4극자의 트리플렛(triplet) 집속 렌즈, 바람직하게 자기 4극자의 트리플렛 집속 렌즈이다.
- <33> 이온 주입기 빔 라인인, 트리플렛 렌즈의 제 1 렌즈 요소가 긴 프로파일 치수에서 집속하도록 하고, 제 2 렌즈 요소가 짧은 치수에서 집속하고 긴 치수에서 디포커싱(defocusing) 하도록 제 1 요소의 극성과 반대 극성을 갖도록 하고, 제 3 렌즈 요소가 제 1 요소와 동일한 극성을 갖도록 적용된 제어와 결합하여, 분석기 자석에서 이온 빔의 휨 평면에 접선 평면에서 빔 프로파일의 긴 치수를 갖는, 4극자의 트리플렛 집속 렌즈에 들어가는 연장된 단면 프로파일을 갖는 빔을 생성하도록 구성되고, 렌즈 요소의 자기장 세기는 각각 연장된 프로파일의 양쪽 치수에서의 동시 집속을 달성하도록 제어된다.
- <34> 이온 주입기 빔 라인인 이온 소스와 연관된 조정가능한 추출 광학기기를 포함하고, 이러한 광학기기는 분석기 자석의 비-분산 평면에서의 빔 수렴도를 생성하도록 구성되고, 이러한 빔 수렴도는 총 이온 빔 전류 및 이온 에너지의 크기에 따라 변하고, 수 μ A로부터 수 mA로의 넓은 범위의 빔 전류와 약 4keV 내지 80keV의 넓은 범위의 에너지에 걸쳐 4극자로의 입구에서 수용되도록 빔이 크기를 갖게 최적화되고, 4극자 트리플렛은 주입될 웨이퍼 또는 기관에서 비-분산(수직) 및 분산(수평) 평면 모두에서 웨이퍼 또는 기관에서의 빔 크기 및 각도 발산의 최종적인 최적화를 제공하며, 이것은 에너지 및 전류의 범위에 걸쳐 추출 광학기기에 의해 도입된 빔 크기 및 각도에서의 변이를 보상하는 것을 포함한다.
- <35> 이온 주입기 빔 라인인 분석기 자석에 후속하고 4극자 렌즈에 앞서는 감속 유닛을 포함하고, 렌즈는 감속 유닛

에서 빔의 감속으로부터 야기되는 빔 발산을 제어하기 위해 제어되도록 적용된다.

- <36> 이온 주입기 빔 라인에 상기 클러스터 이온의 적어도 하나의 이온 빔을 생성하기 위한 이온 소스와 결합되고, 분석기 자석의 질량 선택 애퍼처는 동일한 클러스터 이온 종의 이온 질량의 범위를 전달하도록 조정되고, 4극자 렌즈의 렌즈 요소의 개별적인 자기장 세기는 다른 경우 이온 빔에서의 이온의 상이한 질량의 범위에 기인하게 발생하는 목표 기관에서 각도 편차를 동시에 그리고 실질적으로 제거하도록 조정된다. 빔 라인은 낮은 에너지, 높은 선량 주입 상태에서 붕소-함유 클러스터 이온의 높은 전류를 생성하도록 배열된다.
- <37> 이온 주입기 빔 라인은 4개의 강자성 코어 부분 주위에 개별적으로 감겨진 4개의 코일을 포함하는 자기 4극자 렌즈 요소를 갖고, 상기 코어 부분은 빔이 통과하는 비-강자성 물질의 진공 하우징에 침투하고 밀봉하는 강자성 극 부분에 고정되고, 인접한 코일은 4개의 극 사이의 영역에 4극 자기장을 생성하도록 반대 극성으로 감겨지고, 자기 플럭스는 강자성 요크 구조를 통해 자기적으로 결합되는 코어 부분을 통해 하나의 극에서 다른 극으로 복귀한다.
- <38> 이온 주입기 빔 라인은 4극자 렌즈에 후속하는 이온 빔을 스캔하도록 배열된 자기 스캐너와, 목표 기관에 걸쳐 빔의 평행한 스캐닝을 가능하게 하기 위해 스캐너와 협력하도록 구성된 시준기를 포함한다.
- <39> 이온 주입기 빔 라인은 실질적으로 다음 값의 빔 라인 특징 및 파라미터를 갖는다:
- <40> A. 분석기 자석: $R=500\text{mm}$, $\phi=120^\circ$; $G=118\text{mm}$; $s_1=31\text{mm}$; $s_2=8.6\text{mm}$; $h_1=8.7\text{mm}$; $h_2=4.7\text{mm}$; $W=166\text{mm}$; 휨 전력=80keV 옥타데카보렌.
- <41> B. 질량 선택 애퍼처: 최소 약 8mm에서 최대 약 38mm.
- <42> C. 4극자 트리플릿 집속 렌즈: 애퍼처: 극 팁 사이의 80 대각선; 조정가능한 0-5kGauss의 극 팁 자기장.
- <43> 또한 해당 피크 근처에 다량의 질량의 클러스터 이온의 주입을 가능하게 하기 위해 구성된 이온 주입기 빔 라인 구성을 특징으로 하며, 빔 라인 구성은 자석의 강자성 극과 질량 선택 애퍼처 사이에 극 간격을 한정하는 질량 분석기 자석을 갖고, 극 간격은 클러스터 이온을 생성하는 낮은 밀도의 이온 소스로부터 이온 빔을 수용하도록 크기를 갖고, 질량 선택 애퍼처는, 동일한 도펀트 종과 증분적으로 상이한 분자량을 갖는 클러스터 이온의 빔을 선택하도록 크기를 갖는 질량-선택 폭으로 설정될 수 있고, 이온 주입기 빔 라인은 다수의 4극자 집속 요소를 포함하는 분석기 자석에 후속하는 빔 라인의 부분에서의 다중-요소 집속 시스템을 포함하고, 렌즈 시스템의 렌즈 요소의 개별적인 자기장 세기는, 빔 단면의 직교 방향으로 빔의 치수를 제어하고, 다른 경우 이온 빔에서 클러스터 이온의 상이한 질량의 범위에 기인하여 발생하는 목표 기관에서 각도 편차를 동시에 그리고 실질적으로 제거하도록 조정된다.
- <44> 구현은 다음의 하나 이상의 특징을 가질 수 있다.
- <45> 이온 주입기 빔은 형성된 전자 빔을 이용하는 이온화 모델에 의해 최대 약 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류 밀도의 이온을 생성하도록 구성된 이온 소스와 결합되고, 이온 소스는 가스 및 가열된 증기의 형태인 공급 물질을 수용하도록 구성된다.
- <46> 질량 선택 애퍼처는 약 113 내지 약 123amu와 약 205amu 내지 약 220amu의 범위에서 질량을 갖는 이온을 선택하도록 설정될 수 있다.
- <47> 렌즈 시스템은 적어도 3개의 4극자 요소를 갖고, 4극자 자기장에 의해 빔 단면의 직교 방향으로 빔의 치수 및 각도 발산을 동시에 제어하도록 구성된다.
- <48> 렌즈 시스템은 4극자 트리플릿 집속 렌즈이다.
- <49> 렌즈는 자기 4극자 트리플릿 집속 렌즈이다. 이온 주입기 빔 라인은, 트리플릿의 제 1 렌즈 요소가 긴 프로파일 치수에서 집속하도록 하고, 제 2 렌즈 요소가 짧은 치수에서 집속하고 긴 치수에서 디포커싱 하도록 제 1 요소의 극성과 반대 극성을 갖도록 하고, 제 3 렌즈 요소가 제 1 요소와 동일한 극성을 갖도록 적용된 제어와 결합하여, 분석기 자석의 휨 평면에 접선 평면에서 빔 프로파일의 긴 치수를 갖는, 4극자의 트리플릿 집속 렌즈에 들어가는 연장된 단면 프로파일을 갖는 빔을 생성하도록 구성되고, 렌즈 요소의 자기장 세기는 각각 연장된 프로파일의 치수 모두에서 동시적인 집속을 달성하도록 제어된다.
- <50> 분석기 자석에 후속하고 렌즈 시스템의 4극자 렌즈 요소에 앞서는 감속 유닛이 포함되고, 이러한 4극자 렌즈 요소는 빔 발산을 제어하도록 제어되어, 이것은 감속 유닛에서 빔의 감속을 초래한다.

- <51> 4극자 트리플릿 렌즈는 감속 유닛에 후속한다.
- <52> 이온 주입기 빔 라인에 분석기 자석에 후속하는 감속 유닛을 포함하고, 감속 유닛은 한 쌍의 4극자 집속 요소 사이에 배치되고, 감속 유닛을 지나는 4극자 렌즈 요소는 빔 발산을 제어하도록 제어되고, 이것은 감속 유닛에서 빔의 감속을 초래한다.
- <53> 감속 유닛은 또한 이온 가속을 가능하게 하도록 구성된다. 이온 주입기 빔은 감속기 또는 가속기 및 후속하는 4극자 요소에 후속하는 적어도 하나의 자기 빔 라인 요소를 포함하고, 감속기 또는 가속기는 이온 빔에서 이온의 상이한 질량에 기여하여 자기 빔 라인 요소에서 발생하는 질량 분산을 오프셋하기 위해 상이한 질량을 갖는 이온 빔에서 이온의 교차(cross-over)를 가능하게 하도록 제어된다.
- <54> 이온 주입기 빔 라인에 자기 스캐너 및 자기 시준기가 후속하는 최종 에너지 자석을 갖고, 자기 스캐너 및 시준기는 동일한 방식으로 회전하고, 최종 에너지 자석은 반대 방식으로 회전한다.
- <55> 이온 주입기 빔 라인에 소스 추출 에너지로부터 상이한 에너지로 이온을 우치(post) 가속 또는 감속할 수 있는 질량 선택 애퍼처를 지나는 3개 전극 후치 가속기 구조를 포함하고, 후치 가속기의 중심 전극은 후치 가속기 영역을 통과할 때 이온 빔의 다양한 집속도를 얻기 위해 조정가능한 전압이 공급되도록 연결되고, 4극자 요소는 후치 가속기의 어느 한 측면 상에 위치하고, 후치 가속기에 후속하여, 후치 가속(또는 감속) 동안 부정확한 에너지로 생성된 이온 또는 중성 입자를 제거하기 위한 최종 에너지 자석이 있고, 최종 에너지 자석에 뒤이어 스캐너 자석과 동일한 방식으로 빔을 휘는 시준기 렌즈에 관련하여 작용하는 자기 스캐너가 후속하고, 후치-가속기 집속 전극과 관련하여 4극자 요소의 세기는 목표 기관에서 빔 크기 및 각도 발산을 최적화하도록 조정되고, 다른 경우 다수의 질량 이온의 존재로 인해 발생하는 각도 편차를 최소화한다.
- <56> 후치-가속기 집속 전극과 관련하여 4극자 요소의 세기는 빔에서 다수의 질량 이온의 존재에 기여하여 목표 기관에서 이온 빔의 확장을 실질적으로 제거하기 위해 최종 에너지 자석에 관해 조화롭게 조정된다.
- <57> 질량 분석기 자석의 간격은 분석기 자석의 휨 평면에 수직 방향으로 최소 적어도 80mm의 단면 치수의 이온 소스 추출 애퍼처로부터 이온 빔을 수용하도록 크기를 갖는다.
- <58> 분석기 자석의 질량 선택 애퍼처는 약 8 내지 약 38mm의 폭의 애퍼처에 조정가능하다.
- <59> 이온 주입기 빔 라인에 적어도 10mm 폭의 슬롯-형태의 이온 소스 추출 애퍼처로부터 추출된 빔을 질량 선택 애퍼처에서 집속하도록 구성된다.
- <60> 분석기 자석의 극 간격은 통과하도록 구성되는 최대 크기의 이온 빔의 대응하는 치수보다 실질적으로 더 넓고, 극 면과 빔 경로 사이에 그래파이트 또는 실리콘의 라이닝이 있다.
- <61> 극 간격을 한정하는 극 부재는, 빔의 극 간격 치수 및 단면 치수에 관해 비교적 작은 극 폭의 이용을 가능하게 하는 방식으로 자기장을 성형하기 위해 빔 경로의 중간 평면쪽으로 극 표면을 각각 하강 및 상승시키는 트렌치 및 심으로 성형된 극 면을 갖는다.
- <62> 극 간격을 한정하는 극 부재는 분석기 자석의 자기장을 받는 동안 이온 빔이 통과하는 자기 물질의 진공 하우징의 벽에 내장되고 이에 밀봉되고, 극 부재 사이의 자석의 강자성 구조는 진공 하우징의 외부에 위치한다.
- <63> 분석기 자석은 약 500mm의 반경을 갖는 섹터 자석이고, 약 10kGauss를 초과하는 자기장을 포함하는 극 간격에서 조정가능한 자기장을 생성하도록 구성된다.
- <64> 빔 라인에 옥타데카보란으로부터 생성된 약 80keV 이온을 선택하도록 구성된다.
- <65> 질량 분석기는 약 400mm보다 더 큰 반경(R)과, 약 90도보다 더 큰 섹터 각(ϕ)과, 유효 극 출구 경계로부터 질량 분해 애퍼처(b) 사이의 약 200mm의 거리(b)를 갖는 섹터 자석을 포함한다. 섹터 자석의 반경(R)은 약 500mm이고, ϕ 는 약 120도이고, b는 약 195mm이고, 상기 분석기 자석은 약 12.5mm의 추출 애퍼처 폭을 갖는 소스로부터 이온 빔을 분석하도록 구성된다.
- <66> 임의의 이전 설명의 이온 주입기 빔 라인에 전자 충돌에 의해 클러스터 이온을 생성하기 위해 물질을 이온화할 수 있는 이온 소스를 갖고, 상기 주입기는 진공 하우징 내에서, 질량 분석기 자석에 후속하는 스캐너 및 시준기와, 중성화된 음의 이온을 빔에 제공하기 위해 클러스터 이온 빔과 상호작용함으로써 음의 이온을 형성할 수 있는 가스를 스캐너 또는 시준기의 진공 하우징의 영역 안에 인입(admitting)시키기 위한 시스템을 갖는다.
- <67> 본 발명의 다른 양상은 전자-충돌 이온화에 의해 클러스터 이온을 생성하기 위해 물질을 이온화할 수 있는 이온

소스와 결합된 이온 주입기 빔 라인이고, 상기 빔 라인, 연관된 진공 하우스 부분 내에 그리고 주입 스테이션에 선행하여, 클러스터 이온 빔을 형성하기 위해 이온 소스로부터 이온을 추출할 수 있는 추출 전극 조립체와, 빔을 위한 질량 분석기 자석과, 중성화된 음의 이온을 빔에 제공하기 위해 분석기 자석의 하류에서, 클러스터 이온 빔과의 상호 작용에 의해 음의 이온을 형성할 수 있는 가스를 제공하기 위한 시스템과 결합된, 분석된 빔이 통과하는 이온 빔 스캐너 및 이온 빔 시준기를 포함한다.

- <68> 본 발명의 다른 양상은 주입에 적합한 종의 이온을 생성하기 위해 물질을 이온화할 수 있는 이온 소스와 결합된 이온 주입기 빔 라인이고, 상기 빔 라인, 연관된 진공 하우스 부분 내에 그리고 주입 스테이션에 선행하여, 상기 종의 이온의 빔 형성하기 위해 이온 소스로부터 이온을 추출할 수 있는 추출 전극 조립체와, 빔을 위한 질량 분석기 자석과, 중성화된 음의 이온을 빔에 제공하기 위해 분석기 자석의 하류에서, 이온 빔과의 상호 작용에 의해 음의 이온을 형성할 수 있는 가스를 제공하기 위한 시스템과 결합된, 분석된 빔이 통과하는 이온 빔 스캐너 및 이온 빔 시준기를 포함한다.
- <69> 그러한 가스의 제공을 갖는 이온 주입기 빔 라인의 구현은 다음의 하나 이상의 특징을 가질 수 있다.
- <70> 가스는 SF₆이다.
- <71> SF₆ 가스는 약 5x10 내지 -7 내지 10 내지 -5 torr 사이의 압력으로 제공된다.
- <72> 소스 추출 에너지로부터 낮은 에너지로 이온을 후치 감속시킬 수 있는 자기 분석기를 지나 후치 가속기 구조가 있다.
- <73> 또한, 질량 선택 애퍼처가 평행한 편심 축 주위의 동기화된 회전을 위해 장착된 한 쌍의 역-회전가능한 원통형 표면에 의해 한정되는 이온 주입기 빔 라인을 위한 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 제공하는 디바이스를 특징으로 한다.
- <74> 바람직한 구현은 다음의 하나 이상의 특징을 갖는다.
- <75> 원통형 표면의 적어도 하나는 수냉되고, 그래파이트 또는 실리콘의 그래파이트 커버링을 지지한다.
- <76> 디바이스는 비철 물질의 2개의 기어링된(gear) 역-회전 편심 수냉 증공 실린더를 포함하고, 각 실린더는 그래파이트 또는 실리콘의 각 슬리브에 의해 커버되고, 실린더는 이온 주입기의 빔 라인과 정렬된 조정가능한 질량 선택 애퍼처를 생성하는 평행한 편심 축 상에서 역-회전하도록 장착된다.
- <77> 디바이스는, 이온 주입을 위한 최소의 분해 슬릿 폭을 포함하는 분해 슬릿 폭과, 최소 분해 슬릿 폭의 약 4 내지 6배의 폭을 제공하도록 구성되고, 바람직하게 디바이스는 적어도 약 38mm의 최대 이온 선택 슬릿 폭을 갖는다.
- <78> 설명된 특징을 구현하면, 상업용 이온 주입기를 위한 빔 라인 및 이온 소스 시스템이 제공되고, 60nm 이하의 임계 치수를 갖는 집적 회로를 제조하는데 필요한 높은 선량의 낮은 에너지 주입물의 요구를 충족시킬 수 있다. 소스로부터 생성된 B₁₀H_x⁺ 또는 B₁₈H_x⁺의 강한 붕소 수소화물 이온 빔은 폴리-게이트 및 소스 드레인 연장 주입과 같은 낮은 에너지의 높은 선량을 위한 상업적으로 허용가능한 웨이퍼 처리량을 달성하는데 사용된다. 이온 소스로부터 웨이퍼로의 빔 전달 요소는, 2-4keV의 주입 에너지에서 30pA보다 크고 200eV만큼 낮은 에너지에서 3pA보다 큰 웨이퍼 붕소 전류를 달성하도록 적응된다. 이들 높은 전류는 웨이퍼 바로 전에 감속을 필요로 하지 않고 낮은 에너지에서 얻어진다. 따라서, 웨이퍼 또는 다른 목표 표면 상에 충돌하는 빔은 에너지에 대해 매우 순수하고, 일반적으로 얇은 접합 주입을 저하시킬 수 있는 높은 에너지 구성요소를 갖지 않는다.
- <79> 다수의 4극자 빔 집속 요소(예를 들어, 자기 4극자 트리플릿)는, 다른 경우 선택된 붕소 수소화물 이온 빔에서 상이한 질량의 범위로 인해 발생하는 목표 표면에서 각도 편차를 피하기 위해 이온 주입 빔 라인의 질량 분산 특성을 보상한다.
- <80> 본 발명의 이러한 양상의 바람직한 구현은 다음의 하나 이상의 특징을 갖는다.
- <81> 매우 높은 전류의 붕소 수소화물 이온 소스가 이용되고, 붕소 수소화물 증기를 이온화하기 위해 높은 밀도 플라즈마가 아닌 형성된 전자 빔을 이용한다.
- <82> 분석기 자석은 이온 소스의 큰 애퍼처(예를 들어, 12.5mm 폭 x 100mm 높이)로부터 빔을 수용하도록 큰 작용(working) 애퍼처를 갖는다.

- <83> 분석기 자석은 4keV 입자 붕소 주입 에너지(또는 테카보란의 경우에 7keV)에 대응하는 80keV 옥타테카보란 이온을 분석할 수 있도록 구성된다.
- <84> 빔 라인은 웨이퍼 바로 앞에 감속을 이용할 필요 없이 드리프트 모드에서 높은 빔 전류를 달성하도록 구성되어, 이에 따라 감속 이전 또는 감속 동안 중성화된 더 높은 에너지 입자의 바람직하지 않은 주입을 피하게 된다.
- <85> 넓은 소스 슬릿 폭과 관련하여, 분석기 자석 시스템은 사용될 종래의 붕소 수소화물 이온 뿐 아니라 종래의 이온이 사용되는 것을 가능하게 하도록 충분히 높은 질량 분해능($m/\Delta m > 60$)을 갖는다.
- <86> 붕소 수소화물 이온을 이용함으로써 얻어진 높은 웨이퍼 처리량 성능을 갖는 빔 라인과 함께, 빔 라인 시스템은 예를 들어 12.6amu-MeV의 질량-에너지 성능을 갖는 80keV의 최대 에너지까지 종래의 1가의 이온을 전달할 수 있도록 구성된다.
- <87> 빔 라인은, 사실상 60nm 이하의 임계 치수를 갖는 디바이스에 대한 디바이스 제작비를 최소화하는 넓거나 또는 심지어 완전히 이용가능한 틀의 요건을 충족시키기 위해 종래의 이온 및 붕소 수소화물 이온 모두를 제공할 수 있는 범용의 이온 소스가 설치된다.
- <88> 본 발명의 다른 양상에 따라, 방금 설명한 시스템은 100-200Hz의 범위의 주파수에서 웨이퍼에 걸쳐 이온 빔을 평행하게 자기적으로 스캐닝하도록 구성된다.
- <89> 본 발명의 다른 양상에 따라, 다수의 4극자 빔 집속 요소(예를 들어, 자기 4극자 트리플릿)는 다른 경우 선택된 붕소 수소화물 이온 빔에서 상이한 질량의 범위로 인해 발생하는 목표 표면에서 각도 편차를 피하기 위해 이온 주입 빔 라인의 질량 분산 특성을 보상하고, 상기 빔 라인 시스템은 분산 요소가 후속하는 이온 빔 경로에서 교차점을 갖고, 시스템은, 다른 경우 다수의 질량 이온의 존재로 인해 발생하는, 각도 편차 뿐 아니라 목표 표면에서 빔의 수평 확장을 실질적으로 제거하도록 구성된다.
- <90> 이전 설명 및 특징의 하나 이상의 실시예에 대한 세부사항은 첨부 도면 및 아래의 설명에서 설명된다. 본 발명의 다른 특징, 목적 및 장점은 상세한 설명 및 도면과, 청구범위에서 명백해질 것이다.

실시예

- <113> 동일한 부분이 동일한 참조 번호 및 악센트 부호를 붙인 동일한 참조 번호로 기능적으로 유사한 부분으로 표시되는 도면을 이제 참조하면, 도 1은, C, Si, Ge, 및 Sn의 IV족 요소의 어느 한 측면 상의 주기율표에 놓인 요소 B, P, As, Sb, 및 In와 같은 전기 도펀트 종의 다수의 원자를 포함하는 분자 이온을 효과적으로 주입하기 위해, 그리고 또한 예를 들어 비결정질화, 도펀트 확산 제어, 응력 엔지니어링, 또는 결함 제거를 달성하기 위해 반도체 기판을 변형시키는데 유용한 C, Si, 또는 Ge와 같은 원소의 다수의 원자를 포함하는 분자 이온을 효과적으로 주입하기 위해 유용한 이온 주입기 빔 라인의 일실시예를 개략적으로 도시한다. 그러한 분자 이온은 60nm 이하의 임계 치수를 갖는 집적 회로를 제조하는데 유용할 수 있다. 이후부터, 그러한 이온은 집합적으로 "클러스터" 이온으로 불릴 것이다.
- <114> 단일 대전된 클러스터 이온의 화학 조성물은 일반적인 형태인 $M_mD_nR_xH_y^+$ 를 갖고, 여기서 M은 기판의 물질 변형에 유용한 C, Si, 또는 Ge과 같은 원자이고; D는 전하 캐리어를 기판에 주입하기 위한 B, P, As, Sb, 또는 In(주기율표의 III 또는 IV족으로부터)과 같은 도핑 원자이고; R은 라디칼, 라이간드(ligand), 또는 분자이고; H는 수소 원자이다. 일반적으로, R 또는 H는 안정성 이온을 생성하거나 형성하는데 필요하고 특히 주입 공정에 필요하지 않은 완전한 화학적 구조의 부분으로서 간단히 존재한다. 일반적으로, H는 주입 공정에 크게 해롭지 않다. 이와 동일한 것은 R에 대해서도 그러하다. 예를 들어, R이 Fe와 같은 금속 원자, 또는 Br과 같은 원자를 함유하는 것은 바람직하지 않다. 상기 화학식에서, m, n, x, 및 y는 모두 0 이상의 정수이고, m과 n의 합은 2 이상인데, 즉 $m+n \geq 2$ 이다. 이온 주입에서 특정한 관심이 있는 것은 높은 M 및/또는 D 원자 다양성을 갖는 클러스터 이온, 즉 $m+n \geq 4$ 를 갖는 클러스터 이온인데, 이는 낮은 에너지, 높은 선량 주입에 비해 개선된 효율을 갖기 때문이다.
- <115> 물질 변형에 사용될 수 있는 클러스터 이온의 예는 $C_7H_y^+$, $C_{14}H_y^+$, $C_{16}H_y^+$, 및 $C_{18}H_y^+$ 와 같은 인접하는 벤젠 링으로부터 유도된 것이다. 도핑에 사용될 수 있는 클러스터 이온의 예는 다음과 같다:
- <116> - 보로하이드라이드 이온: $B_{18}H_y^+$, $B_{10}H_y^+$,

- <117> - 카보렌 이온: $C_2B_{10}H_y^+$ 및 $C_4B_{18}H_y^+$,
- <118> - 인 하이드라이드 이온: $P_7H_y^+$, $P_5(SiH_3)_5^+$, $P_7(SiCH_3)_3^+$,
- <119> - 비소 하이드라이드 이온: $As_5(SiH_3)_5^+$, $As_7(SiCH_3)_3^+$.
- <120> 당업자는, 위의 예에 기술된 것 이외의 다음과 같은 클러스터 이온을 사용하는 가능성을 인식할 것이다: 물질 변형을 위한 Si 및 Ge를 함유하는 이온, 도펀트 원자의 상이한 양 및 상이한 동위 원소를 갖는 이온, 및 상이한 이성체 구조를 갖는 이온. 이중 대전된 클러스터 이온은 또한 일반적으로 훨씬 더 적은 수율로 형성되며, 이 경우에 이러한 이중 대전된 클러스터 이온은 높은 선량, 낮은 에너지 주입에 유용하지 않다.
- <121> 본 발명의 분야는 또한 공통적으로 사용된 단일 원자 도펀트 이온에 적합한 주입기 빔 라인 구성에 관한 것으로, 특히 전술한 이온의 모든 3개의 클래스를 주입하는데 유용한 다목적 주입기 빔 라인 구성에 관한 것이다.
- <122> 이온은, 추출 전극(14)과 이온 소스 챔버(10) 사이에 인가된, 일반적으로 1kV 내지 80kV의 범위에 있는 가속 전압(V_e)(13)에 의해 애퍼처(12)를 통해 이온 소스 바디(11) 내부의 이온 소스 챔버(10)로부터 추출된다. 후방-스트리밍(back-streaming) 전자는 이온 소스 진공 하우징(15)과, 절연된 공급 구멍(feed-through)(8)을 통하는 억제기 전극(7)에 대해 2 내지 10kV의 음의 전압(V_s)을 추출 전극(14)에 인가함으로써 억제된다. 억제기 전극(7)은 이온 소스 진공 하우징(15)과 동일한 전위에 있다. 이온 소스 바디(11)는 고리형 절연체(16)에 의해 이온 소스 진공 하우징(15)으로부터 절연된다. 하나의 유용한 상업적 실시예에서, 애퍼처(12)는 $w_s=12.5\text{mm}$ 의 폭과 $h_s=100\text{mm}$ 의 높이를 갖게 슬롯 성형된다. 그러한 애퍼처 폭은, B^+ , P^+ , As^+ , BF_2^+ 등과 같은 종래의 이온을 생성하는데 공통적으로 사용된 이온 소스에 일반적으로 사용된 약 3-5mm의 범위보다 더 크다. 125mm^2 의 총 면적을 제공하는, 큰 이온 소스 애퍼처 폭 및 높이의 목적은 클러스터 이온을 추출할 넓은 영역을 제공하는 것이다. 이것은, 클러스터 이온을 생성하는데 유용한 하나의 유형의 소스(도 14 내지 도 16b 및 관련 설명을 참조)에 대해, 이온의 밀도가 챔버(10) 내에서 낮으므로, 이온 소스가 클러스터 이온이 생성되는 증기를 이온화하기 위해 높은 밀도의 플라즈마보다는 형성된 전자 빔을 이용하기 때문이다. 예를 들어, 그러한 유형의 이온 소스는 소스에서 붕소 수소화물 증기를 많이 분해하지 않고도 붕소 수소화물 이온을 생성할 수 있고, 애퍼처(12)가 큰 크기를 가지면서, 매우 높은 선량의 이중 폴리게이트 구조 및 중간 선량이지만 매우 낮은 에너지 붕소 소스 드레인 연장 주입에 대한 현재 중요한 상업적 웨이퍼 처리량 요건을 충족시킬 수 있는 높은 붕소 수소화물 이온 전류를 생성할 수 있다.
- <123> 일반적으로 약 10^{-6} 내지 10^{-4} torr 사이의 진공은 진공 펌프(17)에 의해 이온 소스 진공(15) 하우징에 유지된다. 도 11을 참조하면, 추출 전극(14)과 이온 소스 바디(11)와 애퍼처(12) 사이에 생성된 전기장은 이온 소스 애퍼처 높이(h_s)의 치수와 유사한 높이 치수, 및 이온 소스 애퍼처(12)의 폭(w_s)(5)의 절반(즉, $w_b \approx 0.5w_s$)과 거의 동일한 최소 폭(w_b)(56)을 갖는 이온(19)의 대략 모노-에너지(mono-energetic) 리본 형태 빔을 형성한다. 이러한 폭(w_b)은 이온 소스 애퍼처(12) 및 추출 전극(14)의 영역(59)에 위치한다. 이온 소스 애퍼처와 추출 전극 사이의 간격(d)(57)은 일반적으로 주어진 이온 종, 이온 에너지, 이온 질량, 및 이온 빔 전류에 대한 빔 형성 및 추출을 최적화하도록 조정된다.
- <124> 이온 소스(11)로부터의 추출 이후에, 빔(19)은 진공 하우징(20) 안으로 통과하고, 그런 후에 빔 엔벨로프가 타원형이 되는 쌍극자 자석(21)의 자기장 간격(G)에 들어간다(도 1 및 도 2 참조). 자석(21)은 전류 운반 코일(40), 및 다음의 강자성 구성요소 부분: 극(26), 코어(28), 요크 치크(cheek)(30), 요크 리턴(return)(32 및 34)으로 구성된다. 특히 도 2를 다시 참조하면, 코일 조립체(40)를 통해 DC 전류를 통과시키는 것은 일반적으로 극(26) 사이의 간격에서 수직 방향으로 정적 자기장(24)을 생성하는데, 여기서 "수직"은 소스 애퍼처(12)의 긴 방향의 방향으로 정의되고, 도 1 및 도 2에 도시된 실시예에서, 이러한 방향은 자석(21)의 일반적으로 "수평" 횡(분산) 평면에 직교이다.
- <125> 이온 소스(11)로부터의 가스 방전은 이온 소스 하우징 상에 위치한 진공 펌프(17)에 의해 제거된다. 진공 펌프는 이온 소스 하우징(15)에서의 진공 압력을 약 10^{-6} 내지 3×10^{-5} torr 사이에 유지하는데 충분한 용량(예를 들

어 1000 내지 2000 리터/초)을 갖는다. 이온 소스(10, 11)의 유지보수의 용이함을 위해, 이온 소스 하우징(15)은 진공 밸브(23)를 통해 자석 진공 하우징(20)으로부터 절연될 수 있다. 자석 하우징(20)은 자석 바디와의 자기 상호작용을 방지하기 위해 비-강자성 물질(예를 들어 알루미늄)로 되어 있다. 이것은 진공 펌프(29)에 의해 배출된다.

<126> 이온의 전하 상에 작용하는 자기장(24)에 의해 생성된 방사상 힘(radial force)은 이온이 자석(21)의 수평 횡평면에서 실질적으로 원형의 경로(42, 43, 44)를 나타내도록 한다. 이온 소스 챔버(10)로부터 추출된 이온 모두가 대략 동일한 에너지를 갖기 때문에, 자석(21)은 자석 극 간격에서 중심 경로(46)를 따라 이동하는 이온(42)보다 각각 더 높고 낮은 질량을 소유하는 이온(43 및 44)의 궤적을 공간적으로 분리시킨다. 자석을 적절히 크게 구성함으로써, 자기장(24)은 1kGauss 미만으로부터 약 12kGauss까지의 범위에 설정될 수 있고, 자기장은 중심 경로(46)에 후속하여 이온(42)에 대응하는 주어진 질량을 선택하도록 넓은 범위의 질량에 걸쳐 조정될 수 있다. 일실시에에서, 중심 경로(46)는 대략 500mm의 반경을 갖는데, 이 경우에 대략 12kGauss의 자기장에서, 자기 분석기는 4keV 붕소 주입 에너지에 대응하는 옥타데카보란($B_{18}H_{22}$) 증기로부터 생성된 80keV 이온을 선택할 수 있고, 이러한 붕소 주입 에너지는 일반적으로 현재 이중 폴리에이트 도핑에 필요한 가장 높은 에너지이다. 이와 마찬가지로, 7KeV 붕소 주입 에너지에 대응하는 데카보렌($B_{10}H_{14}$) 증기로부터 생성된 80KeV 이온을 선택할 수 있다.

<127> 도 1 및 도 11을 참조하면, 일반적으로 추출 전극(14)으로부터 나타나는 이온(42)의 경로는, 이온 소스 챔버(10)에서의 원래 지점에서 이온의 열 운동과 같은 그러한 인자와, 유사한 전하의 이온 사이에 작용하는 쿨롱 힘에 기여할 수 있는 중심 기준 경로(46)에 대해 약 -50밀리라디안 내지 +50밀리라디안 사이로부터 수평 평면에서 각도 범위를 갖는다. 일실시에에서, 극(26)의 형태는, 질량 선택을 가능하게 하기 위해 선택된 질량의 이온 경로가 자석의 출구에서 슬릿-형태 질량 분해 애퍼처(50)쪽으로 수평 평면에서 제-수렴하도록 선택되도록 하는 간격에서 자기장(24)을 생성한다. 자기 분석기(21)의 본 실시예의 중요한 양상은, 이러한 질량 선택 애퍼처(50)가 횡단, 수평 이온 운동에 대해 애퍼처 폭(12)의 이온 광학적 컨주게이트 이미지 근처에 있는 빔 경로를 따라 일정 지점에 위치한다는 것이다. 컨주게이트 이미지의 광학 배율(M)은 일반적으로 약 -0.8 내지 -1.2인데, 음의 부호는 실제 반전된 이미지의 형성을 암시한다. 질량 분해 슬릿(50)의 폭이 이온 빔 허리(waist) 폭($w_b \approx 0.5w_s$)과 배율(M)을 곱한 값과 동일한 값(w_r)으로 설정되면, 즉,

수학식 1

<128> $w_r \approx 0.5|M|w_s$

<129> 약 -50밀리라디안 내지 +50밀리라디안의 수평각 내에서 이온 소스(11)로부터 나타나는 선택된 질량(m)의 이온(42) 대부분은 분해 슬릿(50){진공 하우징(20)에서 잔여 가스와의 충돌을 통해 편향되거나 중성화되는 이온의 작은 백분율과 별도로}을 통해 집속될 것이다.

<130> 도 6을 참조하면, 자기 분석기 시스템(21)의 특성은, 질량 분해 애퍼처(50)에서, 질량($m \pm \Delta m$)(102, 103)의 이온이 중심 빔 경로(46)를 따라 이동하는 선택된 질량(m)(104)의 이온으로부터의 거리(Δx)(101)만큼 분리되는 빔을 분산시킨다는 것이다. 원하지 않는 이온 질량은 도시되지 않은 블로킹 플레이트(blocking plate)에 의해 또는 애퍼처(50)를 형성하는데 사용된 물질의 바디(51)에 의해 차단될 수 있다. 종래의 1가의 도펀트 이온의 경우에, $m/\Delta m \geq 60$ 의 질량 분해능이 일반적으로 필요한데- 이것은 소위 질량 60amu의 이온이 분해 애퍼처(50)의 중심을 통과하는 경우, 질량 ≥ 61 amu 또는 질량 ≤ 59 amu의 이온이 거부된다는 것을 의미한다. 쌍극자 자석에서의 집속 및 분산 효과의 원리는, Enge, Focusing of Charged Particles, Chapter 5.2 Deflecting Magnets, Ed. A. Septier, pp 203-264에 의해 구체적으로 기재되어 있다.

<131> 도 3 및 도 6을 참조하면, 빔 중심 경로(46)가 출구 극 에지(49)에 실질적으로 직교하고, 중심 경로(46) 주위의 빔(22)의 영역에 걸쳐 극(46) 사이의 자기장이 실질적으로 균일하고 수직인 경우에, $\Delta m/m$ 의 질량 편차에 대한 분리(Δx)는 대략 다음과 같다:

수학식 2

<132> $\Delta x = D(\Delta m/2m)$

<133> 여기서 D는 자석 분산이고, 다음과 같이 주어진다:

수학식 3

<134> $D \approx R(1 - \cos\phi) + b \sin\phi$

<135> 상기 수학식에서, R은 중심 경로(46)의 반경(53)이고, ϕ 는 이온이 중심 경로(46)를 따라 자석을 통과할 때 휘어지는 각도(54)이고, b(55)는 출구 극의 유효 자기장 경계로부터 질량 분해 애퍼처(50)로의 거리이다. w_r 의 분해 애퍼처 폭으로 $m/\Delta m$ 의 질량 분해를 달성하기 위해, 수학식 1 내지 3으로부터 다음이 얻어진다.

수학식 4

<136> $m/\Delta m = D/2w_r \approx D/|M|w_s \approx \{R(1 - \cos\phi) + b \sin\phi\}/|M|w_s$

<137> 전술한 바와 같이, 큰 소스 애퍼처 폭(w_s)은 높은 붕소 수소화물 이온 전류를 추출하고 이중 폴리케이트 및 소스 드레인 연장 붕소 주입에 대한 현재 웨이퍼 처리량 요건을 충족시키는데 필요하다. 그러한 자기 분석기 실시예의 중요한 양상은, 이러한 실시예가 심지어 큰 소스 애퍼처 폭(w_s)의 경우에서, 종래의 이온을 또한 이용하기 위해 충분히 높은 질량 분해능을 갖는 다목적 시스템을 제공하는 것이다. 수학식 3을 참조하면, 이것이 충분히 큰 반경(R) 및 휨 각도(ϕ)를 이용함으로써 달성될 수 있다는 것을 알게 된다. 하나의 유용한 상업적 실시예에서, R=500mm, $\phi=120^\circ$, b=195mm, 및 M=-0.83이고, 이 경우에, $w_s=12.5\text{mm}$ 의 소스 애퍼처 폭에 대해, 질량 분해능은 $m/\Delta m \approx 88$ 이므로, 종래의 이온에 대해 충분하다. 큰 휨 각도(ϕ)를 이용하는 중요성은, D/R이 b=195mm의 컨주게이트 이미지 위치에 있어서 ϕ 에 대해 그려지는 도 7에 도시된다. 60° 내지 120° 의 휨 각도를 2배로 하는 것은 분산(D), 이에 따라 질량 분해능($m/\Delta m$)을 2배 이상으로 한다.

<138> 도 8a 및 도 8b를 참조하면, 빔이 통과하는 극(26) 사이의 공간은 간격 높이(G)(106)를 갖는데, 이러한 간격 높이는, 일반적으로 자석을 통과하는 빔의 깨끗한 통과를 제공하고 또한 예를 들어 그래파이트(116) 또는 실리콘으로 극 표면이 라인닝되도록 하여, 빔 충격에 의해 강자성 극 물질로부터 스퍼터링되는 바람직하지 않은 중금속 불순물을 제거하기 위해 소스 애퍼처의 높이(h_s)보다 높은 약 10 내지 20m 사이에 있다. 주어진 최대 자기장 성능에 대해, 자석의 질량은 간격에서 작용 자기장 볼륨(V)에 비례하고, 이것은 다시 극을 통과하는 경로 길이(ϕR)와, 간격 치수(G)와, 극 폭(W)을 곱한 것인데, 즉,

수학식 5

<139> $V \approx \phi R G W$

<140> 넓은 소스 슬릿(w_s)에 대한 질량 분해능($m/\Delta m \geq 60$)을 실현하기 위해 높은 분산의 요건이 ϕ 및 R의 큰 값을 요구한다는 것은 이미 수학식 3으로부터 관찰되었다. 둘째, 높은 붕소 수소화물 이온 전류를 실현하기 위해, 간격(G)은 큰 높이의 소스 애퍼처로부터 이온을 수용할 정도로 커야 한다.

<141> 집합적으로, 이들 요건은 적절히 높은 작용 자기 볼륨 및 이에 따라 높은 자석 질량으로 수학식 4에 따라 실현될 수 있다. 마지막으로, 80keV 옥타데카보란을 이용하여 이중 폴리케이트 주입에 대해 4keV 붕소 주입을 수행할 수 있기 위해, 요크 및 코일 질량은 심지어 R=500mm의 휨 반경의 경우에서조차 12kGauss이어야 하는 간격에서의 대응하여 높은 자기장을 지지할 정도로 충분히 높아야 한다. 수학식 4에 따라, 작용 자기 볼륨(V)을 최소화하는데 이용가능한 유일한 수단은 극 폭(W)(108)을 최소화하는 것이다. 부적절하게, 폭은 간격 치수(G)(106)에 관해 임의로 감소될 수 없고, 다른 경우 2차 이상의 항에 대해 빔(22)의 단면 치수가 간격 자기장에서 전개하여, 질량 분해 애퍼처(50)에서 빔을 확장하는 것으로부터 수차를 생성하고, 이것은 사실상 질량 분해 전력을 감소시킨다. 하나의 유용한 상업적 실시예에서, 도 8a 및 도 8b에 도시된 바와 같이, 극(26)의 외부 에지는 중간 평면(117)쪽으로 극(26)의 표면을 각각 하강 및 상승시키는 트렌치(112) 및 심(111)으로 형성된다. 각 측면에 하나씩 있는 2개의 심은 전체 영역에 대해 폭(s_1)(107) 및 높이(h_2)(115)를 갖는다. 각 심의 바로 안쪽으로 위치한 2개의 트렌치는 심의 상부에 대해 폭(s_2)(109) 및 깊이(h_1)(114)를 갖는다. 이러한 기술은, 상당히 더 작은 극 폭(W)(108)이 간격 치수(G)(106)에 대해 사용되도록 하는 것으로 밝혀졌고, 빔(22)의 단면 치수는 분해 애퍼처(50)에서 빔을 확장시키는 것으로부터 제 2, 제 3, 및 제 4차 수차를 방지하기 위해 작용 간격에서 자기장 형태의 적절한 제어를 유지한다.

- <142> 제 3차 수차를 추가로 제어하기 위해, 다른 실시예는 도 8a의 극의 좌측 및 우측 상에 약간 상이한 트렌치 및 십 파라미터를 이용할 수 있다.
- <143> 118mm의 공칭상 균일한 간격(G) 및 166mm의 극 폭(w)을 갖는 예시된 예는 극 면을 커버하는 그래파이트 또는 실리콘의 라이너(116)를 위한 공간을 제공하면서 이온 소스 애퍼처로부터 나타나는 빔을 수용하는데 충분하다.
- <144> 예에서, 간단하고 강력한 설계를 달성하기 위해, 자석의 입구 및 출구 극 예지는 빔 축에 접선이고, 자석의 작용 간격에서 상당한 제 1차 자기장 경사도는 없다(즉, 자석은 비-분산의 수직 평면에서 어떠한 집속도 생성하지 않고, 이것은 전술한 다른 준비에 의해 다루어진다). 따라서, 분산 평면에서, 소스 물체 및 질량 분해 애퍼처(50)에 대한 컨주게이트 이미지 지점은 Barber의 규칙에 의해 간단히 결정된다(Enge, Focusing of Charged Particles, Chapter 4.2 Deflecting Magnets, Ed.A. Septier, pp 203-264를 참조). 특정 예에서, 물체 소스 지점은 유효 입구 자기장 경계 앞에 400mm에서 설정되고, 질량 분해 애퍼처는 자석의 유효 출구 자기장 경계로부터 $b=195\text{mm}$ 에 있다. 400mm의 물체 거리는 고속의 진공 펌핑을 할 수 있는 펌프(17), 인-라인 진공 절연 밸브(23), 및 넓은 에너지 범위의 추출 광학기기 시스템(14,7)에 대한 공간을 제공한다.
- <145> 이러한 설계가 넓은 범위에 걸쳐 뛰어난 성능을 제공하지만, 본 발명의 가장 넓은 양상에 대해, 자기 분석기 시스템은 전술한 설명에 한정되지 않아야 한다. 당업자는 원하는 다목적 능력, 즉 집속, 수차 및 분산을 제어하기 위해 제 1차 및 2차 경사도로 균일하지 않은 극 사이의 자기장의 이용; 휨 각도, 반경, 극 사이의 간격, 및 자기장 범위의 선택; 자기 입구에 대한 이온 소스의 위치; 자석 출구에 대한 질량 분해 애퍼처의 위치 및 크기와 컨주게이트 이미지 지점에 대한 정확한 위치; 및 질량 분해 애퍼처에서 확장되는 2차 및 그보다 더 높은 차수의 이미지를 최소화하기 위해 특정 극 형태의 심 및 트렌치의 선택을 포함하는 능력을 제공하기 위해 분석기 광학기기의 다양한 구현을 이해할 수 있다.
- <146> 클러스터 이온의 종종 직면하는 특성과, 도핑 종의 많은 원자를 포함하는 붕소 수소화물 이온이 사용될 때 나타나는 특성은, 이온이 상이한 수의 수소 원자 및 이에 따라 상이한 질량으로 생성된다는 것이다. 도 9를 참조하면, 도 14 및 도 15a를 참조하여 아래에 더 구체적으로 설명되는 바와 같이 형성된 전자 빔을 이용하는 유형의 이온 소스에서 옥타데카보란 $B_{18}H_{22}$ 을 이온화함으로써 생성된 이온의 높은 분해능 질량 스펙트럼은, 이온 질량의 범위가, 상이한 양의 수소 원자를 포함하는 단일 대전된 이온의 형성 및, 또한 이온에서 18개의 붕소 원자를 구성하는 2개의 동위 원소인 붕소 질량의 상이한 혼합물에 대응하여 발생한다는 것을 보여준다. 높은 이온 전류를 달성한다는 관점에서부터, 생성된 이온의 총 개수가 넓은 범위의 질량 피크에 걸쳐 확산되므로, $m/\Delta m \approx 16$ 에 대응하는, 약 205amu 내지 약 220amu의 질량으로부터 모든 이온을 수용하는 것이 유용하다는 것은 도 9에서의 스펙트럼으로부터 명백하다. 분해 애퍼처(50)를 통해 질량의 이러한 전체 범위를 전달하기 위해, 질량 분해 애퍼처의 폭(w_f)은 반도체 웨이퍼에서 종래의 이온을 주입하는 경우보다 약 4 내지 6배 더 넓어질 필요가 있다 - 예를 들어 약 8 내지 38mm의 애퍼처 범위. 유사한 고려사항은 데카보란 $B_{10}H_{14}$ 로부터 생성된 이온에 적용되며, 여기서 약 113amu 내지 약 123amu의 범위에 있는 질량을 갖는 이온을 수용하는 것이 유용하다. 붕소 수소화물 질량이 불필요한 불순물 이온의 질량보다 훨씬 더 큰 값을 갖기 때문에, 대응하여 더 낮은 질량 분해를 갖는 그러한 넓은 분해 애퍼처는 수용가능한 것으로 생각된다. 붕소 수소화물 이온의 여러 피크를 수용하기 위해 종래의 이온에 대한 작은 폭으로부터 넓은 폭까지 연속적으로 또는 단계적으로(stepwise) 조정가능한 질량 분해 애퍼처 폭은 다목적 질량 분석기 시스템의 실시예의 중요한 양상이다. 동일한 고려사항은 일반적으로 다른 클러스터 이온에 적용되고, 특히 상이한 유용한 클러스터 이온의 전술한 예에 적용된다.
- <147> 도 10a, 도 10b, 도 10c, 및 도 10d를 참조하면, 연속적으로 조정가능한 질량 분해 애퍼처의 하나의 유용한 상업적 실시예는 스테인리스 스틸 또는 다른 적합한 비철 물질의 2개의 기어링된, 역-회전 편심 수냉식 실린더(140)를 포함한다. 그래파이트의 원통형 슬리브(142)는 입사 이온 빔(144)에 의해 실린더(140)로부터 스퍼터링되는 것으로부터 바람직하지 않은 중금속 불순물을 제거하기 위해 이들 실린더의 외부에 걸쳐 고정된다. {실리콘의 슬리브(142)는 유사하게 이용될 수 있다}. 실린더(140) 및 각 그래파이트 슬리브(142)는 도 10a에서 최소 폭(150), 및 180도 회전 이후에 도 10b에서 최대 폭(151)에 도시된 축 방향 정렬된, 조정가능한 질량 분해 애퍼처를 생성하는 편심 중심(143 및 145) 상에서 역-회전한다. 일실시예에서, 최소 애퍼처 폭(150)은 약 8mm이고, 최대는 약 38mm이다. 다른 값 및 범위는 실린더(140) 및 슬리브 치수(142), 및 회전 중심(143 및 145)의 위치에 대한 적절한 조정에 의해 가능하다. 냉각수 또는 다른 적합한 유체는 실린더(140)에서 구멍(146)에 통과될 수 있다. 냉각은, 특히 이온 빔(114)이 높은 전류, 높은 에너지의 종래의 이온을 포함하는 경우에, 일반적으로 빔 차단에 의해 생성된 열을 제거하는데 필요하다. 전기 구동 모터(148)는 기어(152) 및 베어링 블록 및 회전 진공

밀봉부(154)를 통해 실린더(140)를 회전시킨다. 전체 조립체는 분석기 자석 진공 하우징(20)에 끼워지고 밀봉될 수 있는 플랜지(156) 상에 장착된다. 출구 애퍼처(161)를 갖는 그래파이트 플레이트(159)는 아래에 설명될 감속 시스템의 제 1 전극으로 또한 작용할 수 있다.

- <148> 조정가능한 질량 분해 애퍼처(질량-선택 슬릿)는 전술한 설명에 한정되지 않아야 한다. 당업자는, 냉각, 기어링, 모터 구동 및 장착, 회전 각 및 진공 밀봉을 위한 상이한 기하학적 배열과; 실린더보다는 회전 날개(vane)의 이용; 및 회전 운동보다는 직진 운동의 이용을 포함하는 다양한 구현을 인식할 수 있다.
- <149> 도 2 및 도 8a에 도시된 실시예의 중요한 양상은, 극(26)이, 진공 하우징(20)과, 사실상 극(26) 사이의 공간이 진공 하우징의 구조에 일반적으로 사용된 비-강자성 물질의 존재에 의해 감소되지 않기 때문에 자기 효율을 최대화시키는 장치에 통과하고 이에 밀봉된다는 것이다. 자기 효율은 극(26)의 인접한 표면과 코어(28) 사이에 어떠한 공기 간격도 없기 때문에 추가로 개선된다. 진공 하우징(20) 및 극(26)은 코어(28)의 표면 사이에 삽입되지만, 자석의 다른 부분을 분해하지 않고도 쉽게 빼낼 수 있으며, 이것은 사실상 유지보수 비용을 최소화시킨다.
- <150> 극에 대한 밀봉 배열은 도 8c에 도시된다. 극은 극(26)의 각 에지를 따라 연장하는 측면 돌출 리브(26A)를 구비한다. 각 리브는 극에 대한 개구부에서의 하우징 벽에 형성된 레지(ledge)(20A)와, 나사 패스너(미도시)에 의해 하우징에 고정된 위에 놓인 리테이너(retainer) 스트립(27) 사이에 포획된다. 압축가능한 진공 밀봉 요소는 포획되고, 리브(26A)의 외부 에지 표면과 하우징(20) 및 리테이너 스트립(27)의 표면 사이에 형성된 채널에서 압축된다.
- <151> 도 1 및 도 2를 참조하면, 쌍극자 자석의 코일 조립체(40)의 쌍은 극 사이의 작용 간격 외부의 스트레이 자기 플럭스를 최소화하기 위해, 그리고 이에 따라 요크 부분(30, 32, 34)의 중량 및 비용을 최소화하기 위해 극(26) 및 코어(28)의 일반적인 평면 형태를 밀접하게 둘러싸고 이 평면 형태에 따르도록 윤곽을 갖는다(contoured). 도 4에 도시된 하나의 유용한 상업적 실시예에서, 코일 조립체(40)는 직렬로 전기적으로 연결되는 4개의 개별적인 권선 요소(80A, 80B, 80C, 및 80D)를 포함할 수 있다. 권선 요소(80A 내지 80D)는 예를 들어 치수가 1.626mm x 38.1mm인 각 구리 스트립의 60번 권수(turn)로 만들어질 수 있고, 0.08mm 두께의 상호-권선 전기 절연체로 연속적으로 감겨질 수 있다. 마일라(mylar) 또는 캡톤(kapton)과 같은 절연체가 적합할 수 있다. 코일 전류는 최대 240A일 수 있고, 코일 단자 양단의 총 전압은 28.8kVA의 총 코일 전력에 대응하는 최대 120V dc일 수 있다. 이것은 극(26) 사이의 120mm의 간격 치수에 대해 10kGauss보다 더 큰 극(26) 사이의 작용 간격에서의 자기장(24)을 생성하는데 충분하다.
- <152> 일실시예에서, 3개의 냉각 플레이트(82B, 82C, 및 82D)는 각 쌍의 인접하게 위치한 권선 요소(80A 내지 80D) 사이에 배치된다. 외부 냉각 플레이트(82A 및 82E)는 권선 요소(80A 및 80D)의 외부 표면 상에 위치한다. 냉각 플레이트(82A 내지 82E)는 예를 들어 10mm의 임의의 적합한 두께를 가질 수 있다. 냉각 플레이트(82A 내지 82E)는 권선 요소(80A 내지 80D)를 통과하는 전류로부터 생성된 오옴(ohmic) 열을 제거하거나 방출하기 위한 수단을 제공한다. 물과 같은 냉각 액체는 냉각 튜브(84), 예를 들어 냉각 플레이트(82A 내지 82E)에 삽입된 구리 튜브를 통해 냉각 플레이트(82A 내지 82E)를 통해 순환될 수 있다. 설명된 구조적 실시예의 중요한 양상은 권선 요소(80A 내지 80D)로부터 냉각 튜브(84)의 전기적 절연이다. 수냉의 경우에, 권선 요소(80A 내지 80D)로부터 냉각 튜브(84)의 전기적 절연은 전해질, 및 탈-이온화된 냉각수를 이용할 필요성을 상당히 제거한다- 이것은 사실상 운영비 및 유지보수를 최소화한다.
- <153> 도 5를 참조하여, 일실시예에서, 인터리빙된(interleaved) 유리 섬유 천(81)은 냉각 플레이트(82A 내지 82E)로부터 권선 요소(80A 내지 80D)를 전기적으로 절연하기 위한 하나의 수단으로서 사용될 수 있다. 전체 코일 조립체(40)는 또한 예폭시 수지가 침투된 진공 및 유리 섬유 테이프로 싸여질 수 있어서, 단일의 단단한 불침투성의 코일 조립체(40)를 달성한다. 코일 조립체(40)는 동작 동안 열 팽창 및 수축으로부터 생성된 응력에 대해 높은 무결성(integrity)을 가져야 한다. 권선 요소(80A 내지 80D)의 에지와 냉각 플레이트(82A 내지 82E)의 인접한 표면 사이의 수지 침투 유리 섬유는 일실시예에서 29kW일 수 있는 유효한 열 전달을 위해 높은 충분한 열 전도도를 제공한다.
- <154> 코일 조립체(40)의 실시예는 전술한 설명에 한정되지 않아야 한다. 당업자는, 임의의 작용가능한 수의 권선 요소(80A 내지 80D) 및 냉각 플레이트(82A 내지 82E)(예를 들어, 각각 2개 및 3개)와; 알루미늄과 같은 권선 요소(80A 내지 80D)에 사용된 다른 적합한 물질을 포함하는 다양한 구현을 인식할 수 있다. 더욱이, 권선 요소(80A 내지 80E)는 스트립보다는 직사각형, 정사각형, 또는 원형 고체 구리 또는 알루미늄 와이어로 만들어질 수 있다. 대안적인 실시예에서, 직사각형, 정사각형, 또는 원형 구리 또는 알루미늄 튜브는 냉각 플레이트(82A 내

지 82E)로의 열 전도에 의한 간접적인 냉각을 이용하기보다는, 전도체 튜브의 구멍을 통해 탈-이온화된 냉각 유체를 통과시킴으로써 직접적으로 냉각될 수 있는 권선 요소(80)에 사용될 수 있다.

<155> 상호-권수 절연체는, 절연 테이프를 이용하여 전도체를 싸는 것, 전도체에 걸쳐 절연 슬리브를 슬라이딩하는 것, 또는 절연 필름, 예를 들어 에나멜 구리 또는 양극화된 알루미늄으로 전도체를 코팅하는 것과 같은 다른 방법 및 물질에 의해 구현될 수 있다.

<156> 일실시예에서, 이온 빔은 질량 분해 애퍼처(50)로부터 나온 후에 감속될 수 있다. 감속은 낮은 에너지의 높은 선량 주입물의 경우에 도움이 될 수 있는데, 이는 종래의 이온 또는 붕소 수소화물 이온 중 어느 하나가 스스로부터 추출되어 최종 주입 에너지보다 더 높은 에너지에서 분석기 자석을 통해 전달될 수 있기 때문이다. 그러한 더 높은 에너지에서, 빔 내의 내부 공간 전하력 및 열 이온 온도의 효과는 분해 애퍼처(50)에서 실현될 수 있는 빔 전류의 크기에 덜 제한된다. 일실시예에서, 감속은 도 1 및 도 3에 도시된 바와 같이 3개의 비-강자성 전극(60, 61, 62)의 시퀀스를 통해 빔을 통과시킴으로써 구현된다. 일반적으로 0 내지 30kV의 크기를 갖는 감속 전압(V_d)(64)은 이온을 더 낮은 에너지로 감속시키기 위해 전극(60 및 62) 사이에 인가될 수 있다. 도 1에 도시된 감속기 실시예는 진공 하우징(20)에 병합될 수 있고, 최종 에너지 전극(62)은 절연체(66)를 통해 하우징(20)으로부터 절연된다. 감속 전기장이 존재하는 경우, 공간 전하 중성화 전자는 빔으로부터 스위프(Sweep)된다. 결과적인 발산 공간 전하력은 진공 하우징(20) 상에 장착된 공급-구멍(63)을 통해 전압(V_f)(65)을 중간 집속 전극(61)에 인가함으로써 중화된다. 전압(V_f)은 일반적으로 전극(62)에 대해 0 내지 30kV 음이다.

<157> 이온 감속기에 대한 실시예는 도 1 및 도 3에 도시된 특정 배열에 한정되지 않고, 당업자는, 특정한 입사 이온 빔 상태를 위해 이온 감속을 최적화하기 위한 다양한 구현, 즉 임의의 수의 작용가능한 전극(예를 들어, 2개, 3개, 4개 등); 원형 또는 슬롯-형태 애퍼처를 갖는 전극; 평면 또는 곡면 전극, 전극을 구성하기 위한 알루미늄, 그래파이트, 또는 폴리브텐과 같은 경량 또는 중량 비-강자성 물질; 및 전극이 자석 진공 하우징(20) 내에 또는 이온 주입기의 특정 구성에 따른 분리된 진공 하우징에 설치되는 다양한 진공 구성을 포함하는 구현을 인식할 수 있다.

<158> 이온 감속기가 활성화될 때, 자석 진공 하우징(20), 및 극(26), 코어(28), 및 요크 부분(30, 32, 34)과 같이 진공 하우징에 전기적으로 연결된 자석의 다른 부분 모두는 감속 전압(V_d)(64)에 대응하는 전압, 즉 접지 전위에 대해 0-30kV 음의 범위에 있는 전압에 의해 접지 전위로부터 전기적으로 편향되어야 한다.

<159> 실시예의 하나의 중요한 양상에서, 내부 권선(80A 내지 80D) 및 냉각 플레이트(82A 내지 82E)는 유리 섬유와 같은 다공성 물질과, 에폭시가 침투된 진공으로 싸여져서, 대략 6-8mm의 두께를 갖는 전체 코일 조립체(40) 주위에 불침투성 코쿤(cocoon)(86)을 형성한다. 다른 실시예에서, 알루미늄 산화물과 같은 절연 분말은 유리 섬유 대신에 에폭시를 채우는데 사용될 수 있고, 코쿤은 주조 몰드(casting mold)를 이용하여 형성된다. 절연 코쿤(86)은, 코일 조립체가 자석 구조의 나머지, 즉 코어(28), 극(26), 진공 하우징(20), 및 요크 부분(30, 32, 34)으로부터 최대 30kV의 전압에 의해 전기적으로 절연되도록 한다. 그러므로, 권선(80A 내지 80D) 및 냉각 플레이트(82A 내지 82E)는, 자석의 나머지가 접지 전위에 대해 최대 30kV 음의 바이어스를 가질 수 있다라도 공칭적으로 접지 전위에 남아있을 수 있다- 이것은 사실상 코일 전원(100)(도 2)이 표준 접지 ac 전력(102)을 이용하여 접지 전위에서 동작될 수 있기 때문에 비용면에서 상당한 이익을 제공한다. 설명된 실시예는 코일 전원(100 내지 30kV)의 절연을 제공할 필요성을 제거한다. 더 중요하게, 코일 전원(100)에 대한 30-40kVA 입력 ac 전력을 위한 30kV 절연 변압기를 이용할 필요성을 제거한다. 추가 장점은, 예를 들어 일실시예에서 29kW인, 냉각 플레이트(82A 내지 82E)에서 수집된 열을 제거하는데 필요한 유체 냉각이 탈-이온화된 유체를 이용할 필요 없이 접지 전위 소스(98)로부터 제공될 수 있다는 점에 있다. 사실상, 냉각 유체는 일정한 비-탈-이온화된 수돗물일 수 있다.

<160> 도 1 및 도 2를 참조하면, 권선을 위한 전류 단자(87)는, 코일 단자(87)와 자석 주변 사이에서 발생하는 아크 작용(arc) 및 전기 브레이크다운(breakdown) 없이 코일 권선(80A 내지 80D) 및 냉각 플레이트(82A 내지 82E)에 최대 30kV 전기 전압 절연이 인가되도록 하기 위해 자석의 임의의 이웃한 구성요소로부터 일반적으로 40mm 이상의 거리에 있는 위치에서 코쿤(86)을 침투한다. 유사하게, 냉각 튜브(88)는, 자석 주변으로부터 적어도 40mm의 안전 작업 거리를 제공하는 방식으로 코쿤(86)을 통해 나오게 되어, 다시 아크 작용 및 전기 브레이크다운을 피하게 된다. 냉각 튜브는 전기 코로나(corona)를 제거하기 위해 에지 및 코너 반경으로 구성된 매니폴드(manifold)(89)에 용접된다. 냉각 튜브는 또한 자석 주변에 대해 아크 작용 및 전기 브레이크다운을 피하기 위해 위치된다.

- <161> 전류 리드(90) 및 냉각 라인(92)은 자석 요크 리턴(32)을 통과하는 절연 PVC 슬리브(94)를 통해 코일로부터 접지 주변(96)으로 통과한다.
- <162> 절연 코일을 형성하는 것과 코일 외부에 권선 단자 및 냉각 튜브를 놓는 것에 대한 실시예는 전술한 방법에 한정되지 않아야 한다. 당업자는 상이한 유형의 에폭시 방식 및 절연 물질을 이용하는 것을 포함하는 다양한 구현을 인식할 수 있다.
- <163> 도 1을 참조하면, 자기 분석에 후속하여, 빔은 자기 4극자 트리플릿(210)을 통과하고, 마지막으로 웨이퍼(70)를 조사하기 위해 진공 하에서 빔 라인(76)을 통해 웨이퍼 프로세스 챔버(72)에 전달된다. 웨이퍼는 빔을 통하는 배치(batch) 웨이퍼의 반복된 기계적 통과에 의해 연속적으로 한 번에 하나, 또는 한 번에 여러 개 처리될 수 있다. 웨이퍼(70)는 적절한 전기 기계 메커니즘, 문 및 진공 락(lock)을 통해 클린 룸으로부터 들어오거나 클린 룸으로 나가게 된다.
- <164> 빔 라인 및 프로세스 챔버의 실시예는 특정 구성에 한정되지 않는다. 예를 들어, 당업자가 인식하는 바와 같이, 빔 라인은 간단히 탄도(ballistic) 드리프트 영역일 수 있거나, 빔이 4극자 트리플릿(210)에 들어가기 전에 감속되는 경우에 생성된 중성 입자-이러한 중성 입자는 감속된 이온보다 더 높은 에너지를 갖고, 빔으로부터 필터링되지 않은 경우 반도체 디바이스 성능을 크게 저하시킬 수 있는 웨이퍼(70)에 더 깊이 주입된다-를 필터링하기 위해 힙 자석과 같은 이온 광학기기 요소를 포함하는 다수의 다양한 특징을 가질 수 있다. 빔 라인(76)은 웨이퍼에 걸쳐 한 방향으로 빔을 평행 스캐닝하기 위해 시준기 자석과 연관된 자석 또는 전기 빔 스캐너를 포함할 수 있다. 이것은 상업적 주입기에 유리할 수 있는데, 이는 마지막으로 균일한 선량을 달성하기 위해 웨이퍼만이 빔 스캔 방향에 직교 ??향으로 기계적으로 스캐닝될 필요가 있기 때문이다.
- <165> 도 12a를 참조하면, 자기 4극자 트리플릿(210)은 하류 빔 라인(76)에서의 구성요소에 대한 세부사항에 관계없이, 종래의 이온 및 클러스터 이온 모두의 경우에 대해, 상업적 이온 주입기에 유용하다. 첫째, 4극자 트리플릿의 3개의 개별적인 요소(211, 212, 213)의 자기장의 세기는, 웨이퍼(70)에서 빔의 수직 및 수평 방향 모두에서 치수 및 각도 발산을 제어하여, 웨이퍼(70) 상의 빔 주입 상태를 최적화하기 위해 독립적으로 조정될 수 있다. 이것은, 특히 빔 라인에서의 하류 구성요소가 일반적으로 쉽게 조정가능한 넓은 범위의 집속 능력을 갖지 않기 때문에, 고품질 주입을 달성하기 위해 상업적 이온 주입기에서 중요하다. 둘째, 이온 빔의 이전 감속이 발생하는 경우에, 4극자 트리플릿은 또한 감속 프로세스에 후속하여 적어도 한 방향으로 종종 발생하는 빔 발산을 제어하는데 유용하다. 하나의 공통 실시예에서, 빔이 들어가는 4극자 트리플릿(210)은 수직 방향의 긴 방향으로 리본 성형된다. 이 경우에, 제 1 요소(211)는 수직 방향으로 집속하도록 하고, 이에 대응하여 수평 방향으로 디포커싱되는 극성으로 동작된다. 제 2 요소(212)는 수평 집속 및 수직 디포커싱을 야기하는 211에 반대 극성을 갖는다. 마지막으로, 제 3 요소(213)는 제 1 요소(211)와 동일한 극성을 갖는다. 그러므로, 초점(F) 및 디포커스(D) 조합은 수평 면에서 DFD이고, 수직 면에서 FDF이다. 각 요소(211, 212, 213)에서 적절한 자기장 세기를 이용함으로써, 전체 순 집속은 수직 및 수평 면에서 동시에 달성된다.
- <166> 매우 중요하게, 클러스터 이온의 경우에, 질량 분해 애퍼처(50)가 예를 들어 옥타데카보란의 경우에 약 205amu 내지 218amu로부터, 또는 데카보란의 경우에 약 108amu 내지 115amu로부터의 범위의 이온 질량을 전달하는데 충분히 넓게 설정될 때, 트리플릿의 4극자 요소의 개별적인 자기장 세기는, 다른 경우 이온 빔에서 상이한 질량의 범위가 있는 경우에 일반적으로 발생할 수 있는 웨이퍼(70)에서 각도 편차를 동시에 실질적으로 제거하도록 조정될 수 있다. 선택된 도 12a를 참조하면, 질량($m \pm \Delta m$)의 이온은, 배치되는 수평 경로를 따라 그리고 이온 질량(m)에 대응하는 중심 이온 경로로부터 약간 상이한 각도로 4극자에 들어간다. 전술한 바와 같이, 도 1에 연관하여, 이러한 분리는 분석기 자석을 통해 다수의 질량 이온이 전달될 때 생성된다. DFD 집속 시퀀스의 적절한 조정에 의해, 이온 경로(203)는 서로 대략 평행하게 4극자로부터 나온다. 그러한 각도 편차를 제거하는 것은 상업적으로 중요한데, 이는 클러스터 이온의 높은 전류가 웨이퍼 상에 충돌하는 빔에서의 2이상의 이온 질량의 결과로서 웨이퍼(70) 상에 주입 각도 품질을 악화시키지 않고도 낮은 에너지의 높은 선량 주입 응용에 사용되도록 하기 때문이다.
- <167> 하나 이상의 질량 분산 요소가 4극자 트리플릿을 지나는 빔 라인에 있을 때, 트리플릿의 상이한 조정은 이들 하류 요소의 질량 분산 효과 뿐 아니라 상이한 질량 클러스터 이온의 전체 범위에 대해 분석기 자석의 질량 분산 효과를 보상할 수 있다.
- <168> 도 12a 및 도 12b를 참조하여, 일 실시예에서, 4극자 자기장은 코일(206)을 통해 전류를 통과시킴으로써 생성된다. 각 4극자 요소는 4개의 강자성 코어 부분(217) 주위에 개별적으로 감겨진 4개의 코일을 갖는다. 코어 부분은, 알루미늄 또는 스테인리스 스틸과 같은 비-강자성 물질로부터 구성된 진공 하우스(219)를 통해 침투하고 밀

봉하는 강자성 극 부분(214)에 고정된다. 인접한 코일은 4개의 극 사이의 영역에서 소위 4극자 자기장을 생성하기 위해 반대 극성으로 감겨진다. 자기 플럭스는 강자성 요크 구조(221)를 통해 자기적으로 결합되는 코어 부분(217)을 통해 하나의 극으로부터 다른 극으로 복귀된다. 코일(206)의 권선은 웨이퍼 또는 다른 적합한 냉각 유체로 직접 냉각되는 직사각형 섹션의 구리 튜브(215)로부터 이루어진다. 그래파이트 라이너(216)는, 빔 충격이 극(214)의 표면 및 진공 하우스(219)의 내부 벽에서 중 이온 오염물을 스퍼터링하지 못하게 한다.

- <169> 4극자 구조는 도 12a 및 도 12b의 전술한 설명에 한정되지 않아야 하고, 당업자는, 수평 및 수직 면에서의 전체 집속을 얻기 위해 DF 및 FD 시퀀스를 제공하도록 3개 요소보다 2개의 요소를 이용하는 것과, 4극자 자기장보다 정전기를 이용하는 것을 포함하는 다양한 구현을 인식할 수 있다.
- <170> 클러스터 이온 뿐 아니라 종래의 이온으로 이온 주입하는데 적합하고, 자기 스캐닝 빔 라인을 이용하는 실시예는 도 13에 도시된다. 리본 형태의 빔(300)은 도 1과 관련하여 설명된 것과 같이 12.5mm의 애퍼처 폭(w_s) 및 100mm의 높이(h_s)를 갖는 이온 소스로부터 추출된다. 빔은 도 2, 도 4 및 도 5에 도시되고 이전에 설명된 바와 같이 절연된 코일(304)을 갖는 120도의 섹터 휨 자석(302)으로 자기적으로 분석된다. 극 형태는 도 8a 및 도 8b에 도시되고 전술한 바와 같이 극 에지 시밍(shimming)을 갖는다. 빔은 도 10a 내지 도 10d에 도시된 조정가능한 질량 분해(선택) 애퍼처와, 도 3에 도시된 3개의 전극 감속기 유닛(306)과, 도 12a 및 도 12b에 도시된 자기 4극자 트리플릿(380)을 통과한다. 그런 후에, 빔은, 웨이퍼(70)에 걸쳐 하나의 측면(320)으로부터 다른 측면(321)으로 수평 방향으로 빔을 집합적으로 평행 스캐닝하는 자기 스캐너(310) 및 시준기(312)를 통과한다. 도 13을 참조하면, 웨이퍼의 중심에서, 웨이퍼(318)의 한 측면 상에 빔(314)과, 다른 측면 상의 빔(316)에 대한 개략도가 도시된다. 실시예의 중요한 양상은, 빔 스캐너 및 시준기 모두가 동일한 방식으로 빔을 휘다는 것이다. 따라서, 결합된 스캐너 및 시준기의 이온 빔 경로 길이 및 자기 집속 특성은 3개의 빔 위치(314, 318, 316)에 대해 유사하다. 따라서, 웨이퍼 상의 빔의 수평 스캔 위치와 상관없이, 한 세트의 자기장 세기 설정은 3개의 자기 4극자 요소에 대해 발견될 수 있고, 이러한 자기 4극자 요소는 빔 크기, 각도 확산을 동시에 최적화하고, 매우 중요하게, 일반적으로 다수의 질량의 붕소 수소화물 이온 및 클러스터 이온이 사용되는 경우에 각도 편차를 제거한다.
- <171> 도 13에 도시된 빔 라인의 하나의 유용한 상업적 실시예에서, 전술한 빔 라인 파라미터는 다음과 같은 값을 갖는다:
- <172> A. 분석기 자석: $R=500\text{mm}$, $\phi=120^\circ$; $G=118\text{m}$; $s_1=31\text{mm}$; $s_2=8.6\text{mm}$; $h_1=8.7\text{mm}$; $h_2=4.7\text{mm}$; $W=166\text{mm}$; 소스 애퍼처 ($w_s=12.5\text{mm}$ 및 $h_s=100\text{mm}$)로부터 이온을 수용하는, 휨 전력=80keV 옥타데카보란.
- <173> B. 질량 선택 애퍼처: 연속적으로 조정가능한, 최소 약 8mm 내지 최대 약 38mm.
- <174> C. 감속기 전극: 50mm 폭 x 높이 118mm의 애퍼처 크기를 갖는 3개의 평면
- <175> D. 4극자 트리플릿: 애퍼처: 극 팁 사이의 80개의 대각선; 조정가능한 0-5kGauss의 극 팁 자기장.
- <176> E. 빔 스캐닝 자석: 수직 갭=80mm; 휨 전력=80keV 옥타데카보란.
- <177> F. 시준기: 휨 반경 900mm; 극 간격=80mm; 휨 전력=80keV 옥타데카보란.
- <178> 스캐너(310) 및 시준기(312)에 의해 집합적으로 생성된 총 편향은 30도이다. 휨 방향은 이온 주입기의 폭을 최소화하기 위해 분석기 자석의 휨 방향에 반대이고, 이것은 사실상 비용 및 설치 장소(footprint)를 감소시키는 중요한 고려사항이다.
- <179> 웨이퍼에서 빔 크기 및 각도 발산은 4극자 트리플릿에서 개별적인 4극자 요소의 세기를 서로 다르게 조정함으로써 제어된다. 중요하게, 일반적으로 붕소 수소화물 이온 및 클러스터 이온의 경우에, 트리플릿은 또한 분석기 자석, 자기 빔 스캐너 및 자기 시준기에 의해 도입된 집합적인 질량 분산을 보상한다. 4극자 요소 세기를 적절히 설정함으로써, 다수의 질량 성분으로부터 나타나는 각도 편차는 실질적으로 제거될 수 있는데, 즉 전체 스캔 범위에 걸쳐 0.15도보다 작게 감소될 수 있다.
- <180> 질량 선택 애퍼처에 후속하는 감속 이후에 빔에 남아있는 높은 에너지 입자는 웨이퍼에 도달하지 않는데, 이는 이러한 높은 에너지 입자가 스캐너 및 시준기의 결합된 빔 편향에 의해 빔으로부터 필터링된다.
- <181> 도 1 및 도 13의 실시예에서 사용하기 위한 도 14 및 도 14a의 이온 소스(11)는 클러스터 이온, 예를 들어 $B_{18}H_{22}$ 또는 $B_{10}H_{14}$ 중기로부터 붕소 수소화물 이온 $B_{18}H_x^+$ 또는 $B_{10}H_x^+$ 을 생성한다. 도 1 및 도 6을 참조하여 전술한

바와 같이, 그리고 이 실시예에 대해 도 14 및 도 15b에 더 구체적으로 도시된 바와 같이, 이온은 억제 전극 및 접지 전극을 포함하는 정전기 추출 전극 시스템에 의해 이온화 챔버로부터 추출되고, 이온은 폭(w_s) 및 높이(h_s)를 갖는 이온 소스 바디의 전면 플레이트에서 수직으로 배향된 슬롯의 형태로 추출 애퍼처(12)를 통해 끌려온다. 이온 빔 라인에 대한 분산 평면은 도 15a에서 폭(w_s)의 방향에 있는 한편, 비-분산 평면은 도 15b에서 높이(h_s)의 방향에 있다.

<182> 도 14는 클러스터 이온 빔 추출 시스템의 2가지 변형에 대한 분산 평면 단면을 도시한다. 추출 시스템은 3개의 플레이트로 구성된다: 이온이 소스 전위(예를 들어, 단자 전위 위의 60kV)에서 이온 소스로부터 추출되는 이온 추출 애퍼처(I), 임의의 백스트리밍(backstreaming) 전자를 억제하기 위해 단자 접지 전위 아래의 수 kV로 일반적으로 유지되는 억제 전극(II), 및 단자 전위에 유지된 접지 전극(III).

<183> 추출 애퍼처 플레이트(I)는 약 20mm의 두께를 갖는다. 추출 애퍼처에 인접한 플랫폼 섹션은 양쪽 변형(I)에 대해 동일하다. 제 1 경우에, 경사(bevel)는 플레이트의 두께 전체에 균일한 각도를 갖는 반면, 제 2 경우에, 증가하는 각도의 2배의 경사가 있다.

<184> 어느 한 설계의 시스템은 넓은 각도에 걸쳐 조정될 수 있다.

<185> 도 14, 도 14a 및 도 15a 및 도 15b의 실시예는 이온화 챔버(10') 내에 클러스터 이온을 생성하기 위해 가속된 전자의 형성된 빔(330)을 이용한다. 이러한 유형의 이온 소스는 충분한 밀도의 분자 이온을 생성하여, 추출 전극(14')이 이온 소스 바디의 전면 플레이트(370)에서 가공된 슬롯 애퍼처(12')로부터 최대 약 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류 밀도를 추출하도록 한다. 도 1 및 도 6에 사용하기 위한 바람직한 실시예에서, 슬롯 치수는 약 100mm의 높이(h_s) x 12.5mm의 폭(w_s)이다. 더 크거나 더 작은 치수의 슬롯은 실질적으로 유사한 피크 추출된 전류 밀도로, 대응하여 총 추출된 이온 전류의 더 크거나 더 작은 양을 산출할 것이다.

<186> T. Horsky에 의해 이전에 설명된 원리를 이용하여, 이들 도면의 이온 소스(11')는 도 14에서 빔(330)의 에너지 전자의 충돌을 이용하여, 이온화되는 증기 분자의 무결성을 보존하는데 필요한 알맞은 이온화를 제공한다. 붕소 수소화물 공급 물질의 증기를 이용하여 우수한 빔 전류 성능을 제공하도록 구성될 때, 그러한 이온 소스는 이온화 챔버(10')에 공급된 전형적인 가스 박스 및 가스를 이용하여, 비소 및 포스핀 가스로부터 비소 및 인 이온 빔의 수 mA를 생성할 수 있다. 도 14의 이온 소스는 가속된 전자의 형성된 빔(330)을 생성하기 위해 이온화 챔버(10')의 외부에 있는 필라멘트 및 전자 광학 시스템을 포함하는 원격으로 위치한 전자총(340)을 이용한다. 이에 따라 이온 부식과 연관된 필라멘트 마모는 최소화되어, 긴 필라멘트 수명을 보장하는데 도움을 준다. 외부적으로 생성된 에너지 전자 빔(330)은, 이온이 이온 광학 시스템에 의해 추출되는 전체 길이를 따라 긴 직사각형 슬롯(12') 바로 뒤에 이온의 영역을 생성한다. 이러한 목적을 위해, 전자총(340)은 1mA와 100mA 사이의 전자 빔을 생성한다. 빔은 쌍극자 자기장에 의해 90도를 통해 편향된다. 일단 편향되면, 빔은 추출 슬롯 애퍼처(12')의 길이에 평행한 수직 경로를 횡단하기 위해 이온화 챔버(10') 안에 주입된다. 전자 빔은 수직으로 배향된 자기장(350)에 의해 이러한 경로에 한정되고, 자기 제한은 주입된 전자 빔의 이온화 효율을 최대화하기 위해 각 설계에 대해 최적화된다. 추출 애퍼처(12') 뒤에 통과된 후에, 전자 빔(330)의 사용되지 않은 부분은 빔 덤프(360)에 의해 차단된다.

<187> 전자 방출 전류, 및 이온 소스(11)로의 공급 물질의 흐름을 변화시킴으로써, $5\mu\text{A}$ 내지 3mA의 안정한 전기 이온 빔 전류가 달성될 수 있다. 일례로, $\text{B}_{18}\text{H}_{22}$ 또는 $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$ 증기는, 이온화 챔버(10')로의 증기 흐름을 조절하는 압력 제어 디바이스를 통해 외부적으로 장착된 가열된 증발기로부터 이온 소스에 일반적으로 도입된다. 비소 및 포스핀과 같은 소스 가스의 형태인 공급 물질에 대해, 개별적인 가스 공급 통로는 이온화 챔버에 제공된다.

<188> 그러한 큰 간격의 빔 라인 시스템의 장점은, 심지어 종래의 이온과 함께 이용될 때, 더 큰 총 빔 전류 및 빔의 더 나은 전달을 포함한다. 큰 추출 애퍼처, 및 낮은 이온 밀도에서의 추출의 이용에 의해, 이온 빔 전류 밀도 상의 차일드-랭뮤어(Child-Langmuir) 한계는 피하게 되고, 더 큰 총 빔 전류는 큰 간격 시스템을 통해 전달하기 위해 추출될 수 있다. 또한, 낮은 이온 밀도, 및 이에 따라 추출된 이온 빔에서의 낮은 전하 밀도(종래의 버나스-형 소스의 전하 밀도에 대해)로 인해, 내부 쿨롱 공간 전하력에 의해 야기된 빔 파열이 감소된다. 이것은, 이온 빔이 적은 각도 발산을 갖고 목표 표면 상의 입사각의 개선된 균일성으로 목표에 도달하도록 한다. 공간 전하력 및 열 운동은, 추출된 이온 빔이 분산 및 비-분산 방향 모두에서 팽창하는 경향이 있도록 한다. 도 15a 및 도 15b의 이온 광학 추출 시스템은 렌즈 전압의 인가에 의해 분산 및 비-분산 평면에서 이온 빔을 효과적으로 형성 및 집중하도록 구성된다.

- <189> 도 15a는 이온 소스 챔버(10'), 플레이트에 형성된 추출 슬롯 애퍼처(12'), 억제 전극(14'), 및 접지 전극(7')의 전면 플레이트(370)를 도시하며, 분산 평면은 도면의 평면에 있다. 분산 평면에서, 이온 빔(19')은 도 1의 분석기 자석(21)의 수용(acceptance)으로 w_b 에서 집속된다. 빔 방향을 따라 이온 빔의 애퍼처 플레이트(370)에 대해 전극 요소(7' 및 14')의 위치는 종래 기술에 알려져 있는 움직임 제어 디바이스에 의해 변할 수 있다.
- <190> 이러한 바람직한 실시예에서, 도 15 및 도 15b에 도시된 바와 같이, 이온 소스 챔버(10')의 전면 플레이트(370)는 또한 조정가능한 렌즈 요소로서 작용하기 위해 슬롯 애퍼처(12')에서 나이프 에지(knife edge)(12A)로서 형성된다. 이러한 목적을 위해, 애퍼처 플레이트(370')는 T. Horisky 등에 의해 이전에 설명된 바와 같이 이온 소스 바디의 나머지에서 절연체(12B)에 의해 전기적으로 절연된다.
- <191> 빔 허리(w_b)를 생성하기 위해 분산 평면에서의 이러한 렌즈 시스템의 초점 길이는 전극 요소의 위치 및 빔 에너지 뿐 아니라 그 형태 및 인가된 전압에 의해 규정된다. 전술한 바와 같이, 빔(22)은, 도 3에 관련하여 설명된 바와 같이 질량 선택 애퍼처(50)에서 폭(w_r)의 분산 평면에서 컨주게이트 이미지를 형성하기 위해 분석기 자석에 의해 집속되고, 이에 후속하여, 빔(210)이 트리플릿에 들어가기 위해 적절한 크기를 갖는 4극자 트리플릿에 도달한다. 트리플릿(210)을 통과하는 수평 면에서의 전형적인 빔 엔벨로프는 중심 질량 피크의 경우에 대해 도 16a에 도시된다. 질량 피크의 범위에 대한 분리 및 주 광선 경로는 도 12a에 이전에 설명되어 있다.
- <192> 도 1 및 도 13의 시스템에서, 4극자 트리플릿(210)으로 "Y"(비 분산) 평면에서 집속하는 것은 분석기 자석에서 어떠한 "Y" 방향 집속도 발생하지 않기 때문에 이온 소스의 추출 광학기에 의해 달성된다. 도 15b의 실시예에서, 비-분산 평면에서 이온 빔을 집속하기 위해, 억제 및 접지 플레이트(7' 및 14') 뿐 아니라 추출 슬롯(12')의 나이프 에지(12A)는 곡률 반경으로 제조되어, 각각은 이온 소스에 볼록 프로파일을 제공하고, 하류 빔 라인에 오목 프로파일을 제공한다. 도 1b에 도시된 이러한 곡률은 추출된 빔(19')의 높이의 수렴을 생성한다. 실시예에서, 1미터의 곡률 반경(R)이 이용된다. 다른 실시예에서, 다른 반경이 가능하다; 일반적으로, 추출 플레이트에 적용된 더 작은 반경은 더 짧은 비-분산 평면 초점 길이, 이에 따라 더 큰 수렴도를 생성하며, 더 큰 반경에 대해서는 반대로 이루어진다. 이에 따라 형성된 3극 진공관의 이용에 의해, 비-분산 평면에서 간단하고 공간-효율적인 집속은 이에 따라 달성되고, 도 16b를 참조하여, 분석된 빔(22')은 트리플릿(210)에 들어가기 위해 비-분산 평면에서 크기를 갖는 엔벨로프 내에 4극자 트리플릿(210)에 도달한다.
- <193> 분석기 자석의 비-분산 평면에서 이온 소스의 추출 광학기에 의해 생성된 빔 수렴도는 총 클러스터 이온 빔 전류의 크기 및 이온 에너지에 따라 변하고, 수 μA 내지 수 mA의 빔 전류의 넓은 범위에 걸쳐, 그리고 약 4keV 내지 80keV의 넓은 범위의 에너지에 걸쳐 4극자에 입구에 수용되도록 빔의 크기를 갖도록 최적화된다. 4극자 트리플릿은 웨이퍼(70)에서 비-분산(수직) 및 분산(수평) 평면 모두에서 웨이퍼에서 빔 크기 및 각도 발산의 최종적인 최적화를 제공한다.
- <194> 그러나, 분석기 자석 이전에 빔의 비-분산 평면 집속을 위한 시스템의 실시예는 특정 구성에 한정되지 않는다. 애퍼처 플레이트가 렌즈 요소로서 작용하지 않거나, 추가 렌즈 요소가 이용될 수 있거나, 4극자 집속 요소가 포함될 수 있는 시스템이 가능하다.
- <195> 분석기 자석보다 선행하는 광학 시스템에 의한 비-분산 평면 집속을 제공함으로써, 분석기 자석 설계에 대한 요구는 간략화되는 한편, 분석기 자석 및 후치-분석 4극자 트리플릿(210)을 통해 크게 효과적인 이온 빔 통과를 제공한다. 낮은 밀도의 이온 추출로 얻어진 감소된 발산과 함께, 이것은 통로 벽 상의 이온의 충격을 감소시키는 경향이 있으며, 이것은 적은 해로운 증착물, 더 큰 유용한 빔 전류 및 더 적은 빔의 오염을 초래한다. 도 16b에 도시된 바와 같이, 약 6cm의 수직 높이를 갖는 이에 따라 생성된 잘-시준된 빔은, 빔이 10cm의 높이의 추출 슬롯으로부터 생성되더라도 보여진 비-분산 평면 집속으로 4극자 트리플릿에 주입될 수 있다.
- <196> 도 17은 도 13에 따라 스캐닝 시스템을 이용하는 옥타데카보란으로부터 도출된 자기적으로 스캐닝된 붕소 입자 전류, 및 도 14, 도 15a 및 도 15b에 따른 이온 소스를 도시한다. 전류는 도 13에서 시준기(312)의 진공 하우스의 출구 포트에서 측정된다. 빔 전류는 dc로부터 170Hz로의 전체 스캔 스위프 주파수 범위에 걸쳐 본질적으로 변하지 않는다. 이러한 측정된 입자 빔 전류는 종래의 고정된 빔, 높은 전류 이온 주입기로부터 보고된 것보다 훨씬 더 높다. 더욱이, 이러한 빔 전류는 웨이퍼 바로 전에 감속을 이용할 필요 없이 달성되고, 기술은 종종 낮은 에너지 빔 전류를 개선하기 위해 종래의 높은 전류 주입기에 사용되지만, (a) 웨이퍼 상에 충돌하는 이온에서의 수°의 큰 각도 확산을 도입하고, (b) 감속 이후에 중성 입자 필터링이 없을 때, 감속 이전 또는 감속 동안 중성화된 높은 에너지 입자가 웨이퍼에 도달하도록 하는 단점을 갖는다. 그러한 높은 에너지 입자는 웨이퍼에 추가로 침투하고, 일반적으로 주입 품질을 저하시키는데, 이것은 현재 매우 얇은 CMOS 집합의 생성을 위해 바람직

하지 않다.

- <197> 버나스 형 이온 소스로부터, B^+ , P^+ 및 As^+ 와 같은 1가의 도핑 이온의 낮은 에너지(10keV 미만)에서 매우 높은 빔 전류(5mA보다 높음)를 추출하고 자기적으로 분석하는 것은 매우 어렵다는 것이 잘 알려져 있다. 높은 전류가 소스 자체로부터 성공적으로 추출될 수 있더라도, 자기 분석기안으로의 주입 및 자기 분석기 주변의 이동은 어려운 것으로 증명되는데, 이는 낮은 에너지에서, 이온이 이온 빔 내에서 공간 전하 중성화 전자를 형성하기 위한 이온화 단면은 매우 작고, 10-15keV의 에너지 구성 아래의 감소하는 에너지로 매우 빠르게 놓인다. 전자를 빔에 직접 삽입함으로써 또는 플라즈마 충을 통해 전자를 도입함으로써 빔 중성화를 개선하려는 시도는 일반적으로 분석기 자체의 자기장의 존재에 의해 방해되므로, 일반적으로 상업적 이온 주입기에 대해 이익을 갖지 않는 기술이다.
- <198> 또 다른 잘 알려진 기술은, 이온 소스 및/또는 분석기 자석의 진공 하우징 내부의 영역 안으로 가스 또는 증기를 배출시키고, 이에 따라 빔 내에서 더 많은 공간 전하 중성화된 저속의 음의 이온을 생성하려는 것에 기대하여 가스의 더 높은 압력으로 빔 경로에 흘러들어 가게 하는 것이다. P^+ , 및 As^+ 이온 저류는 질소의 가스 배출로 적절히 증가되지만, 이것은 일반적으로 B^+ 이온 전류를 감소시킨다. Sinclair 등(1998년, 9월 29일, 미국 특허 5,814,819)은, 수증기가, 버나스 형 이온 소스로부터 추출될 수 있고 분석기 자석을 통해 전달될 수 있는 1가의 붕소 전류를 개선시킬 수 있다는 것을 알아내었다. 이러한 중성화 방법은 상업적 주입기에 폭 넓게 성공적으로 채택되지 않는데, 이는 낮은 에너지에서의 높은 빔 전류가 일반적으로 특히 분석기 자기장의 존재시 플라즈마 안정성의 물리적 상태를 초과하기 때문이다. 따라서, 생성된 이온 빔은 종종 안정하지 않고, 불안정성은 빔 크기에서 작은 통계적 동요(fluctuation)에 의해 트리거링되고, 전류는 이온 소스로부터 추출된다. 빔 전류는 종종 재생되지 않고, 온도 변동과 연관된 정밀한 이온 소스 파라미터 조정(tuning) 및 변화에 중요하게 많이 의존할 수 있다.
- <199> 도 14, 도 14a, 도 15a 및 도 15b에 도시된 클러스터 유형 이온 소스의 장점은, 추가 배경 가스 중성화가 일반적으로 필요하지 않은데, 이는 실제 클러스터 이온 빔이 훨씬 더 높은 에너지, 및 비교적 유용한 1가의 이온 빔의 경우보다 더 낮은 전류에 있기 때문이며, 그 결과 플라즈마 불안정성을 초래하는 상태가 회피된다는 것이다.
- <200> 도 13에 도시된 긴 빔 라인의 경우에, 분석기의 출구로부터 웨이퍼로의 경로 길이는 2m보다 크고, 심지어 빔 라인 4극자, 스캐닝 자석, 시준기 자석, 및 최종 프로세스 챔버를 통해 0.5-07m 드리프트를 수용하기 위해 3m만큼 긴 경우, 이온 빔이 전자로 완전히 중성화되지 않고, 빔이 스캐너 및 시준기와 같은 자기장을 통과해야 하며, 스캐너 및 시준기 영역에서 SF_6 와 같은 소량의 전자 음의 가스를 추가하고, 이에 따라 웨이퍼로의 빔 전달을 개선하고 웨이퍼에서의 빔 크기를 감소시키는데, 이들 모두는 개선된 웨이퍼 처리량 및 주입 효율을 초래한다.
- <201> 도 13 및 도 17을 참조하여, 약 1keV 미만의 단일 입자 주입 에너지에서, 웨이퍼 상의 빔 전류는 흐름 제어 밸브(307) 및 튜브(309)를 통해 스윙 자석(310)의 진공 하우징 안으로 소량의 SF_6 가스(305)를 넣음으로써 1.5-2의 인자만큼 크게 개선될 수 있다. 이것은, SF_6 가 클러스터 이온과의 상호 작용을 통해 클러스터 이온 빔 내에서 음의 이온을 쉽게 형성하기 때문이다. 그러한 음의 중이온은 낮은 이동도를 갖고, 빔의 전기 전위 내에 활성화적으로(energetically) 잘 트랩되는 것은, 다른 경우 빔이 빔 라인의 수용 애퍼처를 지나 파열되도록 하는 빔 내의 내부 공간 전하력을 중성화하는 것에 효과적이다. SF_6 의 존재는 또한, 시준기(312)의 출구와 웨이퍼(70)의 위치 사이의 드리프트 영역에서 빔 파열을 감소시키는 결과로서 웨이퍼에서 전달된 빔크기를 50-70%만큼 크게 감소시킨다. 빔 전류를 개선시키는데 필요한 SF_6 의 전형적인 흐름 속도는 단지 $2-3E-6$ torr의 압력 상승을 생성하는 분당 0.1 표준 cc이다. SF_6 은 상대적으로 활성 가스이고, 그러한 낮은 압력에서의 SF_6 의 이용은 일반적으로 클러스터 이온 빔 자체와의 상호작용을 통해 또는 직접적으로 주입 프로세스에 불리한 것으로 생각되지 않는다.
- <202> 도 17a를 참조하면, 1keV 아래 및 특히 0.5keV 아래에서, 빔 전류는 도 3에 도시된 3개의 전극 감속 시스템(306)을 활성화함으로써 도 13에 도시된 실시예에서 추가로 개선된다. 최적의 동작에서, 감속율은 대략 2:1이고, 이것은 최종 감속된 에너지가 분석기 자석(302)을 통과하는 빔의 에너지의 거의 절반이라는 것을 의미한다. 중심 집속 전극(61)(도 3을 참조) 상의 전압(V_r)(65)은 분석기 자석의 분석기 진공 하우징(20)보다 약 1-3kV만큼 약간 더 많이 음이 된다. 그 현상이 완전히 이해되지 않더라도, 빔 전류가 약 100V의 단지 작은 감속 전압(V_d)을 인가함으로써 10-30%만큼 개선된다는 것을 낮은 에너지 구성에서 발견된다.

- <203> 도 17a에서 데이터에 의해 도시된 바와 같이, 감속 시스템(306)에 후속하는 영역에서 주입된, SF₆와 같은 중성화 가스의 이용은, 감속에 후속하는 빔의 낮은 에너지와, 도 13에 도시된 것과 같은 긴 빔 라인에서 공간-전하 파열에 대한 민감성으로 인해 특히 효율적이다.
- <204> 당업자는 낮은 에너지 이온 빔의 고유한 양의 공간 전하를 실질적으로 중성화하기 위해 가스 또는 증기를 이용하는 다른 구현, 즉 수증기(H₂O) 또는 BF₃과 같은 다른 음전기 가스를 이용하고, 4극자 또는 시준기 진공 챔버와 같은 긴 빔 라인의 분석기 자석 뒤의 다른 자석 안으로 가스 또는 증기를 넣고, 여기서 빔이 낮은 에너지에서 공간-전하 파열에 민감하다는 구현을 인식할 수 있다.
- <205> 이러한 시스템의 성능은, 일반적으로 클러스터 이온 및 특히 붕소 수소화물 이온을 이용함으로써 실현될 수 있는 드리프트-모드의 빔 전류의 실용성 및 큰 개선점을 보여준다. 그 결과는 이온 주입기 튜의 새로운 생성을 용이하게 하고, 그러한 빔이 이온 주입기에 공통적으로 사용된 일반적인 빔 라인 구조 및 진공 시스템에서 전달하기 어렵고 심지어 스케닝하기 어렵다는 것으로 판명될 수 있다는 이전에 그리고 약간 폭 넓게 유지된 사항을 갖는다. 스케닝 및 시준기 자석을 통해 긴 빔 경로에서조차, 가스 감쇠 측정은, 가스 스케터링, 중성화, 및 이온 붕괴로부터 빔 손실이 수%라는 것을 보여준다.
- <206> 도 1 및 도 13의 대안적인 실시예에는 이중 모드 이온 소스를 이용한다. T.Horsky에 의해 이전에 설명된 바와 같이, 이중 모드 이온 소스의 하나의 형태는 예를 들어 분자 이온을 생성하기 위해 방금 설명된 전자 충돌 모드, 또는 1가 및 다수의-대전된 이온의 높은 전류를 생성하기 위해 아크 방전 모드에서 동작할 수 있다. 각 동작 모드에서 생성된 이온은 동일한 이온 광학 시스템에 의해 동일한 슬롯-형 애퍼처를 통해 추출될 수 있고, 물론 도 4 또는 도 10a 내지 도 10d의 질량-선택 애퍼처(50)의 적합한 변형을 가지고, 분석기 자석의 동일한 큰 간격 및 본 명세서에 설명된 이온 주입기 빔 라인을 통과한다. 따라서, 예를 들어 6 내지 8mm의 좁은 애퍼처를 이용하여, 1가의 도펀트에 대해 질량 분해능(≥60)을 이용할 수 있는 한편, 훨씬 더 큰 질량 분석 애퍼처, 예를 들어 다수의 질량 피크로부터 전류를 이용하기 위해 B₁₈H_x 및 B₁₀H_x의 이온에 대해 28 또는 29mm의 애퍼처는 다수의 도펀트 원자를 갖는 분자 이온에 대해 이용된다.
- <207> 하나의 바람직한 형태에서, 이중 모드의 이온 소스는 형성된 전자 빔을 제공하기 위한 전자총과, 개별적인 아크 방출기를 갖도록 구성된다. 전자 충돌 이온화에 대해, 단지 전자총이 사용된다; 큰 1가의 전류 및 다수의-대전된 이온을 생성하기 위해, 아크 동작만이 사용되고, 아크 방출기는 버나스 소스에 공통적으로 사용된 것보다 일반적으로 낮은 세기를 통해 버나스-형 소스의 플라즈마 방전과 유사한 플라즈마 방전에 충돌한다. 그러한 이중 모드의 이온 소스는 증기 및 가스 입구 통로 모두와 병합한다.
- <208> 이중 모드의 이온 소스의 일례는 도 18에 도시된다. 이온 소스(11")는 도 14의 이온 소스와 유사하지만, 도 14의 빔 덤프(360)는 부재(280)로 대체되고, 이러한 부재(280)는 아크 방전 모드 동안, 필라멘트(390)에 의해 가열된 간접-가열 캐소드의 역할을 한다. 일반적으로 알려진 바와 같이, 간접-가열 캐소드의 이용은 소스 플라즈마로부터 떨어진, 높은 진공 환경에 멀리 위치하는 필라멘트로 인해 노출된 필라멘트 방출기보다 더 긴 수명을 허용한다.
- <209> 전자 충돌 이온화 모드에서, 전자총(340') 및 도 18의 실시예의 연관된 자기장은 도 14에 대해 설명된 것과 동일한 방식으로 수행된다. 전자 빔의 사용되지 않은 부분은 부재(380)(부재는 아크 방전 모드 동안 캐소드의 역할을 하도록 스위칭된다)에 의해 제공된 빔 덤프에 의해 차단될 수 있다.
- <210> 아크 방전 모드에서, 전자총(340')은 사용되지 않는다. 캐소드 부재(380)는 챔버(10")의 벽에 아크 방전을 생성하기 위해 가열 필라멘트(390)에 의해 전력 공급된다. 이것은 자기장(350')의 방향을 따라 플라즈마 컬럼(column)을 생성하고, 자기장은 일반적으로 약 100Gauss 미만이지만, 플라즈마 제한을 제공하는데 충분히 크다. 본 명세서에서 설명된 이전의 도면의 큰-간격 빔 전달 광학기기를 이용하는 실시예에서, 이온 추출 슬롯(12")은 높이(h_s)가 80mm이고 폭(w_s)이 10mm일 수 있다. 본 명세서에 설명된 큰-간격 빔 전달로 또한 이용될 수 있는 다른 실시예에서, 추출 슬롯은 예를 들어 100mm의 높이에서 12.5mm의 폭으로 증가될 수 있으면서, 여전히 60보다 큰 질량 분해능을 달성할 수 있다. 다른 더 작은 치수도 또한 가능하다. 종래의 버나스-형 플라즈마 소스에 대한 이러한 실시예의 큰 추출 영역으로 인해, 그리고 아크 방전의 적은 세기로 인해, 아크 방전 모드로 생성된 플라즈마 밀도는 전형적인 버나스 소스보다 더 적지만, 일반적으로 10¹¹ 이온/cm³보다 더 크고, 중간 선량의 종래의 주입 뿐 아니라 높은 선량의 낮은 에너지 클러스터 도핑 및 물질 변형 주입을 제공할 수 있는 범용의 이온 주입기에 매우 유용하다.

- <211> 도 19를 참조하면, 다른 실시예는 중간 전류 이온 주입기에 대해 도시된다. 붕소 수소화물 이온을 이용한 동작에 대해, 상이한 질량(416, 417, 418)의 이온은 전압을 추출 전극(414)에 인가함으로써 애퍼처(412)를 통해 이온 소스(410)로부터 추출된다. 그런 후에, 이온은 90도 분석 자석(426)으로 통과하고, 그런 후에 조정가능한 분해 질량 선택 애퍼처(450)를 통과한다. 원통형 4개의 전극 후치 가속기 구조(441, 442, 443)는 5-250keV의 범위에서 최종 에너지를 제공하기 위해 40keV의 소스 추출 에너지로부터 이온을 후치 가속하거나 감속시킬 수 있다. 후치 가속기의 중심 전극에는 조정가능한 전압이 공급될 수 있어서, 후치 가속기의 어느 한 측면 상에 위치된, 자기 또는 전기적으로, 후치 가속기 영역 및 4극자(440 및 441)를 통과할 때 이온 빔의 다양한 집속도를 얻게 된다. 후치 가속기에 따라, 후치 가속(또는 감속) 동안 부정확한 에너지로 생성된 이온 또는 중심 입자를 제거하는 최종 에너지 자석(444)이 있다. 최종 에너지 자석에 뒤이어, 스캐너 자석(446)과 동일한 방식으로 빔을 휘는, 시준기(448)와 연계하여 작용하는 자기 스캐너(446)가 후속한다.
- <212> 후치-가속기 집속 전극(442)과 연계하여 4극자(440 및 441)의 세기는 웨이퍼(70)에서 수직 및 수평 방향으로 빔 크기 및 각도 발산을 최적화하도록 조정될 수 있다. 더욱이, 매우 중요하게, 붕소 수소화물 이온, 및 일반적으로 클러스터 이온에 대해, 다른 경우 다수의 질량 이온의 존재를 초래하는 각도 편차를 최소화하는 것이 동시에 가능하다. 최종 에너지 자석(444)의 존재로 인해, 또한 후치-가속기 집속 전극(442)과 연계하여 4극자(440 및 441)의 세기를 조정할 수 있어서, 실질적으로 제거된 다수의 질량 이온으로부터 각도 편차 뿐 아니라 다수의 질량 이온의 존재로부터의 수평 확장은 웨이퍼(70)에 걸쳐 스캐닝할 때 빔에서 실질적으로 제거될 수 있다. 상이한 질량 이온(416, 417, 418)에 대한 중심 광선의 경로는 집속 전극(442) 근처의 419에서 교차한다. 이것은 최종 에너지 자석(444), 빔 스캐너 자석(446), 및 시준기(448)에서 발생하는 후속적인 집합 질량 분산을 보상한다. 이러한 특징은 주입 품질을 개선하고 웨이퍼 처리량을 최대화하기 위해 중간 전류 주입기에서 상업적으로 유용하다.
- <213> 도 19의 실시예에 이용된 이온 소스 및 추출 광학기기는 도 14 내지 도 16b 및 도 18에 대해 설명된 것의 적합한 축척의 버전일 수 있다.
- <214> 다수의 실시예가 설명되었다. 그럼에도 불구하고, 다양한 변형이 본 발명의 사상 및 범주에서 벗어나지 않고도 이루어질 수 있다는 것이 이해될 것이다. 따라서, 다른 실시예는 다음 청구범위 내에 있다.

산업상 이용 가능성

- <215> 상술한 바와 같이, 본 발명은, 붕소 수소화물 혼합물인 데카보렌 B₁₀H₁₄ 및 옥타데카보렌 B₁₈H₂₂로부터 생성된 이온을 포함하는 도펀트 종의 많은 원자를 포함하는 실질적으로 더 큰 분자 이온과 같은 공통적인 1가의 도펀트 이온 종 및 클러스터 이온의 주입을 가능하게 하기 위해 구성되는 다목적 이온 주입기 빔 라인 구조 등에 이용된다.

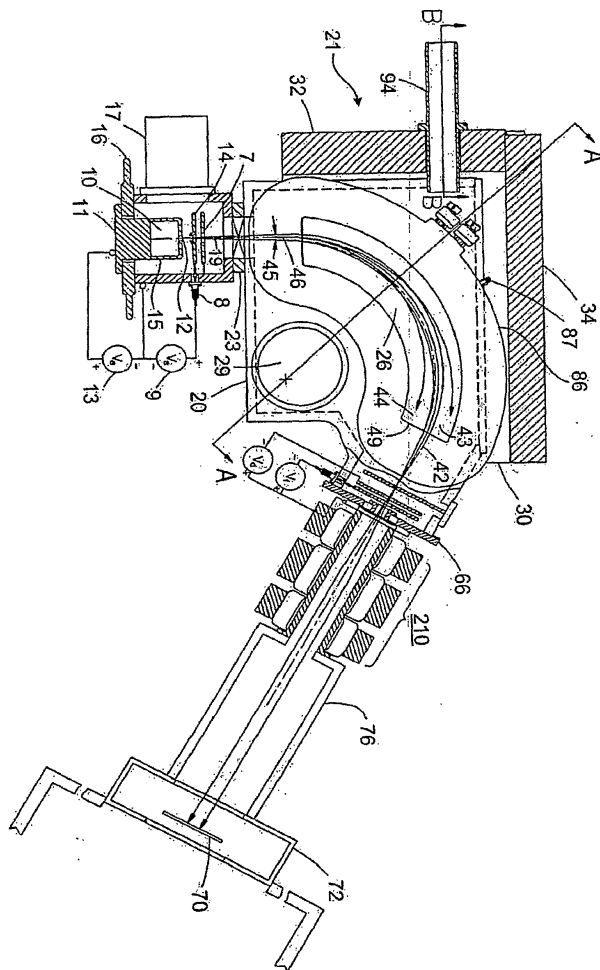
도면의 간단한 설명

- <91> 도 1은 섹터 질량 분석 자석을 이용하는 이온 주입기를 도시한 개략도.
- <92> 도 2는 단면 라인 A-A 및 B-B를 따라 도 1의 자기 분석기를 통과하는 단면도.
- <93> 도 3은 도 1에 도시된 감속기의 확대도.
- <94> 도 4는 분석기 자석의 고전압 절연된 코일을 도시한 단면도.
- <95> 도 5는 도 4에 도시된 코일 단면의 부분을 확대한 도면.
- <96> 도 6은 상이한 질량의 이온 경로를 도시하는 개략도.
- <97> 도 7은 휨 각도를 갖는 분산 변이(D/R)를 도시한 도면.
- <98> 도 8a 및 도 8b는 분석기 극 형태의 단면도.
- <99> 도 8c는 극의 장착의 세부사항을 확대한 도면.
- <100> 도 9는 옥타데카보란의 높은 분해능 질량 스펙트럼을 도시한 도면.
- <101> 도 10a 내지 도 10d는 조정가능한 질량 분해 애퍼처 장치를 도시한 도면.
- <102> 도 11은 이온 소스의 영역에서 수평 평면에서의 빔 엔벨로프(envelope)를 도시한 도면.

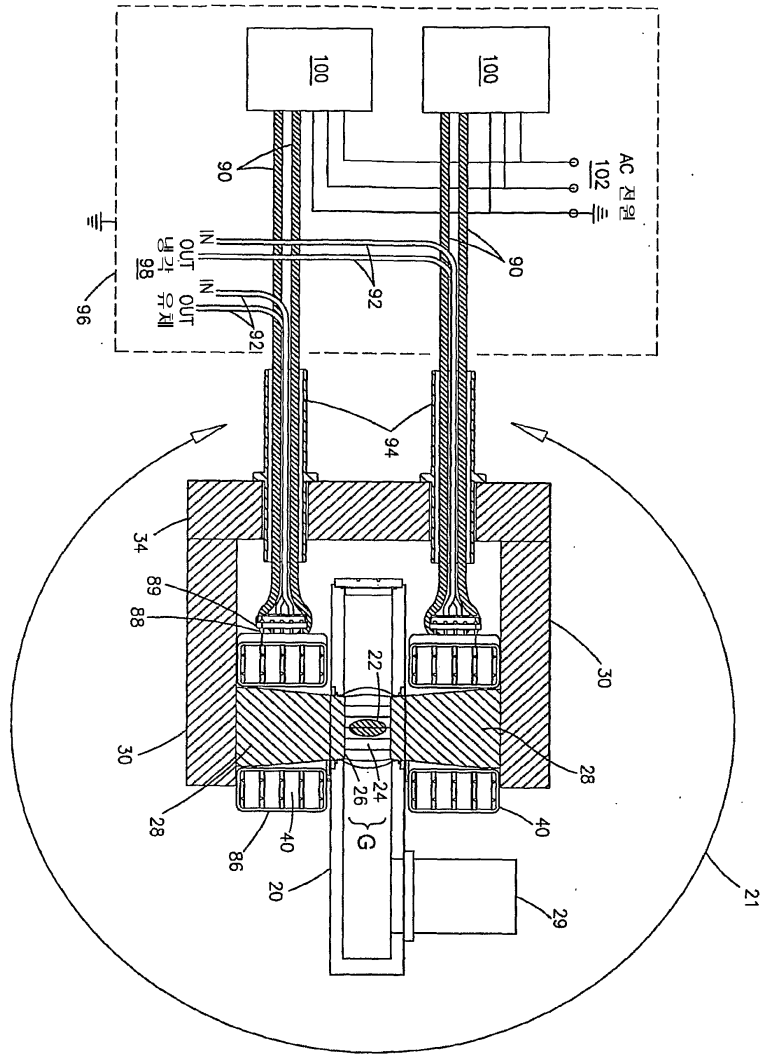
- <103> 도 12a 및 도 12b는 각각 자기 4극자 트리플렛의 종단면 및 횡단면을 도시한 도면.
- <104> 도 13은 자기 스캐닝-빔 라인의 중간 평면 단면을 도시한 사시도.
- <105> 도 14는 도 1 및 도 13의 실시예에 유용한 이온 소스의 추출된 이온 빔의 평면에서 수직 단면을 도시한 도면.
- <106> 도 14a는 도 1 및 도 13의 실시예에 유용한 이온 소스의 다른 유용한 전극 형태의 예를 도시한 도면.
- <107> 도 15a 및 도 15b는 도 14의 이온 소스와 연관된 이온 추출 시스템을 각각 빔 라인의 분산 및 비-분산 평면에서 도시한 도면.
- <108> 도 16a 및 도 16b는 도 12a 및 도 12b의 4극자 트리플렛을 통과하는 이온 빔 엔벨로프를 각각 빔 라인의 분산 및 비-분산 평면에서 도시한 도면.
- <109> 도 17은 도 13에 대응하는 시스템의 동작 동안 측정된 주입 에너지에 대한 입자 붕소 빔 전류를 도시한 그래프.
- <110> 도 17a는 SF₆ 및 감속을 이용하여 주입 에너지에 대한 입자 붕소 빔 전류를 도시한 그래프.
- <111> 도 18은 이중 모드의 이온 소스를 도시한 도 14와 유사한 도면.
- <112> 도 19는 중간 전류 주입기를 위한 빔 라인을 도시한 개략도.

도면

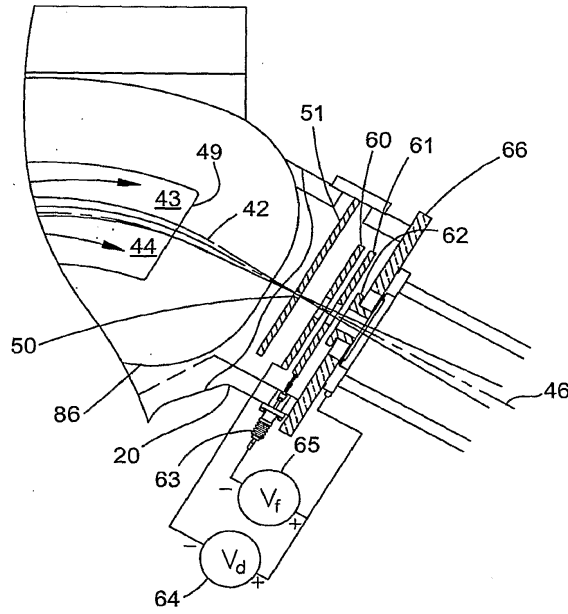
도면1



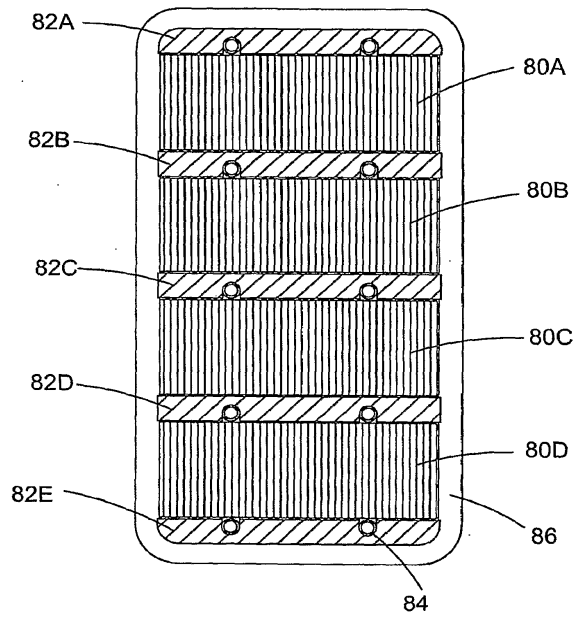
도면2



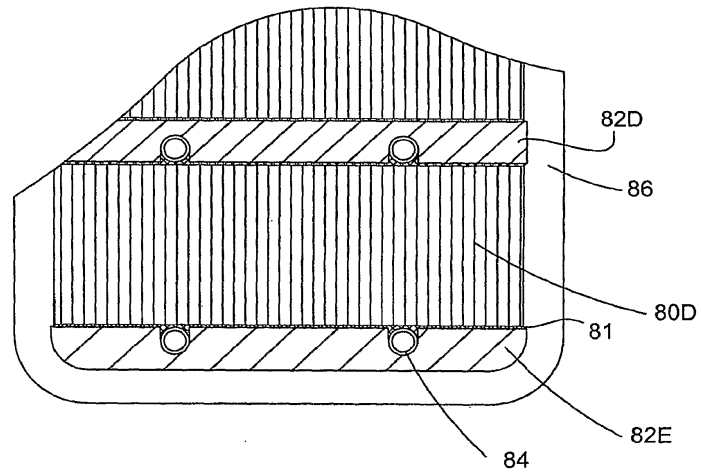
도면3



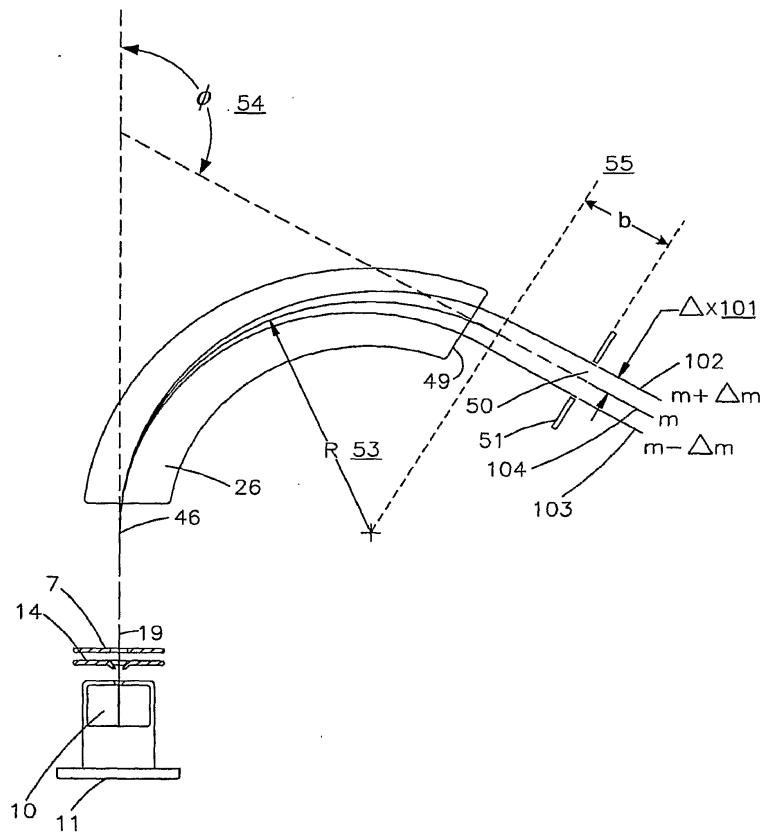
도면4



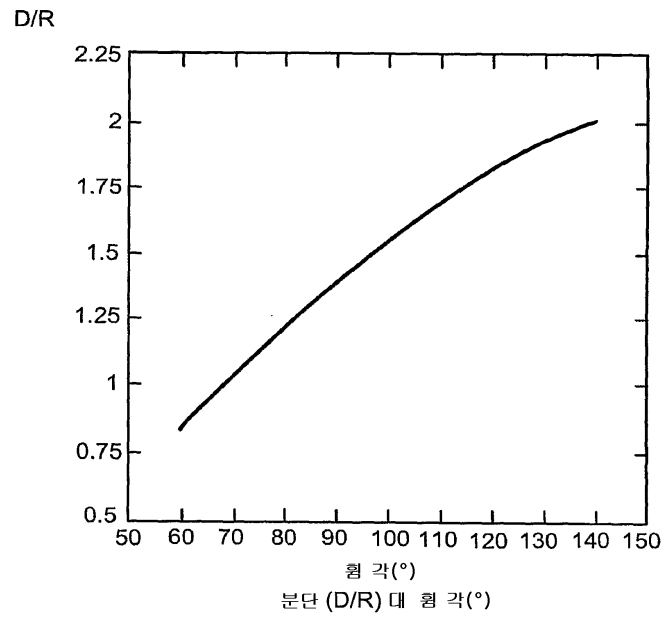
도면5



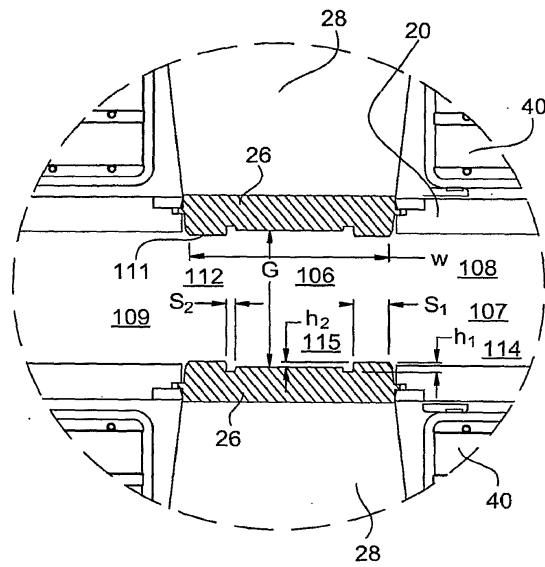
도면6



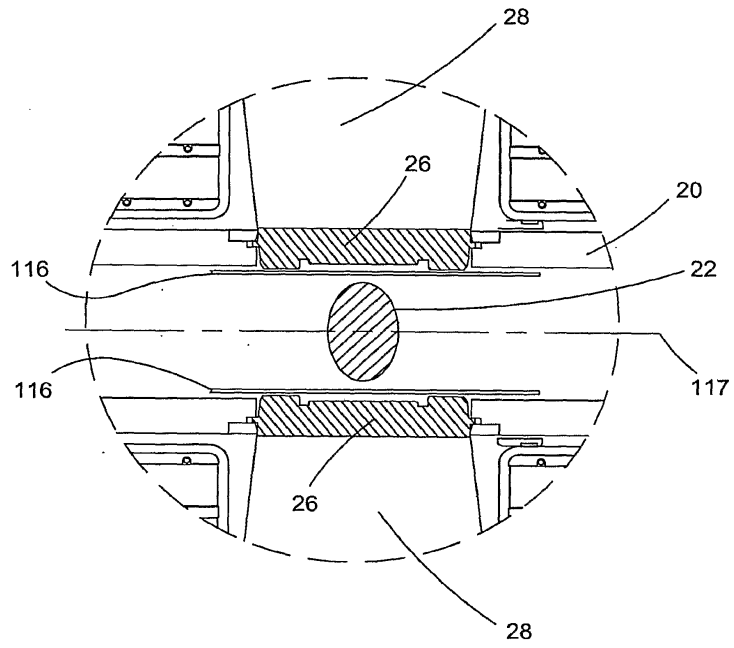
도면7



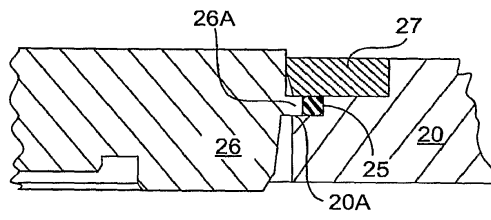
도면8a



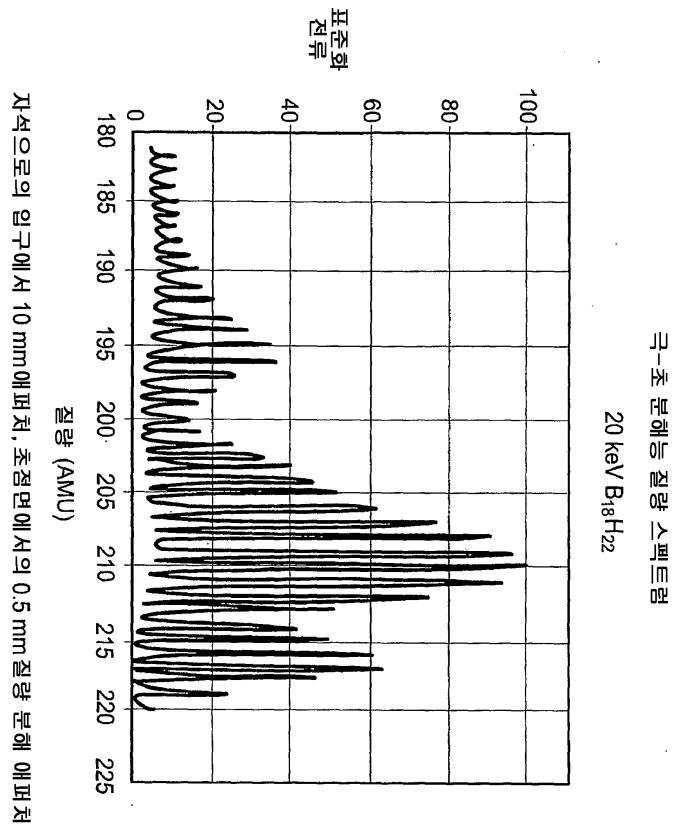
도면8b



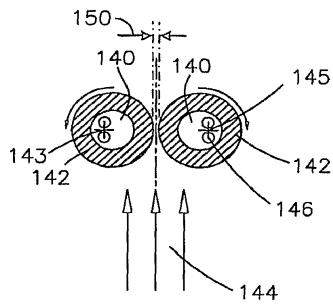
도면8c



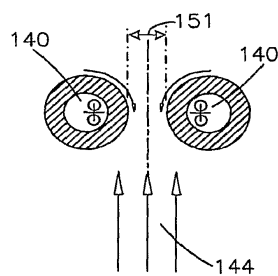
도면9



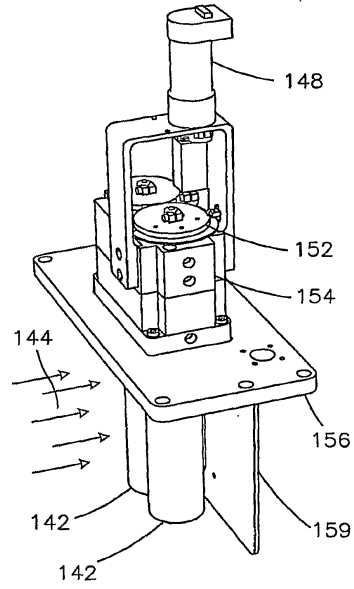
도면10a



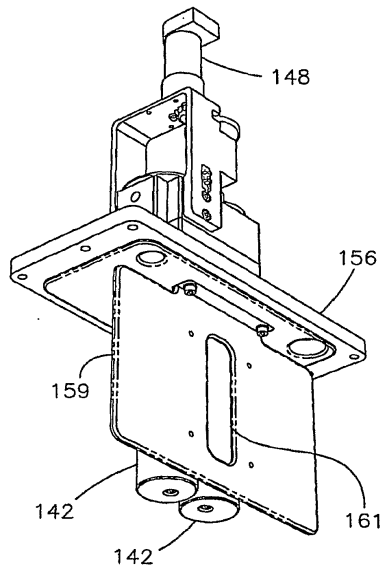
도면10b



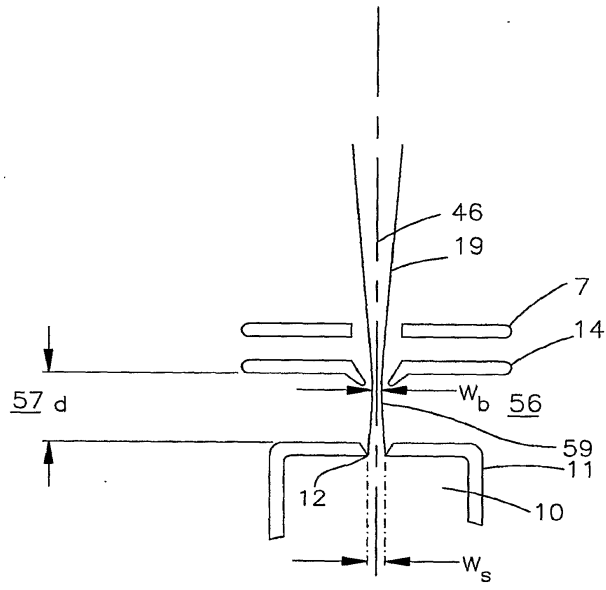
도면10c



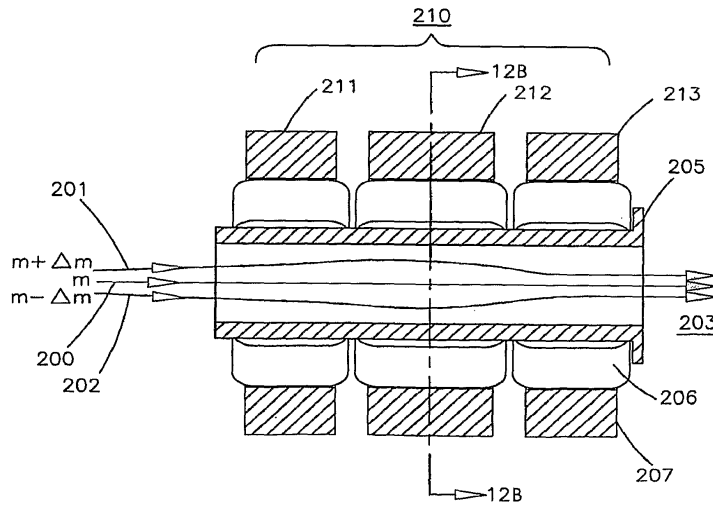
도면10d



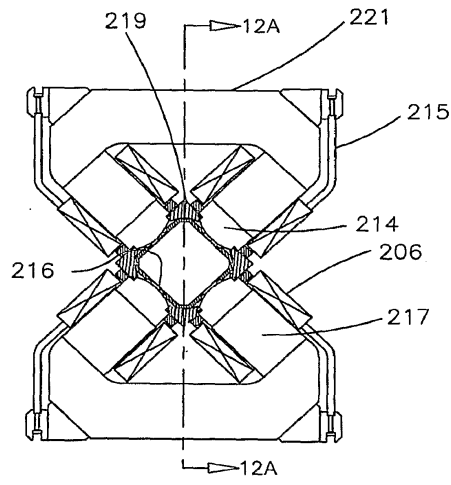
도면11



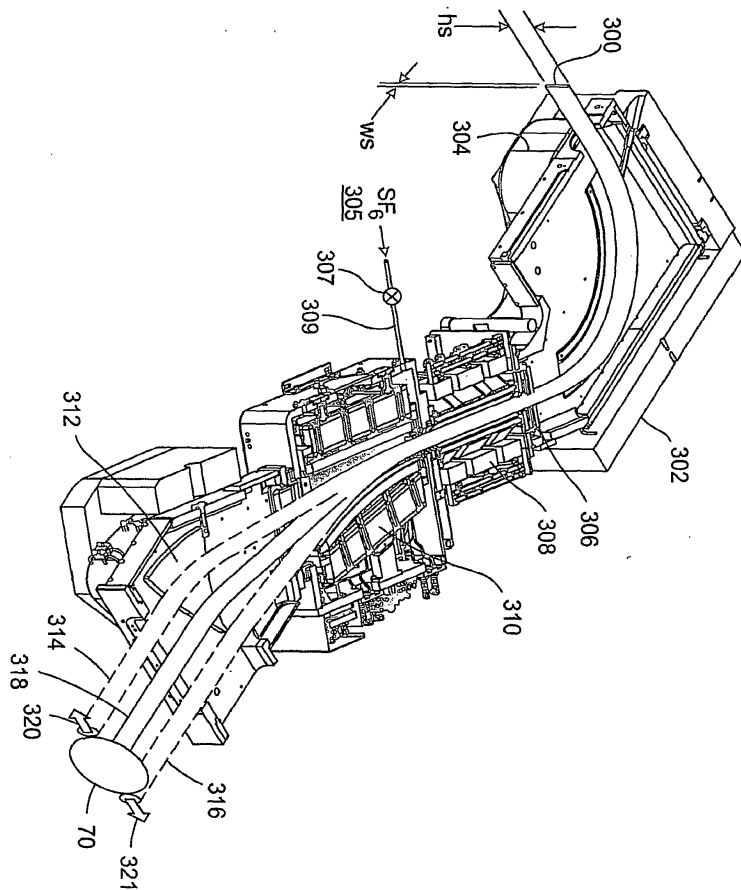
도면12a



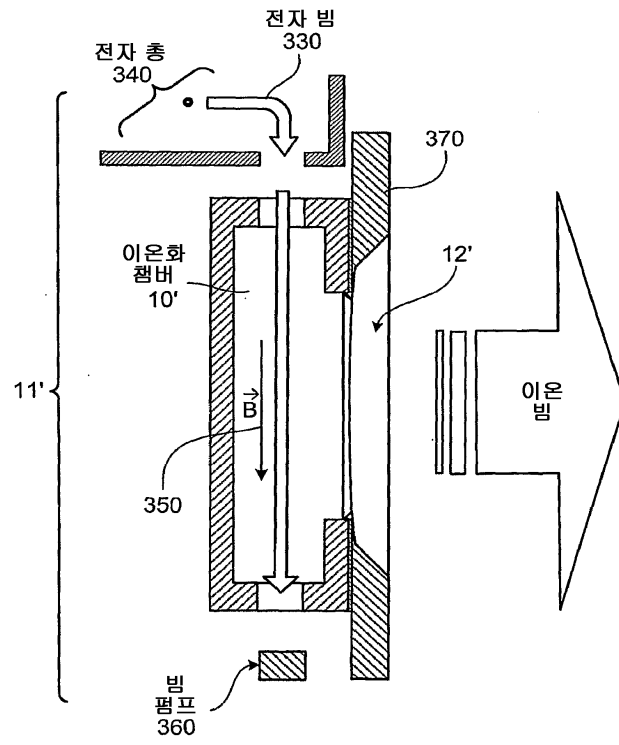
도면12b



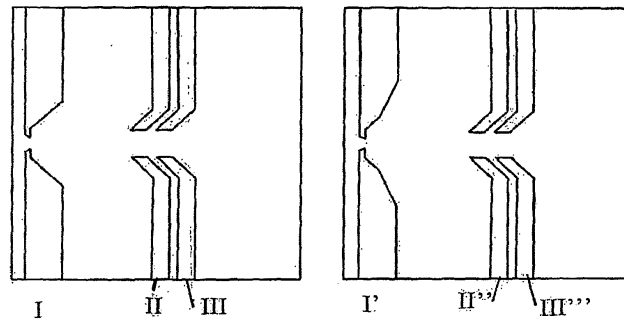
도면13



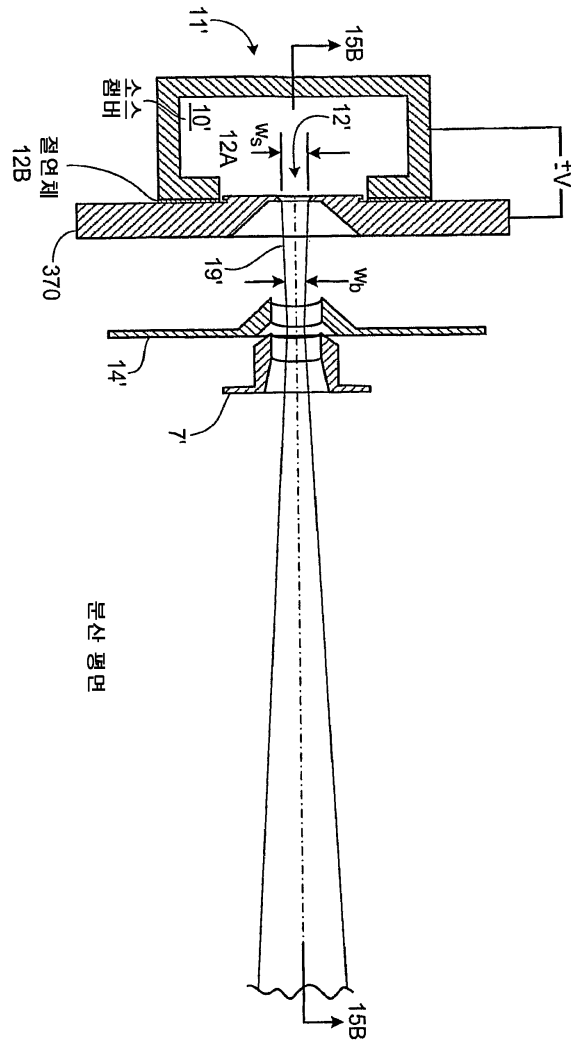
도면14



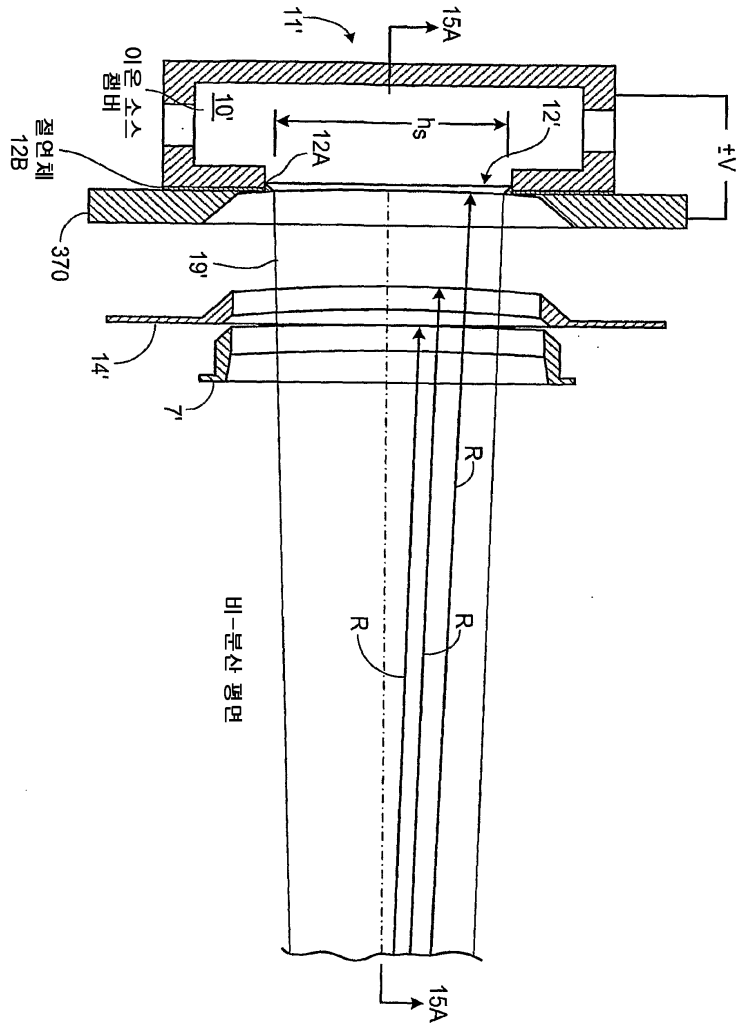
도면14a



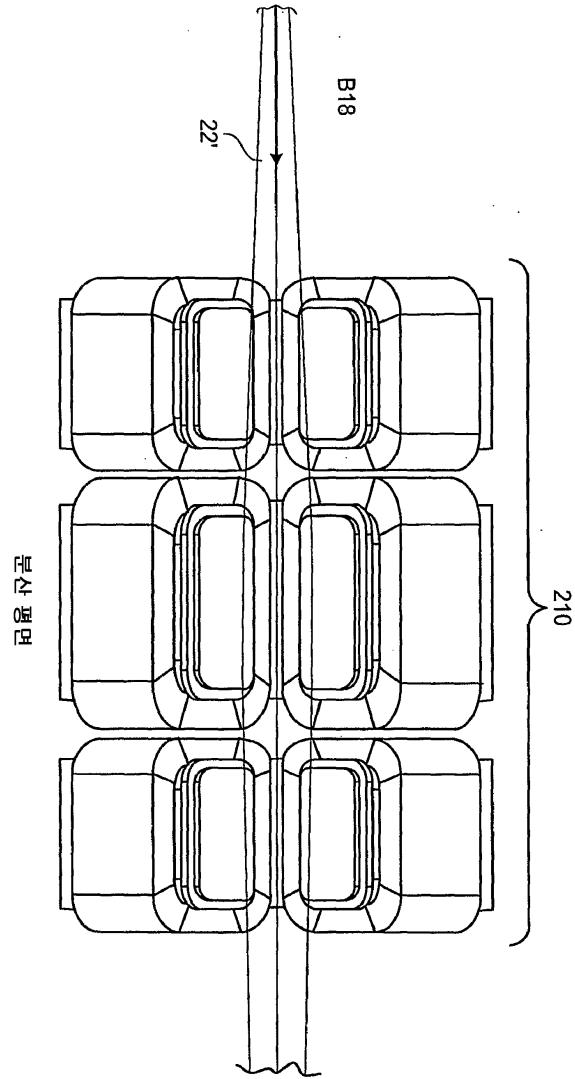
도면15a



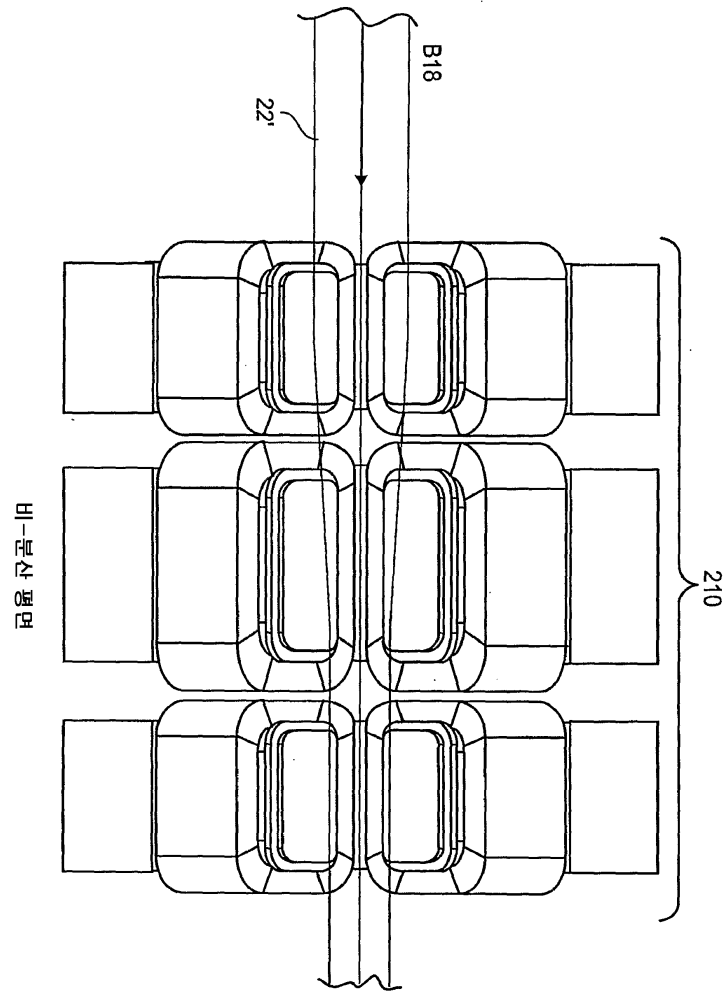
도면15b



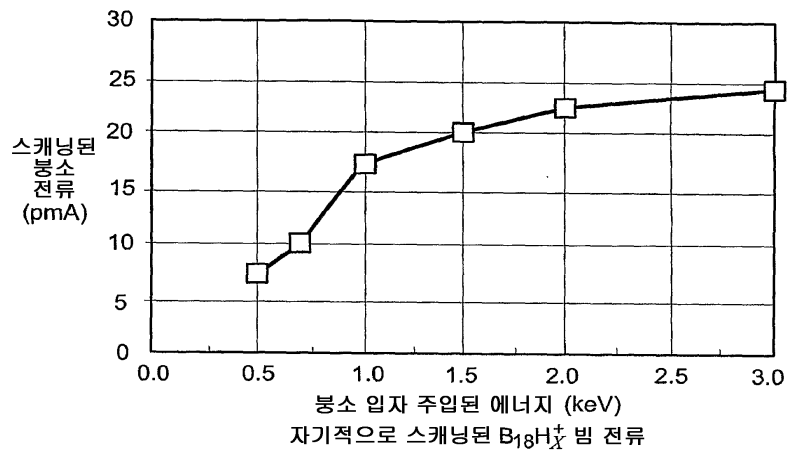
도면16a



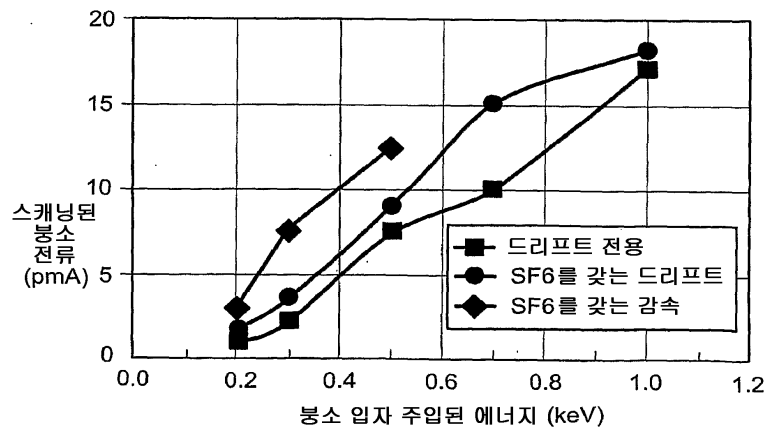
도면16b



도면17



도면17a



도면18

