



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년02월12일
 (11) 등록번호 10-1828633
 (24) 등록일자 2018년02월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01L 21/265 (2006.01)
 (21) 출원번호 10-2013-0156421
 (22) 출원일자 2013년12월16일
 심사청구일자 2016년09월01일
 (65) 공개번호 10-2014-0113301
 (43) 공개일자 2014년09월24일
 (30) 우선권주장
 13/833,668 2013년03월15일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020080033123 A*
 KR1020060045964 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 닛신 이온기기 가부시기가이샤
 일본국 교토후 교토시 미나미구 쿠제 토노시로쵸 575만지
 (72) 발명자
 하토 사미 케이
 미국 뉴햄프셔주 03062 내슈아 오턴 글렌 서클 17
 하마모토 나리아키
 일본국 601-8205 교토후 교토시 미나미구 쿠제 토노시로쵸 575만지 닛신 이온기기 가부시기가이샤 나이
 이고 테츠야
 일본국 601-8205 교토후 교토시 미나미구 쿠제 토노시로쵸 575만지 닛신 이온기기 가부시기가이샤 나이
 (74) 대리인
 김진희, 김태홍

전체 청구항 수 : 총 20 항

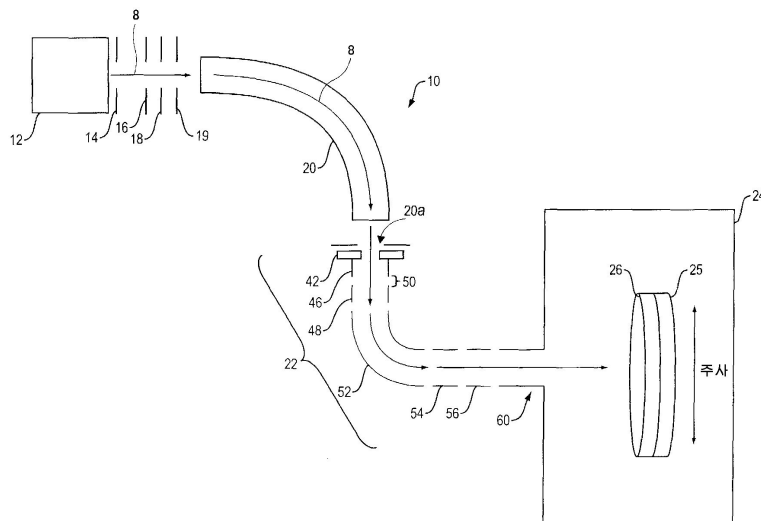
심사관 : 조성수

(54) 발명의 명칭 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템 및 이온 주입 시스템

(57) 요약

일부 국면에 있어서, 개시하는 이온 주입 시스템은 리본 이온빔을 발생시키기 위한 이온원과, 리본 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도를 조정하여 전류 밀도 프로파일이 원하는 균일성을 나타내는 것을 확실하게 하는 적어도 하나의 보정 장치를 포함한다. 이온 주입 시스템은, 이온빔을 성형하고 엔드 스테이션으로 유도하여 기관에 입사시키기 위한 분석 마그넷, 정전 편향기 및 집속 렌즈 등의 다른 요소를 더 포함할 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 본 개시는 기관의 직경보다 큰 세로 치수를 갖는 공칭상 1차원의 리본빔을 발생시켜, 이온이 기관에 고도의 세로 방향의 프로파일 균일성을 갖는 상태로 주입되는 것을 가능하게 한다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

리본 이온빔의 에너지를 변경하기 위한 시스템에 있어서,

리본 이온빔을 발생시키도록 구성된 이온원과,

상기 리본 이온빔을 받아서, 상이한 질량 대 전하 비를 갖는 이온빔의 이온을 분산면에서 분리시키는 분석 마그넷과,

상기 분석 마그넷의 하류측에 배치되며, 질량 분산된 리본 이온빔을 받아서, 질량 선택된 리본 이온빔을 발생시키기 위해 상기 받은 이온빔의 일부를 통과시키는 질량 분석 개구와,

상기 질량 분석 개구의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 리본 이온빔을 받아서 이 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성된 보정 장치와,

상기 보정 장치의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔이 통과할 때에 이온빔을 감속 또는 가속시키기 위한 감속/가속 영역을 획정하는 적어도 하나의 감속/가속 요소와,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 집속 렌즈와,

상기 집속 렌즈의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 편향을 생기게 하는 정전 편향기 (electrostatic bend)

를 포함하고,

상기 집속 렌즈는 적어도 하나의 집속 요소를 포함하며,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 2개의 대향하는 등전위의 전극을 포함하고,

상기 적어도 하나의 집속 요소는 상기 이온빔을 받기 위한 갭을 형성하도록 간격을 둔 한 쌍의 전극을 포함하며,

상기 정전 편향기는 상이한 전위로 유지되는 외측 전극과, 대향하는 내측 전극을 포함하는 것인, 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 보정 장치는, 간격을 둔 복수의 전극 쌍으로서, 상기 이온빔의 세로 치수를 따라 적층되고, 각 쌍의 전극이 상기 이온빔을 통과시키기 위한 갭을 형성하도록 떨어져 배치되어 있는 복수의 전극 쌍을 포함하고,

상기 전극 쌍은 이온빔을 상기 세로 치수를 따라 국소적으로 편향시키기 위해서, 정전 전압의 인가에 의해서 개별적으로 바이어스 가능하게 구성되는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 전극 쌍은, 상기 이온빔의 진행 방향과 상기 이온빔의 세로 치수에 의해 형성되는 평면과 평행하게 배치된 전극판을 포함하는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 정전 전압을 상기 보정 장치의 전극 쌍에 인가하기 위한 적어도 하나의 전압원을 더 포함하는 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 전극 쌍에 대한 상기 정전 전압의 인가를 제어하기 위해서 상기 적어도 하나의 전압원과 통신하는 제어를 더 포함하는 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

리본 이온빔의 에너지를 변경하기 위한 시스템에 있어서,

리본 이온빔을 발생시키도록 구성된 이온원과,

상기 리본 이온빔을 받아서, 상이한 질량 대 전하 비를 갖는 이온빔의 이온을 분산면에서 분리시키는 분석 마그넷과,

상기 분석 마그넷의 하류측에 배치되며, 질량 분산된 리본 이온빔을 받아서, 질량 선택된 리본 이온빔을 발생시키기 위해 상기 받은 이온빔의 일부를 통과시키는 질량 분석 개구와,

상기 질량 분석 개구의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 리본 이온빔을 받아서 이 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성된 보정 장치와,

상기 보정 장치의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔이 통과할 때에 이온빔을 감속 또는 가속시키기 위한 감속/가속 영역을 획정하는 적어도 하나의 감속/가속 요소와,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 집속 렌즈와,

상기 집속 렌즈의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 편향을 생기게 하는 정전 편향기를 포함하고,

상기 집속 렌즈는 적어도 하나의 집속 요소를 포함하며,

상기 적어도 하나의 집속 요소 및 상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 이들 사이에 갭을 형성하도록 서로 배치되고,

상기 적어도 하나의 집속 요소 및 상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 이온이 상기 갭을 통과할 때 감속 또는 가속되도록 상이한 전위로 유지되는 것이며,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 2개의 대향하는 등전위의 전극을 포함하고,

상기 적어도 하나의 집속 요소는 상기 이온빔을 받기 위한 갭을 형성하도록 간격을 둔 한 쌍의 전극을 포함하며,

상기 정전 편향기는 상이한 전위로 유지되는 외측 전극과, 대향하는 내측 전극을 포함하는 것인, 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 9

리본 이온빔의 에너지를 변경하기 위한 시스템에 있어서,

리본 이온빔을 발생시키도록 구성된 이온원과,

상기 리본 이온빔을 받아서, 상이한 질량 대 전하 비를 갖는 이온빔의 이온을 분산면에서 분리시키는 분석 마그넷과,

상기 분석 마그넷의 하류측에 배치되며, 질량 분산된 리본 이온빔을 받아서, 질량 선택된 리본 이온빔을 발생시키기 위해 상기 받은 이온빔의 일부를 통과시키는 질량 분석 개구와,

상기 질량 선택된 리본 이온빔을 받아서 이 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성

된 보정 장치와,

상기 질량 선택된 이온빔이 통과할 때에 이온빔을 감속 또는 가속시키기 위한 감속/가속 영역을 획정하는 적어도 하나의 감속/가속 요소와,

상기 질량 선택된 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 집속 렌즈와,

상기 감속/가속 영역의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 편향을 생기게 하는 정전 편향기를 포함하고,

상기 집속 렌즈는 적어도 하나의 집속 요소를 포함하며,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 상기 보정 장치의 하류측에 배치되고, 상기 적어도 하나의 집속 요소는 상기 감속/가속 요소의 하류측에 배치되며, 상기 정전 편향기는 상기 집속 렌즈의 하류에 배치되고,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 2개의 대향하는 등전위의 전극을 포함하고,

상기 적어도 하나의 집속 요소는 상기 이온빔을 받기 위한 껍을 형성하도록 간격을 둔 한 쌍의 전극을 포함하며,

상기 정전 편향기는 상이한 전위로 유지되는 외측 전극과, 대향하는 내측 전극을 포함하는 것인, 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 집속 요소는 상기 정전 편향기의 적어도 하나의 전극에 대하여 함께 껍을 형성하도록 배치되고, 상기 집속 요소, 및 상기 정전 편향기의 적어도 하나의 전극은 상기 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 전계를 상기 껍 내에 발생시키도록 상이한 전위로 유지되는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 11

제5항에 있어서, 상기 제어기는 상기 보정 장치의 전극 쌍에 인가되는 전압을 시간적으로 변화시켜, 상기 세로 치수를 따라 이온빔의 진동 운동을 생기게 하도록 구성되는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 제어기는 상기 이온빔의 진동 운동을 생기게 하기 위해, 상기 세로 치수를 따라 상기 보정 장치의 전극 쌍에, 선형적 상승 및 선형적 하강을 교대로 하는 전압을 인가하는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 13

삭제

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 정전 편향기는, 상기 내측 전극의 하류측에 배치되며 상기 외측 전극에 대향하는 중간 전극을 더 포함하고,

상기 내측 전극 및 상기 중간 전극은 독립된 전위의 인가에 적합하게 구성되는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 외측 전극은 상류측 부분 및 하류측 부분을 포함하고, 이 상류측 부분 및 하류측 부분은 상기 하류측 부분이 상기 이온빔 중에 존재하는 중성종의 적어도 일부분을 포착할 수 있는 각도로 서로 배치되는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 16

제1항에 있어서, 상기 정전 편향기의 하류측에 배치된 다른 보정 장치를 더 포함하고, 상기 다른 보정 장치는

상기 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성되는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 다른 보정 장치는, 간격을 둔 복수의 전극 쌍으로서, 상기 이온빔의 세로 치수를 따라 적층되며 각 쌍의 전극이 상기 이온빔을 통과시키기 위한 갭을 형성하도록 떨어져 배치되어 있는 복수의 전극 쌍을 포함하며,

상기 전극 쌍은 이온빔을 상기 세로 치수를 따라 국소적으로 편향시키기 위해, 정전 전압의 인가에 의해 개별적으로 바이어스 가능하도록 구성되는 것인 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 18

리본 이온빔의 에너지를 변경하기 위한 시스템에 있어서,

리본 이온빔을 발생시키도록 구성된 이온원과,

상기 리본 이온빔을 받아서, 상이한 질량 대 전하 비를 갖는 이온빔의 이온을 분산면에서 분리시키는 분석 마그넷과,

상기 분석 마그넷의 하류측에 배치되며, 질량 분산된 리본 이온빔을 받아서, 질량 선택된 리본 이온빔을 발생시키기 위해 상기 받은 이온빔의 일부를 통과시키는 질량 분석 개구와,

상기 질량 분석 개구의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 리본 이온빔을 받아서 이 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성된 보정 장치와,

상기 보정 장치의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔이 통과할 때에 이온빔을 감속 또는 가속시키기 위한 감속/가속 영역을 획정하는 적어도 하나의 감속/가속 요소와,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 집속 렌즈와,

상기 집속 렌즈의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 편향을 생기게 하는 정전 편향기와,

상기 정전 편향기의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성되는 다른 보정 장치와,

상기 다른 보정 장치의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 다른 집속 렌즈

를 포함하고,

상기 집속 렌즈는 적어도 하나의 집속 요소를 포함하며,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 2개의 대향하는 등전위의 전극을 포함하고,

상기 적어도 하나의 집속 요소는 상기 이온빔을 받기 위한 갭을 형성하도록 간격을 둔 한 쌍의 전극을 포함하며,

상기 정전 편향기는 상이한 전위로 유지되는 외측 전극과, 대향하는 내측 전극을 포함하는 것인, 리본 이온빔의 에너지 변경 시스템.

청구항 19

이온 주입 시스템에 있어서,

리본 이온빔을 발생시키도록 구성된 이온원과,

상기 리본 이온빔을 받아서, 상이한 질량 대 전하 비를 갖는 이온빔의 이온을 분산면에서 분리시키는 분석 마그넷과,

상기 분석 마그넷의 하류측에 배치되며, 질량 선택된 리본 이온빔을 발생시키기 위해 상기 분리된 이온의 일부를 통과시키는 질량 분석 개구와,

상기 질량 분석 개구의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 리본 이온빔을 받아서, 이 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하여, 상기 세로 치수를 따른 균일한 전류 밀도 프로파일을 갖는 출력 리본 이온빔을 발생시키도록 구성된 보정 시스템을 포함하고,

상기 보정 시스템은,

상기 질량 분석 개구의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 리본 이온빔을 받아서 이 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성된 보정 장치와,

상기 보정 장치의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔이 통과할 때에 이온빔을 감속 또는 가속시키기 위한 감속/가속 영역을 획정하는 적어도 하나의 감속/가속 요소와,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소의 하류측에 배치되며, 상기 질량 선택된 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 집속 렌즈와,

상기 집속 렌즈의 하류측에 배치되며, 상기 이온빔의 진행 방향을 변경하기 위한 정전 편향기를 포함하고,

상기 집속 렌즈는 적어도 하나의 집속 요소를 포함하며,

상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 2개의 대향하는 등전위의 전극을 포함하고,

상기 적어도 하나의 집속 요소는 상기 이온빔을 받기 위한 껍을 형성하도록 간격을 둔 한 쌍의 전극을 포함하며,

상기 정전 편향기는 상이한 전위로 유지되는 외측 전극과, 대향하는 내측 전극을 포함하는 것인, 이온 주입 시스템.

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

제19항에 있어서, 상기 보정 시스템은, 상기 질량 선택된 이온빔 중에 존재하는 중성종의 적어도 일부분을 제거하도록 구성되는 것인 이온 주입 시스템.

청구항 23

제19항에 있어서, 기관을 유지하기 위한 엔드 스테이션(end-station)을 더 포함하고, 상기 출력 리본 이온빔은 상기 기관에 입사하도록 상기 엔드 스테이션을 향해 진행하는 것인 이온 주입 시스템.

청구항 24

제19항에 있어서, 상기 보정 시스템은, 상기 이온빔의 진행 방향을 조정하여, 상기 출력 리본 이온빔이 기관의 표면과 원하는 각도를 형성하는 방향을 따라서 상기 기관의 표면에 입사하도록 구성되는 것인 이온 주입 시스템.

청구항 25

제19항에 있어서, 상기 보정 시스템은 상기 출력 리본 이온빔에 의해서 기관 내에 주입된 이온의 도즈량 균일성을 개선하기 위해 이온빔의 진동 운동을 생기게 하는 것인 이온 주입 시스템.

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 일반적으로 이온 주입 시스템 및 이온 주입 방법에 관한 것이며, 리본 이온빔의 전류 밀도를 조정하여 그것의 프로파일 균일성을 높이기 위한 시스템 및 방법을 포함한다.

배경 기술

[0002] 이온 주입 기술은 집적 회로를 제작하는 목적으로 이온을 반도체 내에 주입하기 위해서 30년 이상에 걸쳐 채용되어 왔다. 전통적으로는, 3가지 타입의 이온 주입 장치가 그와 같은 이온 주입에 채용되고 있는데, 즉 중전류, 대전류 및 고에너지의 주입 장치이다. 대전류의 이온 주입 장치에 포함되는 이온원은 통상적으로 공간 전하 효과를 개선하기 위해서 고 에스펙트비(high aspect ratio)를 갖는 슬롯 형상의 인출 개구를 포함한다. 그와 같은 이온원으로부터 인출된 1차원 이온빔은 그 빔이 입사(入射)하는 웨이퍼에서 실질적으로 라운드형의 빔 프로파일을 생성하기 위해서 타원형의 프로파일로 집속될 수 있다.

[0003] 최근의 몇몇 상업적인 대전류 이온 주입 장치는 공칭상 1차원 프로파일을 나타내는 소위 리본 이온빔을 웨이퍼에 조사하여 거기에 이온을 주입한다. 그와 같은 리본 이온빔의 사용은 웨이퍼 처리에 있어서 여러 가지 이점을 제공한다. 예컨대, 리본 이온빔은 웨이퍼 직경을 넘는 긴 치수를 가질 수 있기 때문에, 웨이퍼 전체에 걸쳐 이온을 주입하기 위해서 웨이퍼를 이온빔의 진행 방향과 직교하는 1차원으로만 주사(走査)할 때에, 그 이온빔을 정지 상태로 유지할 수 있다. 또한, 리본 이온빔에 의해 웨이퍼에서 대전류를 고려할 수 있다.

[0004] 이온 주입을 위한 리본 이온빔의 사용은 그러나 몇가지 과제를 야기한다. 예를 들면, 주입된 이온의 만족할 수 있는 도즈량 균일성(dose uniformity)을 얻기 위해서는 이온빔의 세로 방향 프로파일의 높은 균일성이 필요하다. 웨이퍼 사이즈가 증대함에 따라서(예컨대, 현재 유력한 300 mm 웨이퍼를 대신하여 차세대 450 mm 웨이퍼가 대두됨에 따라서), 그와 같은 웨이퍼의 처리에 이용되는 리본 이온빔의 만족할 수 있는 세로 방향의 균일성을 달성하는 것이 보다 어려워진다.

[0005] 몇몇 종래의 이온 주입 시스템에서는, 빔수송 시에 이온빔의 전하 밀도를 변경하기 위해 보정용 광학계를 이온빔 라인에 포함시키고 있다. 이 방법은, 그러나 이온원으로부터의 인출 시에 이온빔 프로파일이 강한 비균일성을 나타낼 경우, 또는 공간 전하의 작용 또는 빔수송 광학계에 의해 야기되는 수차가 원인인 경우에, 통상 충분한 이온빔 균일성을 실현하는 것은 가능하지 않다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 미국 특허 제6,664,547호

(특허문헌 0002) 미국 특허 제7,791,041호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 따라서, 원하는 에너지 및 고도의 프로파일 균일성을 갖는 리본 이온빔을 발생시키기 위한 강화된 시스템 및 방법을 포함하는, 이온 주입을 위한 개량된 시스템 및 방법에 대한 요구가 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 일 국면에 있어서, 리본 이온빔의 에너지를 변경하기 위한 시스템이 개시되며, 이 시스템은, 리본 이온빔을 받아서, 이 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성된 보정 장치와, 상기 이온빔이 통과할 때에 이온빔을 감속 또는 가속시키기 위한 감속/가속 영역을 획정하는 적어도 하나의 감속/가속 요소와, 상기 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 집속 렌즈와, 상기 이온빔의 편향을 생기게 하기 위해

서 상기 감속/가속 영역의 하류측에 배치된 정전 편향기를 포함한다.

- [0009] 일부 실시형태에 있어서, 상기 보정 장치는, 간격을 둔 복수의 전극 쌍으로서, 상기 이온빔의 세로 치수를 따라 적층되며 각 쌍의 전극이 상기 이온빔을 통과시키기 위한 갭을 형성하도록 떨어져 배치되어 있는 복수의 전극 쌍을 포함할 수 있으며, 상기 전극 쌍은 이온빔을 상기 세로 치수를 따라 국소적으로 편향시키기 위해, 정전 전압의 인가에 의해서 개별적으로 바이어스 가능하도록 구성되어 있다. 여러 상이한 전극 타입을 채용할 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 상기 전극 쌍은 상기 이온빔의 진행 방향 및 상기 이온빔의 세로 치수에 의해 형성되는 평면과 실질적으로 평행하거나 수직으로 배치된 전극판을 포함할 수도 있다. 상기 시스템은 상기 정전 전압을 상기 보정 장치의 전극 쌍에 인가하기 위한 적어도 하나의 전압원을 더 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 적어도 하나의 전압원과 통신하는 제어기는 상기 전극 쌍에 대한 정전 전압의 인가를 제어할 수 있다. 예로서, 상기 제어기는 상기 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일의 균일성을 높이기 위해, 상기 전압원에 대하여 정전 전압을 상기 전극 쌍에 인가하도록 지시하여, 상기 이온빔의 적어도 일부분을 국소적으로 편향시키도록 구성될 수 있다.
- [0011] 상기 제어기는, 예컨대 분석 마그넷을 통과한 후에 또는 이온빔이 입사한 기관의 먼 근방에서 측정된 이온빔의 전류 밀도 프로파일에 기초하여, 상기 보정 장치의 전극 쌍에 인가할 정전 전압을 결정하도록 구성될 수 있다.
- [0012] 일부 실시형태에 있어서, 상기 제어기는 시간적으로 변하는 전압을 상기 보정 장치의 전극 쌍에 인가하도록 구성되어 있다. 예컨대, 상기 제어기는 상기 보정 장치의 전극 쌍에 인가되는 전압을 시간적으로 변화시켜, 세로 치수를 따라 이온빔의 진동 운동을 생기게 하도록 구성될 수 있다. 그와 같은 이온빔의 진동 운동은, 예컨대 약 20 mm 이하, 보다 구체적으로는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위 내의 진폭을 나타낼 수 있다. 예로서, 진동 주파수는 약 1 Hz 내지 약 1 kHz의 범위 내에 있을 수 있다.
- [0013] 상기 집속 렌즈는, 적어도 하나의 집속 요소, 예컨대 상기 이온빔을 받기 위한 갭을 형성하도록 간격을 둔 한 쌍의 대향 전극을 포함할 수 있다. 상기 감속/가속 요소는 상기 이온빔을 받기 위한 가로 방향의 갭을 형성하도록 간격을 둔 한 쌍의 전극을 포함할 수 있다. 상기 집속 요소 및 상기 감속/가속 요소는 이들 사이에 갭을 형성하도록 서로 배치될 수 있고, 상기 갭을 통한 이온의 통과가 이 이온의 감속 또는 가속을 생기게 하도록 상이한 전위로 유지될 수 있다.
- [0014] 일부 실시형태에 있어서, 상기 집속 전극 중 적어도 하나는 상기 이온빔의 세로 치수를 따른 발산을 감소시키도록 구성되어 있는 만곡한 상류측 단부면을 포함할 수 있다. 예컨대, 상기 집속 전극의 상류측 단부면은 약 1 m 내지 약 10 m의 범위 내의 곡률 반경을 갖는 오목면일 수 있다.
- [0015] 일부 실시형태에 있어서, 상기 적어도 하나의 감속/가속 요소는 상기 보정 장치의 하류측에 배치되고, 상기 적어도 하나의 집속 요소는 상기 감속/가속 요소의 하류측에 배치된다.
- [0016] 상기 집속 요소는 상기 정전 편향기에 대하여 함께 갭을 형성하도록 배치될 수 있으며, 상기 집속 요소 및 상기 정전 편향기는 상기 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 전계를 상기 갭 내에 발생시키도록 상이한 전위로 유지된다.
- [0017] 일부 실시형태에 있어서, 상기 정전 편향기는 상기 이온빔의 편향을 생기게 하기 위해 상이한 전위로 유지된 내측 전극 및 대향하는 외측 전극을 포함한다. 상기 정전 편향기는, 상기 내측 전극의 하류측에 배치되며 상기 외측 전극에 대향하는 중간 전극을 더 포함할 수 있고, 상기 내측 전극 및 상기 중간 전극은 독립된 전위의 인가에 적합하게 구성되어 있다. 일부 경우에 있어서, 상기 외측 전극 및 상기 중간 전극은 동일한 전위로 유지될 수 있다.
- [0018] 일부 실시형태에 있어서, 상기 정전 편향기의 외측 전극은 상류측 부분 및 하류측 부분을 포함하고, 이 상류측 부분 및 하류측 부분은 상기 하류측 부분이 상기 이온빔 중에 존재하는 중성종의 적어도 일부분을 포착할 수 있는 각도로 서로 배치되어 있다. 상기 상류측 부분 및 하류측 부분은 일체적으로 상기 외측 전극을 형성할 수도 있고, 또는 이들은 전기적으로 결합된 별개 부분일 수도 있다.
- [0019] 일부 실시형태에 있어서, 상기 시스템은 상기 정전 편향기의 하류측에 배치된 다른 보정 장치를 더 포함할 수 있고, 상기 다른 보정 장치는 상기 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하도록 구성되어 있다. 일부 실시형태에 있어서, 이 하류측 보정 장치는, 간격을 둔 복수의 전극 쌍으로서, 상기 이온빔의 세로 치수를 따라 적층되며 각 쌍의 전극이 상기 이온빔을 통과시키기 위한 갭을 형성하도록 떨어져 배치되어 있는 복수의 전극 쌍을 포함할 수 있고, 상기 전극 쌍은 이온빔을 상기 세로 치수를 따라 국소적으로 편향시키기 위

해, 정전 전압의 인가에 의해 개별적으로 바이어스 가능하도록 구성되어 있다.

- [0020] 일부 실시형태에 있어서, 상기 보정 장치의 전극 쌍은 상기 이온빔의 세로 치수를 따라 서로 지그재그형으로 배치되어 있다. 예컨대, 상기 하류측 보정 장치의 전극 쌍은 상기 상류측 보정 장치의 각 전극 쌍에 대하여 수직으로(빔의 세로 치수를 따라), 예컨대 상기 보정 장치의 전극의 세로 방향 높이의 반(半)(픽셀 사이즈의 절반)씩 오프셋될 수 있다.
- [0021] 일부 실시형태에 있어서, 상기 시스템은, 상기 다른 보정 장치의 하류측에 배치되며, 상기 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 다른 집속 렌즈(여기서는 제2 집속 렌즈라고도 부름)를 더 포함할 수 있다. 또한, 일부 경우에 있어서, 전기적으로 접지된 요소를 상기 다른 집속 렌즈의 하류측에 배치할 수 있다. 상기 전기적으로 접지된 요소는, 예컨대 이온빔이 그 사이를 통과할 수 있도록 떨어져 배치되는 한 쌍의 전기적으로 접지된 전극을 포함할 수 있다. 상기 제2 집속 렌즈는 상기 접지 요소에 대하여 함께 갭을 형성하도록 배치된 적어도 하나의 집속 요소를 포함할 수 있고, 상기 집속 요소와 상기 접지 요소 사이의 전위차는 상기 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 전계를 상기 갭 내에 발생시킨다.
- [0022] 다른 국면에 있어서, 리본 이온빔을 감속시키기 위한 시스템이 개시되며, 이 시스템은, 상기 리본 이온빔을 받기 위한 영역을 확정하고, 이온을 감속시키기 위한 적어도 하나의 감속 요소와, 떨어져 배치되며 그 사이에서 감속된 이온빔을 받아서 편향을 생기게 하기 위한 적어도 한 쌍의 편향 전극과, 편향된 이온빔을 통과시키는 경로를 제공하며 이온빔의 전류 밀도 프로파일을 비분산면에서 조정하도록 구성된 보정 장치를 포함한다.
- [0023] 일부 실시형태에 있어서, 상기 보정 장치는, 간격을 둔 복수의 전극 쌍으로서, 이온빔의 세로 치수를 따라 적층되며 각 쌍의 전극이 상기 이온빔을 통과시키는 갭을 형성하도록 떨어져 배치되어 있는 복수의 전극 쌍을 포함할 수 있고, 상기 전극 쌍은 이온빔을 상기 세로 치수를 따라 국소적으로 편향시키기 위해, 정전 전압의 인가에 의해서 개별적으로 바이어스 가능하도록 구성되어 있다. 일부 실시형태에 있어서, 상기 간격을 둔 복수의 전극 쌍은 내측 전극과, 대향하는 외측 전극, 및 상기 내측 전극의 하류측에 배치되며 상기 외측 전극에 대향하는 중간 전극을 포함할 수 있고, 상기 외측 전극, 내측 전극 및 중간 전극은 독립된 전위로 유지되도록 구성되어 있다. 예로서, 상기 내측 전극 및 외측 전극은 상기 이온빔의 편향을 생기게 하도록 상이한 전위로 유지될 수 있고, 한편 상기 외측 전극 및 중간 전극은 동일한 전위로 유지될 수 있다. 상기 외측 전극은 상류측 부분 및 하류측 부분을 포함할 수 있고, 상기 하류측 부분은 상기 상류측 부분에 대하여, 상기 이온빔 중에 존재하는 중성 종을 포착하기 위한 각도로 배치되어 있다. 일부 실시형태에 있어서, 상기 외측 전극의 상류측 부분 및 하류측 부분은 상기 외측 전극을 일체적으로 형성한다.
- [0024] 상기 시스템은 상기 보정 장치의 전극 쌍에 상기 정전 전압을 인가하기 위한 적어도 하나의 전압원을 더 포함할 수 있다. 상기 적어도 하나의 전압원과 통신하는 제어기를, 상기 보정 장치의 전극 쌍에 인가되는 전압을 조정하기 위해서 설치할 수 있다. 예로서, 상기 제어기는, 예컨대 상기 받은 이온빔의 측정된 전류 밀도 프로파일에 기초하여, 상기 보정 장치의 전극 쌍에 인가할 전압을 결정할 수 있다.
- [0025] 상기 시스템은, 상기 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키도록 구성된 집속 렌즈를 더 포함할 수 있다. 집속 렌즈는, 적어도 하나의 집속 요소, 예컨대 이온빔을 통과시키도록 간격을 둔 한 쌍의 전극을 포함할 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 전기적으로 접지된 요소, 예컨대 간격을 둔 한 쌍의 전극이 상기 집속 요소의 하류측에 배치된다. 상기 전기적으로 접지된 요소는 상기 집속 요소에 대하여 이들 사이에 갭을 형성하도록 배치될 수 있다. 상기 접지 요소 및 집속 요소는 상기 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 전계를 상기 갭 내에 발생시키기 위해서 상이한 전위로 유지될 수 있다.
- [0026] 다른 국면에 있어서, 이온 주입 시스템이 개시되며, 이 이온 주입 시스템은, 리본 이온빔을 발생시키도록 구성된 이온원과, 상기 리본 이온빔을 받아서, 질량 선택된 리본 이온빔을 발생시키기 위한 분석 마그넷과, 상기 질량 선택된 리본 이온빔을 받아서, 이 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하여, 상기 세로 치수를 따른 실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일을 갖는 출력 리본 이온빔을 발생시키도록 구성된 보정 시스템을 포함한다.
- [0027] 일부 실시형태에 있어서, 상기 보정 시스템은 또한, 받아서 질량 선택된 이온빔의 이온을 감속 또는 가속시켜, 상기 세로 치수를 따른 실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일을 갖는 감속/가속된 출력 리본 이온빔을 발생시키도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 상기 출력 리본 이온빔은 제곱 평균 평방근(RMS) 편차, 즉 비균일성이 약 5 % 이하인 상기 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 나타낸다. 예컨대, 상기 출력 리본 이온빔은 RMS 편차, 즉 비균일성이 약 4 % 이하, 또는 약 3 % 이하, 또는 약 2 % 이하, 또는 약 1 % 이하인 상기 세

로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 나타낼 수 있다.

- [0028] 일부 실시형태에 있어서, 상기 이온 주입 시스템 내의 상기 보정 시스템은 상기 리본 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 집속 렌즈를 더 포함할 수 있다. 또한, 일부 실시형태에 있어서, 상기 보정 시스템은, 상기 질량 선택된 이온빔 중에 존재하는 중성 원자 및/또는 분자 등의 중성종의 적어도 일부분을 제거하도록 구성될 수 있다. 예컨대, 상기 보정 시스템은, 상기 이온빔 중의 이온의 진행 방향을 변경하고, 중성종을 그 진행 방향을 따라서 진행시키기를 계속하여, 예컨대 상기 정전 편향기의 외측 전극의 일부분과 같은 빔 스탑 (beam stop)에 의해 포착되게 하기 위한 정전 편향기를 포함할 수 있다.
- [0029] 상기 이온 주입 시스템은, 예컨대 웨이퍼와 같은 기관을 유지하기 위한 엔드 스테이션(end-station)을 더 포함할 수 있고, 상기 출력 리본 이온빔은 상기 기관에 입사하도록 상기 엔드 스테이션을 향해 진행한다. 일부 실시형태에 있어서, 상기 보정 시스템은 상기 출력 리본 이온빔이 기관의 표면과 원하는 각도, 예컨대 90도의 각도를 형성하는 방향을 따라서 상기 기관의 표면에 입사할 수 있게 상기 이온빔의 진행 방향을 조정하도록 구성될 수 있다.
- [0030] 일부 실시형태에 있어서, 상기 이온 주입 시스템의 보정 시스템은 상기 출력 리본 이온빔에 의해서 상기 기관 내에 주입된 이온의 도즈량 균일성을 개선하기 위해 상기 이온빔의 진동 운동을 생기게 할 수 있다.
- [0031] 일부 실시형태에 있어서, 상기 이온 주입 시스템의 보정 시스템은, 상기 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하기 위한 적어도 하나의 보정 장치를 포함할 수 있다. 상기 보정 장치는, 예컨대 간격을 둔 복수의 전극 쌍으로서, 상기 이온빔의 세로 치수를 따라 적층되며 각 쌍의 전극이 상기 이온빔을 통과시키기 위한 갭을 형성하도록 떨어져 배치되어 있는 복수의 전극 쌍을 포함할 수 있고, 상기 전극 쌍은 상기 이온빔을 비분산면에서 국소적으로 편향시키기 위해 정전 전압의 인가에 의해서 개별적으로 바이어스 가능하도록 구성되어 있다. 이온 주입 시스템은 또한, 상기 보정 장치의 전극 쌍에 전압을 인가하기 위한 적어도 하나의 전압원과, 상기 적어도 하나의 전압원과 통신하여 상기 전극 쌍에 인가되는 전압을 조정하기 위한 제어기를 포함할 수 있다.
- [0032] 일부 국면에 있어서, 리본 이온빔의 에너지를 변경하기 위한 방법이 개시되며, 이 방법은, 리본 이온빔을, 빔의 이온을 감속 또는 가속시키기 위한 전계가 존재하는 영역에 통과시키는 단계와, 상기 리본 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하는 단계와, 상기 리본 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키는 단계를 포함한다. 상기 이온빔의 발산을 감소시키는 단계는 상기 이온빔을 집속 렌즈에 통과시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0033] 일부 실시형태에 있어서, 상기 리본 이온빔은 약 10 내지 약 100 keV의 범위 내에 초기 에너지를 가질 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 상기 이온빔의 이온을 감속 또는 가속시키는 단계는 상기 이온빔의 에너지를 약 1 내지 약 30배의 범위 내에서 변경한다.
- [0034] 상기 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하는 단계는, 상기 세로 치수를 따른 실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일을 발생시키기 위해 이온빔을 상기 세로 치수를 따라서 국소적으로 편향시키도록 구성된 보정 장치를 이용하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0035] 일부 국면에 있어서, 기관에 이온을 주입하는 방법이 개시되며, 이 방법은, 이온원으로부터 리본 이온빔을 인출하는 단계와, 질량 선택된 리본 이온빔을 발생시키기 위해서 상기 리본 이온빔을 분석 마그네틱에 통과시키는 단계와, 이온빔의 세로 치수를 따른 실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일을 갖는 출력 리본 이온빔을 발생시키기 위해서 상기 질량 선택된 리본 이온빔의 전류 밀도 프로파일을 적어도 그 세로 치수를 따라서 조정하는 단계와, 상기 출력 리본 이온빔을 기관을 향하게 하여 기관에 이온을 주입하는 단계를 포함한다.
- [0036] 일부 실시형태에 있어서, 보정 장치는 상기 질량 선택된 리본 이온빔의 전류 밀도 프로파일을 조정하는 단계를 수행하도록 구성될 수 있다. 예로서, 보정 장치는 실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일을 나타내는 이온빔을 얻기 위하여, 상기 질량 선택된 리본 이온빔의 전류 밀도 프로파일을 조정할 수 있다.
- [0037] 일부 실시형태에 있어서, 상기 이온 주입 방법은, 상기 출력 리본 이온빔이 상기 질량 선택된 리본 이온빔의 에너지와는 상이한 에너지를 갖도록, 상기 질량 선택된 리본 이온빔을 감속 또는 가속시키는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0038] 일부 실시형태에 있어서, 주입된 이온 도즈량은 약 10^{12} cm^{-2} 내지 약 10^{16} cm^{-2} 의 범위 내에 있을 수 있다. 상기 이온 전류는, 예컨대 수십 μA (예컨대, 20 μA) 내지 수십 mA(예컨대, 60 mA)의 범위 내, 보다 구체적으로는 약 50 μA 내지 약 50 mA의 범위 내, 또는 약 2 mA 내지 약 50 mA의 범위 내에 있을 수 있다.

[0039] 본 개시의 다양한 국면은 이하에 간단히 설명하는 첨부 도면과 함께 이하의 상세한 설명을 참조함으로써 더 잘 이해될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0040] 도 1은 리본 이온빔을 도시하는 개략도이다.

도 2a는 본 개시의 실시형태에 따른 이온 주입 시스템을 도시하는 개략도이다.

도 2b는 본 개시의 실시형태에 관한 것으로서, 도 2a의 이온 주입 시스템에 채용된 보정 시스템을 도시하는 개략도이다.

도 2c는 도 2b에 도시하는 보정 시스템의 일부분의 개략 측면 단면도이다.

도 3a는 리본 이온빔을 발생시키기 위한 이온원의 부분 개략도이다.

도 3b는 도 3a의 이온원의 다른 부분 개략도이다.

도 3c는 도 3a 및 도 3b의 이온원의 다른 부분 개략도이다.

도 4는 도 3a-도 3c와 관련하여 후술하는 이온원에 기초한 이온원에 의해서 발생한 예시적인 리본 이온빔의 전류 프로파일을 나타하는 도면이다.

도 5는 본 개시의 실시형태에서의 사용에 적합한 보정 시스템을 도시하는 개략도이다.

도 6은 본 개시의 실시형태에 따른 보정 장치를 통과하는 리본 이온빔을 도시하는 개략도이다.

도 7a는 본 개시의 실시형태에 따른 보정 장치를 통과하는 리본 이온빔을 도시하는 개략도이며, 이 보정 장치는 이온빔의 적어도 일부분에 가로 방향의 전계를 인가하도록 구성되어 있다.

도 7b는 본 개시의 실시형태에 따른 보정 장치를 통과하는 리본 이온빔을 도시하는 개략도이며, 이 보정 장치는 이온빔에 세로 방향의 전계를 인가하여 편향을 생기게 하도록 구성되어 있다.

도 7c는 도 7b에 도시하는 보정 장치의 전극 쌍에 인가하기 위한 램프 전압을 도시하는 개략도이다.

도 8a는 본 개시의 실시형태에 따른 보정 장치를 통과하는 리본 이온빔을 도시하는 개략도이며, 이 보정 장치는 이온빔의 세로 방향의 진동 운동을 생기게 하도록 구성되어 있다.

도 8b는 도 8a에 도시하는 보정 장치의 전극 쌍에 인가하기 위한 삼각 전압 파형을 도시하는 개략도이다.

도 9는 도 2a, 도 2b 및 도 2c에 도시하는 이온 주입 시스템의 부분 개략도이며, 이온빔의 전류 프로파일을 측정하기 위한 빔 프로파일러도 도시하고 있다.

도 10a는 무보정 리본 이온빔의 시뮬레이션 전류 프로파일을 높이의 함수로서 나타내는 도면이다.

도 10b는 도 2a, 도 2b 및 도 2c에 도시하는 이온 주입 시스템의 하나의 보정 장치의 전극 쌍에 인가되어, 도 10a에 도시하는 빔 프로파일의 거친 보정을 실현할 수 있는 예시적인 전압을 나타내는 도면이며, 그와 같은 거친 보정을 통해 얻어진 부분 보정 빔의 시뮬레이션 전류 프로파일도 도시하고 있다.

도 10c는 도 2a, 도 2b 및 도 2c에 도시하는 이온 주입 시스템의 다른 보정 장치의 전극 쌍에 인가되어, 도 10b에 도시하는 부분 보정 빔의 균일성을 개선할 수 있는 예시적인 전압을 나타내는 도면이며, 이 방법으로 얻어진 보정 빔의 시뮬레이션 전류 프로파일도 도시하고 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041] 일부 국면에 있어서, 본 개시는 리본 이온빔을 발생시키기 위한 이온원과, 리본 이온빔에 있어서 그 빔이 입사하는 기관에서 적어도 이온빔의 세로 치수를 따른 실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일을 나타내는 것을 확실하게 하는 보정 시스템을 포함하는 이온 주입 시스템(여기서는 이온 주입 장치라고도 부름)에 관한 것이다. 일부 경우에 있어서, 보정 시스템은 이온 주입 시스템의 빔 라인에 있는 다른 광학계와 함께, 이온원으로부터 인출된 리본 이온빔이 이온 주입을 위해 기관에 수송될 때에, 이 리본 이온빔의 프로파일을 실질적으로 유지하기 위해서(예컨대, 약 5 % 또는 그보다 좋은 범위 내에) 채용될 수 있다.

[0042] 일부 실시형태에 있어서, 본 개시에 따른 이온 주입 시스템은 2 스테이지를 갖는 빔 라인을 포함하는데, 빔 주

입기 스테이지와, 그것에 계속되는 빔 보정 스테이지이며, 후자는 선택적으로, 이온빔을 감속 또는 가속시키기 위한 기구를 포함할 수 있다. 빔 주입기 스테이지는 빔 발생 및 질량 선택을 포함할 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 빔 보정 스테이지는 감속/가속 광학계와 함께, 보정 어레이를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 빔 라인온 이온을 300 mm 기관(예컨대, 약 350 mm 높이의 리본 이온빔을 통해) 또는 450 mm 기관(예컨대, 약 500 mm 높이의 리본 이온빔을 통해)에 주입하도록 구성될 수도 있다. 예컨대, 빔 라인은 상이한 기관 사이즈에 대응하기 위해서 교체 가능한 이온 광학계 구성 기구를 포함할 수 있다. 이 이온 광학계 구성 기구는, 예컨대 이온 주입 엔드 스테이션 내에, 교체형 말단 장치(end effector) 및 FOUP(Front Opening Unified Pod: 전면 개방 통합 포드) 등의 기관 핸드링 요소와 함께, 이온원으로부터 이온빔을 인출하기 위한 인출 전극, 보정 어레이, 감속/가속 스테이지 광학계를 포함할 수 있다.

[0043] 본 개시의 다양한 예시적인 실시형태에 대해 이하에 설명한다. 이들 실시형태의 설명에 사용하고 있는 용어는 해당 기술분야에서 통상의 의미를 갖는 것이다. 더욱 명료하게 하기 위해서 이하의 용어를 정의한다.

[0044] 여기서 사용하는 용어 "리본 이온빔"은 최소 치수(여기서는 빔의 가로 치수라고도 부름)에 대한 최대 치수(여기서는 빔의 세로 치수라고도 부름)의 비율로서 정의되는 애스펙트비를 갖는 이온빔을 지칭하는데, 애스펙트비는 적어도 약 3, 예컨대 10 이상, 또는 20 이상, 또는 30 이상이다. 리본 이온빔은 여러 상이한 단면 프로파일을 나타낼 수 있다. 예컨대, 리본 이온빔은 직사각형 또는 타원형의 단면 프로파일을 가질 수 있다.

[0045] 도 1은 세로 치수(여기서는 높이라고도 부름)(H) 및 가로 치수(여기서는 폭이라고도 부름)(W)를 갖는 예시적인 리본 이온빔(8)을 개략적으로 도시한다. 일반성의 손실 없이, 본 발명의 다양한 실시형태에 관한 이하의 설명에 있어서, 이온빔의 진행 방향은, 그 세로 치수가 직교 좌표계의 y축을 따르고, 가로 치수가 x축을 따르는 상태로, z축을 따르는 것으로 상정한다. 이하에서 자세히 설명하겠지만, 다수의 실시형태에 있어서, 이온빔을 그 진행 방향에 수직인 평면 내에서 분산시키기 위해서 분석 마그넷을 채용한다. 이 면을 여기서는 분산면이라고 부른다. 이하의 실시형태에 있어서, 분산면은 xz 평면에 해당한다. 이 분산면에 수직인 평면을 비분산면이라고 부른다. 이하의 실시형태에서는, 비분산면이 yz 평면에 해당한다.

[0046] 용어 "전류 밀도"란, 여기서는, 단위 면적, 예컨대 이온의 진행 방향에 수직인 단위 면적을 통과하는 이온에 관련된 전류를 지칭하기 위해서, 해당 기술분야에서의 사용과 일치시켜 사용된다.

[0047] 여기서 사용하는 용어 "전류 밀도 프로파일"은 빔을 따른 위치의 함수로서 빔의 이온 전류 밀도를 지칭한다. 예컨대, 빔의 세로 치수를 따른 이온 전류 밀도는, 이온빔의 세로 치수를 따른 기준점(예컨대, 빔의 상단, 또는 하단, 또는 중심)으로부터의 거리의 함수로서 이온 전류 밀도, 또는 세로 치수를 따른 단위 길이를 통과하는 이온에 관련되는 전류를 지칭한다.

[0048] 용어 "실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일"은 최대 5 %의 RMS 변동을 나타내는 이온 전류 밀도 프로파일을 지칭한다.

[0049] 도 2a, 도 2b 및 도 2c를 참조하면, 본 개시의 실시형태에 따른 이온 주입 시스템(10)은 리본 이온빔(8)을 발생시키기 위한 이온원(12)과, 이 이온원으로부터의 이온빔의 인출을 촉진하도록 전기적으로 바이어스된 인출 전극(14)을 포함한다. 억제 전극(16)은 이온원에 대한 중성화 전자[예컨대, 이온빔에 의한 주위 가스의 이온화를 통해 생성된 전자]의 역류를 억제하도록 전기적으로 바이어스되고, 집속 전극(18)은 이온빔의 발산을 감소시키도록 전기적으로 바이어스되며, 접지 전극(19)은 이온빔에 대한 기준 접지를 확정한다. 집속 전극(18)의 하류측에 배치된 분석 마그넷(20)은 리본 이온빔(8)을 받아서, 질량 선택된 이온빔을 발생시킨다.

[0050] 일부 실시형태에 있어서, 이온원 하우징 및 분석 마그넷 프레임 어셈블리는 접지 전위로부터 전기적으로 절연될 수 있다. 예컨대, 이들은 접지 전위 이하로, 예컨대 -30 kV까지 플로팅될 수 있다. 일부 경우에 있어서, 이 플로팅 전압은 이온 주입을 위해 이온빔이 입사하는 기관에서의 에너지보다 높은 에너지에서, 이온빔을 이온원으로부터 인출 또한 질량 분석하도록 선택될 수 있다. 혹은, 이온빔은 기관에 높은 에너지에서 입사하도록 인출되고 질량 분석된 후에 가속될 수도 있다.

[0051] 예시적인 이온 주입 시스템(10)은 이온빔의 적어도 세로 치수[예컨대, 이온빔의 비분산면에서의 치수]를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하여, 적어도 세로 치수를 따른 실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일을 나타내는 출력 리본 이온빔(8)을 발생시키는, 이후에 자세하게 설명하는 보정 시스템(22)을 더 포함한다. 또한, 보정 시스템(22)은 이온빔의 가로 치수를 조정하여, 예컨대 이온빔의 가로 치수(예컨대, 분산면에서의 치수)를 따른 발산을 감소시켜, 출력 이온빔이 원하는 치수를 확실하게 갖는 것을 확실하게 할 수 있다.

[0052] 일부 실시형태에 있어서, 후술하겠지만, 보정 시스템(22)은, 또한 질량 선택된 리본 이온빔(8)의 감속/가속을

실현할 수 있다. 이러한 방법으로, 원하는 에너지 및 실질적으로 균일한 전류 밀도 프로파일을 갖는 출력 리본 이온빔(8)을 얻을 수 있다. 일반성의 손실 없이, 이하에 설명하는 실시형태에 있어서, 보정 시스템(22)은 감속/가속 시스템이라고도 칭해진다. 그러나, 일부 실시형태에 있어서, 보정 시스템(22)은 이온빔의 어떤 감속 또는 가속도 실현하지 않을 수도 있음이 이해되어야 한다.

[0053] 예시적인 이온 주입 시스템(10)은 엔드 스테이션(24)을 더 포함하며, 이 엔드 스테이션(24)은 보정 시스템(22)에서 출사(出射)하는 리본 이온빔(8)의 경로 내에 기관(26)을 유지하기 위한 기관 홀더(25)를 포함한다. 출력 리본 이온빔(8)은 기관에 입사하여 거기에 이온을 주입한다. 일부 실시형태에 있어서, 기관 홀더는 해당 기술분야의 기지의 방법으로 이온빔의 진행 방향과 직교하는 1차원을 따라 주사(走査)되어, 기관에 이온을 주입하기 위해서 기관의 상이한 부분들을 이온빔에 노출시킬 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 이온빔의 세로 치수는 기관의 직경보다 크므로, 이온빔의 진행 방향과 직교하는 차원을 따른 기관의 선형 운동은 기관 전체에 걸쳐 이온 주입이 이루어지게 할 수 있다. 출력 리본 이온빔의 전류 밀도의 실질적인 균일성은 기관 전체에 걸쳐 주입된 이온의 균일한 주입량이 달성되는 것을 확실하게 한다.

[0054] 리본 이온빔(8)을 발생시킬 수 있는 여러 상이한 이온원을 이온원(12)으로서 채용할 수 있다. 리본 이온빔(8)을 발생시킬 수 있는 이온원의 몇몇 예는 발명의 명칭이 "제어 가능한 밀도 프로파일을 갖는 리본 이온빔용 이온원 (Ion Source Ribbon Beam with Controllable Density Profile)"인 미국 특허 제6,664,547호(특허문헌 1) 및 발명의 명칭이 "이온원, 이온 주입 장치 및 이온 주입 방법(Ion Source, Ion Implantation Apparatus, and Ion Implantation Method)"인 미국 특허 제7,791,041호(특허문헌 2)에 기재되어 있고, 이들 특허는 그 전체가 여기에 참조로 포함된다.

[0055] 이 실시형태에 채용되는 이온원(12)은 본 출원의 양수인에게 양도된, 발명의 명칭이 각각 "이온원(Ion Source)" 및 "이온원을 위한 자계원(Magnetic Field Sources For An Ion Source)"인 동시 계속 특허 출원에 자세히 기재되어 있고, 이들 출원은 본 출원과 동시에 출원되었으며, 그 전체가 여기에 참조로 포함된다. 간단히 말해, 도 3a, 도 3b 및 도 3c를 참조하면, 이 이온원은 가늘고 긴 직사각형의 이온화 챔버(32)(이온원 본체)의 양단부에 배치된 2개의 대향하는 외부 전자총(28/30)을 포함할 수 있다. 각 전자총은 간접 가열 캐소드(IHC: Indirectly-Heated Cathod)(28a/30a) 및 애노드(28b/30b)를 포함할 수 있다. 도 3c에 도시한 바와 같이, 판형의 플라즈마 전극(34)은 이온원으로부터 이온 인출을 가능하게 하는 형상의 개구를 포함한다(예컨대, 이 개구는 450 mm×6 mm의 슬롯일 수 있음). 1 이상의 전기 절연 스페이서(도시 생략)에 의해서 플라즈마 전극으로부터 떨어져 있으며 플라즈마 전극과 같은 형상의 인출 전극(36)이 이온 인출을 보조한다. 일부 실시형태에 있어서, 인출 전극(36)은 이온원 본체 및 플라즈마 전극에 대하여 -5 kV까지 바이어스될 수 있다.

[0056] 도 3b를 참조하여, 이온원 본체는 전자(電磁) 코일 어셈블리(38)에 의해서 발생한 축방향 자계 중에 침지된다. 이 실시형태에 있어서, 코일 어셈블리는 3개의 서브 코일을 포함하는데, 이 서브 코일은 이온원 본체의 길이축을 따라 분산되어 있고, 독립되며 부분적으로 중복된 자계를 이온원 본체의 상부, 중간부 및 하부에 발생시킨다. 자계는 전자총에 의해서 발생한 1차 전자빔을 가둬서, 잘 획정된 플라즈마 컬럼을 이온화 챔버의 축을 따라 생성한다. 3개의 코일 세그먼트의 각각에 의해 생성된 자속(磁束) 밀도는 인출된 이온빔의 전류 밀도에 실질적으로 비균일성이 없는 것을 확실하게 하도록 독립적으로 조정될 수 있다.

[0057] 도 3c를 참조하면, 이온원 본체의 길이축을 따라서 분산되어 있고, 각각 전용(專用) 유량 조절기(MFC: Mass Flow Controller)를 갖고 있는 5개의 별개 가스 공급부(40a, 40b, 40c, 40d 및 40e)를, 플라즈마 컬럼을 따라 이온 밀도를 조정하기 위해서 이용할 수 있다. 이 실시형태에 있어서, 전자총의 애노드와 캐소드는 플라즈마 전극 및 인출 전극과 함께, 그래파이트(graphite)로 구성된다. 이온화 챔버는 알루미늄으로 구성되고, 그 내면은 그래파이트로 코팅된다.

[0058] 인출된 이온빔은 이온원 하우징 내에 위치하는 인입식 빔프로파일러에 의해 분석될 수 있다. 실례로서, 도 4는 그와 같은 이온원의 프로토타입에 의해 발생한 리본 이온빔(8)의 빔전류를 그 수직(세로) 위치의 함수로서 나타내고 있다. 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일은 약 2.72 %의 RMS 비균일성을 나타내고 있다.

[0059] 다시 도 2a를 참조하면, 이 실시형태에 있어서, 이온원(12)에 의해 발생한 이온빔이 인출되고, 분석 마그넷(20)에 입사하기 전에 원하는 에너지(예컨대, 5와 80 keV 사이)로 가속된다. 분석 마그넷(20)은 질량 대 전하 비가 상이한 이온들을 분산면에서 분리하기 위해 비분산면에서 이온빔에 자계를 인가함으로써, 분석 마그넷의 초점면에서 분산면에 허리부를 갖는 질량 선택된 이온빔을 발생시킨다. 후술하는 바와 같이, 빔 허리부의 근처에 배치된 가변 사이즈의 질량 분석 개구(20a)는 원하는 질량 대 전하 비를 갖는 이온이 시스템의 다른 구성요소를 향해 하류측을 통과하는 것을 가능하게 하는데, 이것에 대해서는 이하에 상세히 설명한다.

- [0060] 해당 기술분야에서 알려져 있는 다양한 분석 마그넷을 이용할 수 있다. 이 실시형태에 있어서, 분석 마그넷은 600 mm의 자극 갭, 약 90도의 굽힘 각도 및 950 mm의 굽힘 반경을 갖는 안장형 코일 설계를 갖지만, 다른 자극 갭, 굽힘 각도 및 굽힘 반경을 이용할 수도 있다. 배치된 가변 사이즈의 질량 분석 개구(20a)는 원하는 질량 대 전하 비의 이온이 감속/가속 시스템(22)을 향하도록 하류측을 통과하는 것을 가능하게 한다. 다시 말해, 분석 마그넷(20)은 감속/가속 시스템(22)으로부터 받아서 질량 선택된 리본 이온빔(8)을 발생시킨다.
- [0061] 계속하여 도 2a, 도 2b 및 도 2c를 참조하면, 감속/가속 시스템(22)은 질량 선택된 리본 이온빔(8)을 받기 위한 슬롯(40)을 포함한다. 슬롯(40)은 이온빔의 세로 치수에 적응하도록 높이가 충분히 높고, 예컨대 여러 실례에서 슬롯(40)은 높이가 600 mm이고, 선택된 범위 내, 예컨대 약 5 mm과 약 60 mm의 사이에서 연속적으로 가변하는 가로 치수(예컨대, 분산면에서의 치수)를 갖는다.
- [0062] 보정 장치(42)는 슬롯을 통과하는 리본 이온빔(8)을 받기 위해서 슬롯(40)의 하류측에 배치된다. 이 실시형태에 있어서, 도 5에 개략적으로 도시하는 바와 같이, 보정 장치(42)는, 이온빔(8)의 세로 치수를 따라서(즉, y축을 따라서) 적층되는, 간격을 둔 복수의 전극 쌍(E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9 및 E10)을 포함하며, 각 전극 쌍은 개별로 전기적으로 바이어스 가능하다. 보다 구체적으로, 이 실시형태에 있어서, 복수의 정전 전압원(V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10)은 리본 이온빔(8)의 세로 치수를 따른 성분을 갖는 전계를 발생시켜 이온빔의 1 이상의 부분을 국소적으로 편향시키고 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 조정하기 위해서 각 전극 쌍에 독립된 전압을 인가한다. 이 실시형태에 있어서, 그와 같은 전류 밀도 프로파일의 조정은 이온빔의 세로 치수를 따른(예컨대, 비분산면에서의) 전류 밀도의 균일성을 높이기 위해서 행해진다. 전압원(V1, ..., V10)은 독립된 전압원일 수도 있고, 단일 전압원의 상이한 모듈들일 수도 있다.
- [0063] 각 전극 쌍은 전극(E1a 및 E1b) 등의 2개의 전극을 포함하며, 이들 전극은 이온빔의 진행 방향과 그 세로 치수에 의해 정의되는 평면에 실질적으로 평행하게 배치된다. 쌍을 이루는 전극은, 가로 방향의 갭으로서 그것을 통해 이온빔이 통과하는 갭을 실현하도록 떨어져 있다. 전극 쌍의 수는, 예컨대 다른 인수보다도 이온빔의 세로 치수, 이온빔의 세로 방향 프로파일의 비균일성을 보정하는데 요구되는 분해 레벨, 이온빔 중의 이온의 타입에 기초하여 선택될 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 전극 쌍의 수는, 예컨대 약 10 내지 약 30의 범위 내에 있을 수 있다.
- [0064] 전압원(V1, ..., V10)과 통신하는 제어기(44)는 하나 이상의 전극 쌍의 사이를 통과하는 이온빔의 1 이상의 부분을 선택된 각도로 국소적으로 편향시키기 위해서, 이하에서 더욱 상세하게 설명하는 방법으로, 보정 장치의 전극 쌍에 인가될 전압(예컨대, 정전 전압)을 결정할 수 있고, 그렇게 함으로써 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도를 조절할 수 있다.
- [0065] 예로서, 도 6은, 이온빔의 다른 부분보다 전하 밀도가 높은 것을 나타내는 이온빔의 해칭 부분이 통과하는 영역에서 화살표로 나타내는 전계 성분을 발생시키기 위해 3개의 전극 쌍(E5, E6 및 E7)에 대해, 전극 쌍(E6)에 인가되는 전압을 전극 쌍(E5 및 E7)에 인가되는 전압보다 높게 하여 정전 전압을 인가해 바이어스하는 것을 나타내고 있다(이 예에 있어서, 다른 전극 쌍은 접지 전위로 유지됨). 이온빔의 해칭 부분에 인가되는 전압은 그 부분의 상부 세그먼트의 상향 편향을 생기게 하고 그 부분의 하부 세그먼트의 하향 편향을 생기게 함으로써, 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일의 균일성을 개선하도록 그 부분에서의 전하 밀도를 감소시킨다.
- [0066] 도 7a를 참조하면, 일부 실시형태에 있어서, 보정 장치(42)는 이온빔의 가로 방향의 편향을 생기게 하도록, 예컨대 이온빔의 진행 방향을 변경하기 위하여 이온빔에 가로 방향의 전계[즉, 이온빔의 가로 치수를 따른 성분을 갖는 전계]를 인가하도록 구성될 수 있다. 보다 구체적으로, 보정 장치(42)는 전극 쌍의 각 전극이 개별적으로 바이어스 가능하도록 구성될 수 있다. 예컨대, 이 실시형태에 있어서, 전압원(V1, ..., V20)은 각각, 전극 쌍의 전극에 독립된 전압(예컨대, 정전 전압)을 인가할 수 있다[예컨대, 전압원(V1 및 V11)이 전극 쌍(E1)의 전극(E1a 및 E1b)에 독립된 전압을 인가하도록 구성되어 있음을 참조].
- [0067] 예로서, 1 이상의 전극의 대향하는 전극 쌍 사이의 전위차는, 이온빔(8)의 1 이상의 부분의 국소적인 가로 방향의 편향을 실현하도록 선택될 수 있다. 예컨대, 도 7a에 도시한 바와 같이, 이 예에서는, 전압원(V2 및 V12)이 전극(E2a 및 E2b)에 상이한 전압(v2 및 v12)을 인가하여(v12<v2), 이 2개의 대향 전극 사이를 통과하는 이온빔의 부분에 대하여 전극(E2b)에 국소적인 편향을 생기게 한다. 동시에, 전압원(V4 및 V14)은 전극(E4a 및 E4b)에 상이한 전압(v4 및 v14)을 인가하여(v14>v4), 이 2개의 대향 전극 사이를 통과하는 이온빔의 부분에 전극(E4a)을 향해 국소적인 편향을 생기게 한다. 일부 실시형태에 있어서, 2개의 대향 전극 사이의 전위차는 약 0 V 내지 약 4 kV의 범위 내에 있을 수 있다.

- [0068] 일부 경우에 있어서, 이온빔 전체에 대해, 예컨대 그 진행 방향을 변경하기 위해서, 이온빔의 한쪽에 있는 모든 전극에 어느 한 전압을 인가하고 그 반대쪽에 있는 모든 전극에 다른 전압을 인가함으로써, 가로 방향으로 편향시킬 수 있다.
- [0069] 도 7b 및 도 7c를 참조하면, 일부 실시형태에 있어서, 보정 장치(42)는 이온빔 전체를 세로 치수를 따라(즉, y축을 따라 수직으로) 편향시키도록 구성될 수 있다. 예컨대, 도 7c에 도시하는 바와 같이, 제어기(44)는 전압원(V1, ..., V10)이 전극 쌍(E1, ..., E10)에 램프 전압을 인가하게 하여, 이온빔의 세로 치수를 따른 성분을 갖는 전계(도 7b에서 화살표 A1로 개략적으로 나타냄)를 발생시킬 수 있으므로, 이온빔의 세로 방향의 편향을 생기게 할 수 있다.
- [0070] 전압원(V1, ..., V20)과 통신하는 제어기(44)는, 예컨대 이온빔의 원하는 국소 또는 전체 편향 각도에 기초하여, 전극에 인가될 전압을 결정할 수 있다. 제어기는 해당 기술분야의 기지의 방법으로, 예컨대 이온빔 중의 이온의 전하, 원하는 편향 각도에 기초하여, 필요한 전압을 결정할 수 있다. 일부 경우에 있어서, 제어기는 이온빔의 가로 방향 및 세로 방향의 양방의 편향을 실현하기 위해 전극 쌍의 전극에 전압의 인가를 실시할 수 있다. 예컨대, 상이한 전극 쌍 사이의 전압차는, 예컨대 도 6과 관련하여 앞에서 설명한 방법으로, 국소적인 세로 방향의 편향을 생기게 할 수 있으며, 한편, 전극 쌍의 전극 사이의 전압차는 국소적인 가로 방향의 편향을 생기게 할 수 있다.
- [0071] 도 8a를 참조하면, 일부 실시형태에 있어서, 보정 장치(42)는 이온빔에 대하여 그 세로 치수를 따른 진동 운동을 생기게 하도록 구성될 수 있다. 제어기(44)의 제어 하에 있는 파형 발생기(100)는 이온빔의 세로 치수를 따른(y축을 따른) 성분을 갖는 가변 전계를 생기게 하기 위해서, 1 이상의 전극 쌍에 가변 전압을 인가할 수 있으므로, 이온빔의 시변(time-varying) 편향도 생기게 하도록 구성될 수 있다. 일부 경우에 있어서, 이온빔의 그와 같은 시변 편향은 이온빔의 세로 치수를 따른 주기적인 진동의 형태일 수도 있다. 일부 경우에 있어서, 그와 같은 진동의 진폭은, 예컨대 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위 내에 있을 수 있다.
- [0072] 예로서, 파형 발생기(100)는 이온빔의 세로축을 따른 주기 진동을 생기게 하기 위해서, 도 8b에 개략적으로 도시하는 바와 같이, 삼각 전압 파형을 전극 쌍(E1, ..., E10)에 인가할 수도 있다. 이온빔의 그와 같은 "위글링(wiggling)"은 이온빔이 입사하는 기관 내에 주입된 이온의 도즈량 균일성을 개선할 수 있다. 진동 주파수는, 예컨대 입사 이온빔에 대하여 기관이 움직이는 속도에 기초하여, 변경될 수 있다. 일부 실시형태에 있어서, 진동 주파수는, 예컨대 약 1 Hz 내지 약 1 kHz의 범위 내에 있을 수 있다.
- [0073] 다시 도 2a, 도 2b 및 도 2c를 참조하면, 감속/가속 시스템(22)은, 하류측의 집속 요소(48)로부터 떨어져 배치되며 그 사이에 갭 영역(50)을 확정하는 감속/가속 요소(46)를 더 포함한다. 감속/가속 요소(46)는 2개의 대향하는 등전위의 전극(46a 및 46b)을 포함한다. 마찬가지로, 집속 요소(48)는 이온빔을 통과시키기 위한 경로를 사이에 형성하는 2개의 대향하는 등전위의 전극(48a 및 48b)을 포함한다.
- [0074] 감속/가속 요소(46)와 집속 요소(48) 사이에 전위차를 인가하면, 갭 영역(50) 내에 이온빔을 감속 또는 가속시키기 위한 전계가 발생한다. 감속/가속 요소와 집속 요소 사이의 전위차는 다른 인수보다도, 이온의 에너지에 있어서의 원하는 변화, 이온빔의 이온 타입, 이온빔이 이용되는 특정 용도에 기초하여, 당업자에 알려져 있는 방법으로 선택될 수 있다.
- [0075] 예로서, 일부 실시형태에 있어서, 약 0 내지 약 -30(마이너스 30) kV의 범위 내의 전압, 또는 약 0 내지 약 +30 kV의 범위 내의 전압을 감속/가속 전극(46a/46b)에 인가할 수 있고, 약 0 내지 -5(마이너스 5) kV의 범위 내의 전압을 집속 전극(48a/48b)에 인가할 수 있다.
- [0076] 도 2c를 참조하면, 이 실시형태에 있어서, 집속 전극(48a/48b)의 한쪽 또는 양쪽의 상류측면(UF)은 이온빔의 비분산면에서의[예컨대, 이온빔의 세로 치수를 따른] 발산을 상쇄시키기 위한 전계 성분을 갭 영역에 발생시키도록 만족해 있다. 실례로서, 도 2c는 갭(50)을 통과하는 이온빔을 나타내며, 반발하는 공간 전하 효과에 의해서, 비분산면에서 세로 방향의 단부점 부근에 이온빔의 이온 발산을 나타내고 있다. 집속 전극(48a/48b)의 상류측단의 만족한 형상은 이온빔의 이온이 실질적으로 평행한 진행을 확실하게 하는 보정력을 상기 발산하는 이온에 인가하여 전계 패턴을 발생시키는 것을 용이하게 하도록 구성될 수 있다. 예로서, 집속 전극의 상류측단은 통상, 약 1 m 내지 약 10 m 범위 내에 곡률 반경을 갖는 오목한 프로파일(상류측 방향에서 볼 경우)을 가질 수 있다.
- [0077] 다시 도 2a, 도 2b 및 도 2c를 참조하면, 감속/가속 시스템(22)은, 집속 요소(48)의 하류측에 배치되어 그로부터 갭(53)만큼 떨어져 있는 정전 편향기(52)를 더 포함한다. 집속 요소(48)와 정전 편향기, 예컨대 이 편향기의 1 이상의 전극 사이의 전위차는 갭(53)에, 리본 이온빔(8)의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 전계를

발생시킬 수 있다. 다시 말해, 집속 요소(48)와 정전 편향기(52) 사이의 갭은 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 집속 렌즈로서 기능한다. 1 이상의 전압원은, 예컨대 전술한 제어기(44)의 제어 하에서, 해당 기술분야의 기지의 방법으로, 감속/가속 요소 및 집속 요소에 전압을 인가하는데 이용될 수 있다.

[0078] 이 실시형태에 있어서, 정전 편향기(52)는 외측 전극(52a)과, 대향하는 내측 전극(52b)을 포함하며, 이들에 대하여, 이들 전극을 분리하는 가로 방향의 갭을 이온빔이 통과할 때에 이 이온빔의 편향을 생기게 하도록 상이한 전위가 인가될 수 있다. 예로서, 이온빔의 편향 각도는 약 10도 내지 약 90도의 범위 내에 있으며, 예컨대 22.5도일 수 있다.

[0079] 이 실시형태에 있어서, 정전 편향기는 중간 전극(52c)을 더 포함하고, 이 중간 전극(52c)은 내측 전극(52b)의 하류측에 배치되며, 그것으로부터(예컨대, 갭을 통해) 전기적으로 절연되어 있어, 내측 전극(52b)에 인가되는 전압과 독립된 전압이 그 중간 전극(52c)에 인가될 수 있다. 예로서, 이 실시형태에 있어서, 외측 전극(52a) 및 중간 전극(52c)은 동일 전위로 유지된다. 일부 실시형태에 있어서, 외측 전극(52a)에 인가되는 전압은 약 0 내지 약 -20(마이너스 20) kV의 범위 내에 있을 수 있고, 내측 전극(52b)에 인가되는 전압은 약 -5(마이너스 5) kV 내지 약 -30(마이너스 30) kV의 범위 내에 있을 수 있다.

[0080] 외측 전극(52a)은 상류측 부분(UP) 및 하류측 부분(DP)을 포함하며, 이들은 이 외측 전극에 굽힘 프로파일을 부여하기 위해서 서로에 대해 정확한 각도로 배치되어 있다. 외측 전극의 상류측 부분과 하류측 부분 사이의 각도는 무엇보다도 기하학상의 제한, 이온빔이 감속/가속 시스템(22)에 입사할 때의 이온빔의 가로 방향의 발산에 기초하여 선택될 수 있다. 이 실시형태에 있어서, 외측 전극의 상류측 부분과 하류측 부분 사이의 각도는 약 22.5도이다. 이 실시형태에 있어서, 상류측 부분 및 하류측 부분은 일체적으로 외측 전극을 형성하고 있지만, 다른 실시형태에 있어서, 이 상류측 부분 및 하류측 부분은 전기적으로 등전위가 되도록 결합된 별개의 전극일 수도 있다.

[0081] 전술한 바와 같이, 외측 전극(52a)과 내측 전극(52b) 사이의 전위차는 이들 전극 사이의 공간에, 이온빔의 이온을 편향시키기 위한 전계를 발생시킨다. 전기적으로 중성종(중성 원자 및/또는 분자)이 이온빔 중에 존재하더라도 이 중성종은 편향되지 않고서, 이들이 정전 편향기(52)에 입사할 때의 진행 방향을 따라서 계속 진행한다. 그 결과, 이들 중성종, 또는 적어도 그 일부분은 외측 전극의 하류측 부분(DP)에 충돌하여 이온빔으로부터 제거된다.

[0082] 이온빔의 세로 치수를 따른(비분산면에서의) 전류 밀도를 조정하기 위한 다른(제2) 보정 장치(54)를 선택적으로 정전 편향기(52)의 하류측에 배치할 수 있다. 이 실시형태에 있어서, 제2 보정 장치(54)는 상류측의 보정 장치(42)와 같은 구조를 갖고 있다. 특히, 제2 보정 장치(54)는 상류측의 보정 장치(42)와 관련하여 도 5에 도시한 전극 쌍과 같이, 간격을 둔 복수의 전극 쌍을 포함하고, 이 전극 쌍들은 각 쌍의 전극이 이온빔을 통과시키기 위한 가로 방향의 갭을 형성한 상태로, 이온빔의 세로 치수를 따라서 적층된다. 상류측의 보정 장치(42)와 마찬가지로, 제2 보정 장치(54)의 각 전극 쌍은 전압의 인가에 의해서, 예컨대 보정 장치(42)에 관련하여 도 5에 도시한 전압원(V1, ..., V10)과 같은 복수의 전압원에 의해서, 개별적으로 바이어스 가능하다. 이 실시형태에 있어서, 제2 보정 장치(54)는 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도의 균일성을 더욱 개선하기 위해서, 필요하다면 이온빔의 1 이상의 부분을 국소적으로 편향시킬 수 있다. 이러한 방법으로, 2개의 보정 장치(42 및 54)는 공동으로, 감속/가속 시스템(22)에서 출사하는 리본 이온빔(8)이 그 세로 치수를 따른 고도의 전류 밀도 균일성을 나타내는 것을 확실하게 한다.

[0083] 또한, 전술한 제어기(44)는 제2 보정 장치(54)의 전극 쌍에 전압을 인가하는 전압원과 통신한다. 제어기(44)는 전극 쌍에 인가될 전압을, 예컨대 이하에서 상세하게 설명하는 방법으로 결정할 수 있고, 이 전압원이 상기 전압을 전극 쌍에 인가하게 할 수 있다.

[0084] 상류측의 보정 장치(42)와 마찬가지로, 하류측의 제2 보정 장치(54)는 이온빔의 가로 방향의 편향 및/또는 전술한 방법으로 이온빔의 세로 치수를 따른 진동 운동을 생기게 하도록 구성될 수 있다. 또한, 하류측의 보정 장치(54)는 예컨대 상류측의 보정 장치(42)와 관련하여 앞에서 설명한 방법으로, 이온빔 전체의 세로 방향(수직 방향)의 편향을 생기게 하도록 구성될 수도 있다.

[0085] 전술한 바와 같이, 이 실시형태에 있어서, 외측 전극(52a) 및 중간 전극(52c)은 동일 전위로 유지된다. 이로써, 이온빔이 정전 편향기와 제2 보정 장치 사이의 갭을 통과할 때에 원치 않는 전계 성분으로 인한 이온빔의 어떤 혼란을 개선하고, 바람직하게는 그것을 막을 수 있다.

[0086] 이 실시형태에 있어서, 하류측의 제2 보정 장치(54)의 전극 쌍은 상류측의 보정 장치(42)의 전극 쌍에 대하여,

이온빔의 세로 치수를 따라 지그재그형으로 배치되어 있다. 다시 말해, 보정 장치(54)의 각 전극 쌍은 상류측의 보정 장치(42)의 각 전극 쌍에 대하여 수직으로(즉, 이온빔의 세로 치수를 따라서) 오프셋되어 있다. 그와 같은 오프셋은, 예컨대 보정 장치의 전극의 세로 방향의 높이의 반(半)(픽셀 사이즈의 절반)일 수 있다. 이러한 방법으로, 보정 장치(42 및 54)는 이온빔의 다양한 부분의 국소적인 편향을, 더욱 정밀한 분해능으로, 예컨대 픽셀 사이즈의 절반에 해당하는 분해능으로 생기게 할 수 있다.

- [0087] 이 실시형태에 있어서, 보정 장치(42 및 54)는 이들의 전극 쌍에 인가되는 전압을 약 2 kV 미만으로 제한하기 위해서 서로 충분히 떨어져 있기 때문에, 이들 보정 장치의 동작의 안정성을 개선할 수 있고, 또한 세로 치수를 따른 전극 쌍의 밀집 패킹을 가능하게 할 수 있다.
- [0088] 이 실시형태에서는, 2개의 보정 장치를 채용하고 있지만, 다른 실시형태에서는, 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도의 균일성을 개선하기 위해서, 하나의 보정 장치만을 채용할 수 있는데, 예컨대 보정 장치(42) 또는 보정 장치(54) 중 어느 하나를 채용할 수 있다. 예컨대, 분석 마그넷으로부터 받은 이온빔(8)을 감속시키는 일부 실시형태에서는, 하류측의 보정 장치(54)만 채용할 수 있다.
- [0089] 계속하여 도 2b 및 도 2c와 함께 도 2a를 참조하면, 다른(제2) 집속 요소(56)가 제2 보정 장치(54)의 하류측에 선택적으로 배치되어 있고, 제2 보정 장치(54)로부터 갭(58)만큼 떨어져 있다. 상류측의 집속 요소(48)와 마찬가지로, 제2 집속 요소(56)는 한 쌍의 대향 전극(56a 및 56b)을 포함하며, 이들은 이온빔을 통과시키기 위한 경로를 이들 사이에 형성한다. 제2 보정 장치(54)의 1 이상의 전극 쌍과 제2 집속 전극(56a/56b) 사이의 전위차는 갭(58) 내에 전계를 생기게 할 수 있고, 이 전계는 이온빔이 갭을 통과할 때에 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시킬 수 있다.
- [0090] 일부 실시형태에 있어서, 집속 전극(56a 및 56b)에 인가되는 전압은 약 0 내지 약 -10(마이너스10) kV의 범위 내에 있을 수 있다.
- [0091] 시스템은 접지 요소(60)를 더 포함하는데, 이 접지 요소는 제2 집속 전극(56a 및 56b)의 하류측에 배치되며, 이들로부터 갭(62)을 형성하도록 떨어져 있는 한 쌍의 대향하는 전기적으로 접지된 전극(60a 및 60b)을 갖는다. 이 대향하는 전기적으로 접지된 전극(60a 및 60b)은 전기적으로 접지된 덕트를 형성하고, 이 덕트를 통하여 이온빔이 감속/가속 시스템으로부터 엔드 스테이션(24)을 향해 출사한다.
- [0092] 일부 실시형태에 있어서, 감속/가속 시스템(22)에는 제2 보정 장치(54) 및 제2 집속 요소(58)가 없다.
- [0093] 집속 전극(56a 및 56b)과 접지 전극(60a 및 60b) 사이의 전위차는 갭(62) 내에 전계 성분을 발생시킬 수 있고, 이 전계 성분은 이온빔이 갭(62)을 통과할 때에 이온빔의 가로 치수를 따른 발산을 감소시킬 수 있다. 더욱, 이 실시형태에 있어서, 전극(60a 및 60b)의 상류측면(상류측단)은 이온빔의 세로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위해서, 예컨대 전극(48a/48b)의 상류측면(상류측단)과 마찬가지로 만곡해 있다. 따라서, 렌즈 갭(58 및 62)은 공동으로 이온빔(8)의 가로 치수 및 세로 치수를 따른 발산을 감소시키기 위한 제2 집속 렌즈를 제공한다.
- [0094] 다수의 실시형태에 있어서, 감속/가속 시스템에서 출사하는 출력 리본 이온빔(8)은 RMS 비균일성이 약 5 % 이하, 또는 약 4 % 이하, 또는 약 2 % 이하, 더욱 바람직하게는 1 % 미만인 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일을 나타낸다. 그와 같은 리본빔은 그것이 입사하는 기관의 직경보다 큰(예컨대, 약 300 mm보다 크거나 약 450 mm보다 큰) 세로 길이를 가질 수 있다. 따라서, 가로 치수를 따른 기관의 선형 운동은 기관 내에 실질적으로 균일한 도즈량의 이온을 주입할 수 있게 한다.
- [0095] 일부 실시형태에 있어서, 출력 리본 이온빔(8)은 기관에 약 10^{12} 내지 약 10^{16} cm^{-2} 의 범위 내의 도즈량의 이온을 주입하기 위해 채용될 수 있다. 그와 같은 일부 실시형태에 있어서, 기관에 입사하는 리본 이온빔(8)의 전류는, 예컨대 약 수십 μA (예컨대, 약 20 μA) 내지 약 수십 mA(예컨대, 약 60 mA)의 범위 내, 보다 구체적으로는 약 50 μA 내지 약 50 mA의 범위 내, 또는 약 2 mA 내지 약 50 mA의 범위 내에 있을 수 있다.
- [0096] 일부 실시형태에 있어서, 보정 장치(42 및 54)에 인가되는 전압은 다음과 같은 방법으로 결정될 수 있다. 분석 마그넷(20)에서 출사하는 질량 선택된 리본 이온빔(여기서는 무보정 이온빔이라고도 부름)의 전류 밀도를 처음에 측정할 수 있다. 이것은, 예컨대 이온빔을 실질적으로 원래대로 엔드 스테이션에 유도하기 위해서, 정전 편향기의 전극에만 전압을 인가한 상태로 무보정 이온빔을 감속/가속 시스템(22)에 통과시킴으로써 달성될 수 있다.
- [0097] 엔드 스테이션 내에 배치된 전류 측정 장치는 무보정 이온빔의 전류 밀도 프로파일을 측정하는데 이용될 수 있다. 예로서, 도 9는 이온 주입 시스템의 엔드 스테이션(24) 내에 인입 가능하게 배치된 프로파일러(102)를 개략

적으로 도시한다. 다양한 빔 전류 프로파일러를 채용할 수 있다. 예컨대, 일부 실시형태에 있어서, 빔 전류 프로파일러는 빔의 전류 프로파일을 높이의 함수로서 측정하기 위한 패러데이컵(Faraday cup)의 어레이를 포함할 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, 빔 프로파일러는 이온빔을 가로 질러 이동할 수 있는 전류 측정판을 포함할 수 있다. 빔 프로파일러는 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 프로파일에 관한 정보를 제공하기 위해서, 제어기(44)와 통신한다. 제어기(44)는 이 정보를, 보정 장치 및/또는 다른 요소(예컨대, 집속 요소)에 인가될 필요 전압을 결정하는데 이용할 수 있다. 예컨대, 제어기(44)는 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일의 균일성을 개선하기 위해서, 보정 장치의 전극 쌍에 인가될 전압을 결정하는데 이 정보를 이용할 수 있다.

[0098] 예로서, 도 10a는 40 keV의 에너지 및 30 mA의 총 전류를 갖는 무보정 인(磷) 이온빔의 다수의 높이 빈(bin)에서의 시뮬레이션 이온 전류를 나타내는 히스토그램을 나타낸다. 이 히스토그램은 균일성 창(uniformity window)에 대하여, 이온빔의 전류 밀도의 국소적인 비균일성을 나타내고 있다. 이 예에 있어서, 무보정 빔은 상이한 높이 빈의 이온 전류에 있어서 약 12.5 %의 RMS 변동을 나타내고 있다.

[0099] 다시 도 9를 참조하면, 제어기(44)는 빔프로파일러(102)로부터 무보정 빔의 전류 밀도 프로파일에 관한 정보(예컨대, 상기 히스토그램으로 나타내는 정보)를 수신할 수 있고, 이 정보를, 하나의 보정 장치의 전극 쌍에 인가될 전압을 결정하여[예컨대, 도 10a, 도 10b 및 도 10c와 관련하여 설명한 예에서는 하류측의 보정 장치(54)를 처음에 구성함], 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도의 제1 보정을 실현하기 위해 이용할 수 있다. 어레이 1은 제1 보정 장치(42), 어레이 2는 제2 보정 장치(54), 어레이 전압은 그것들의 전극쌍에 인가되는 전압이다.

[0100] 일부 실시형태에 있어서, 제어기는 각 높이 창에 있어서의 측정 전류를 기준치와 비교할 수 있다. 측정 전류와 기준치 사이의 차가 임계치, 예컨대 1 또는 2 %를 넘는 경우, 제어기는 1 이상의 전압원에, 그 높이 창에 해당하는 빔부분이 통과하는 1 이상의 전극 쌍에 대하여 전압을 인가하게 하여, 그 빔부분에 있어서의 전류를 기준치에 근접하게 할 수 있다. 앞에서 자세하게 설명한 바와 같이, 이것은 이온빔의 세로 치수를 따른 국소적인 편향을 생기게 함으로써 달성될 수 있다.

[0101] 예로서, 제어기는 제2 보정 장치(54)의 전극 쌍에 결합된 전압원에, 이온빔을 그 중앙에서 발산시키고 그 상단에서 집속시키기 위하여 도 10b에 도시하는 전압을 상기 전극 쌍에 대하여 인가하게 할 수 있다. 예컨대, 60-90 mm의 높이 창에 해당하는 이온빔의 부분이 통과하는 전극 쌍에 대하여, 이 이온빔 부분의 전류 밀도를 감소시키기 위한 전압을 인가할 수 있다. 이러한 방법으로, 이온빔의 전류 밀도의 균일성을 개선할 수 있다.

[0102] 하나의 보정 장치[예컨대, 이 예에서는 하류측의 보정 장치(54)]에 의해 보정된 부분 보정 이온빔의 전류 밀도 프로파일은 그 후, 예컨대 무보정 이온빔의 전류 밀도의 측정과 관련하여 전술한 방법으로 측정될 수 있다.

[0103] 예로서, 도 10b에 도시하는 히스토그램은 도 10a에 도시한 무보정 빔의 전류 밀도를 개선하기 위해서, 제2 보정 장치만을 이용하여 얻어진 이온빔의 세로 치수를 따른 높이 창 함수로서 시뮬레이션 이온 전류를 나타내고 있다. 이 부분 보정 이온빔은 균일성 창 내에서 약 3.2 %의 빔전류의 RMS 편차를 나타낸다(무보정 빔이 나타내는 12.5 %의 변동에 비해 개선됨).

[0104] 다시 도 9를 참조하면, 제어기(44)는 상류측의 보정 장치(42)의 전극 쌍에 인가될 전압을 결정하여, 빔 프로파일의 균일성을 더욱 높이기 위해서, 부분적으로 보정된 이온빔의 전류 밀도 프로파일에 관한 정보를 수신할 수 있다. 다시 말해, 상류측의 보정 장치는 빔 프로파일의 정밀 보정을 실현할 수 있다.

[0105] 예로서, 도 10c는 균일성 창 내의 빔 프로파일의 균일성을 더욱 높이기 위해서 제1 보정 장치(42)에 인가할 수 있는 전압을 나타내고 있다. 이 도면은 또한 도 10a에 도시하는 빔 프로파일을 갖는 무보정 빔의 비균일성을 보정하기 위해서 제1 보정 장치(42) 및 제2 보정 장치(54) 모두를 채용했을 때의 이온빔의 시뮬레이션 전류 프로파일을 나타내는 히스토그램을 제시한다. 이 히스토그램은, 2개의 보정 장치의 조합된 보정 효과에 의해, 약 1.2 %의 균일성 창 내의 이온 전류의 RMS 편차를 갖는 전류 밀도 프로파일이 생기는 것을 보여준다. 다시 말해, 이 예에서는, 2개의 보정 장치의 조합된 보정 효과로, 이온빔의 세로 치수를 따른 전류 밀도 프로파일의 균일성에 있어서 1 자릿수 정도의 크기의 개선이 이루어진다.

[0106] 다른 실시형태에 있어서, 상류측의 보정 장치(42)는 질량 분석기에서 출사되는 리본빔의 전류 밀도 프로파일의 거친 보정(coarse correction)을 실현하도록 구성될 수도 있고, 그리고 하류측의 보정 장치(54)는 이온빔의 전류 밀도 프로파일의 보다 정밀한 보정을 실현하도록 구성될 수 있다.

[0107] 전술한 바와 같이, 감속/가속 시스템(22)은 다양한 방법으로 구성될 수 있다. 예로서, 일부 실시형태에 있어서, 감속/가속 전압은, 감속/가속 시스템(22)이 이온빔 중의 이온의 가속 및/또는 감속을 생기게 하지 않는 보정 시

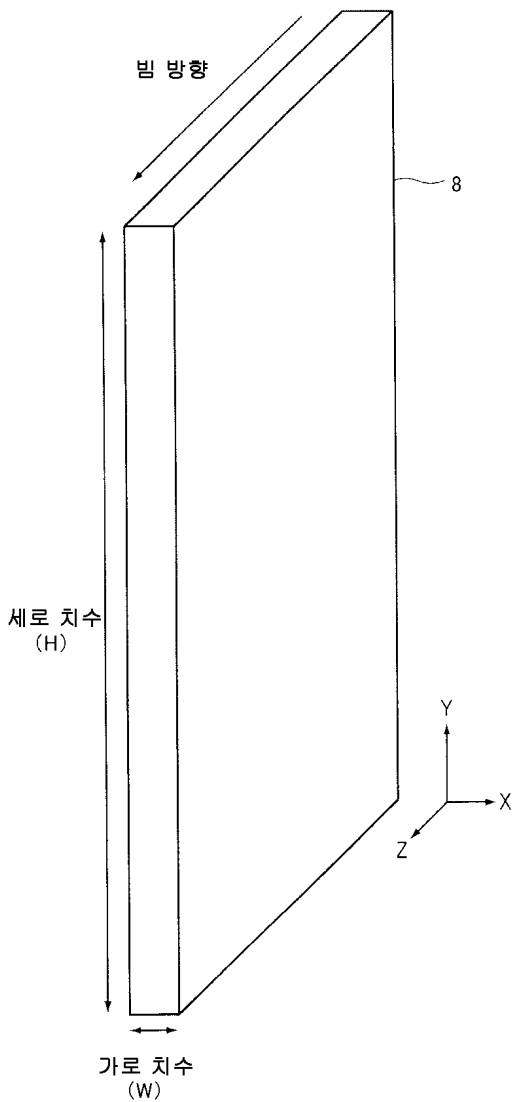
시스템으로서만 기능하도록 제로로 설정될 수도 있다.

[0108] 본 개시에 따른 이온 주입 시스템은 다양한 기판에 다양한 이온을 주입하는데 채용될 수 있다. 그와 같은 이온의 몇몇 예로는, 인, 비소, 붕소와, BF_2 , $B_{18}H_x^+$ 및 $C_7H_x^+$ 등의 분자 이온을 포함하지만, 이들에 한정되지는 않는다. 기판의 몇몇 예로서는, 실리콘, 게르마늄, (예컨대, 폴리실리콘이 코팅된) 에피택셜 웨이퍼, 절연막상 실리콘(SIMOX) 웨이퍼, SiC 또는 SiN 등의 세라믹 기판, 태양 전지, 및 평면 디스플레이 제조에 이용되는 기판을 포함하지만, 이들에 한정되는 것은 아니다. 기판 형상의 몇몇 예로는 원형, 정방형 또는 직사각형을 포함한다.

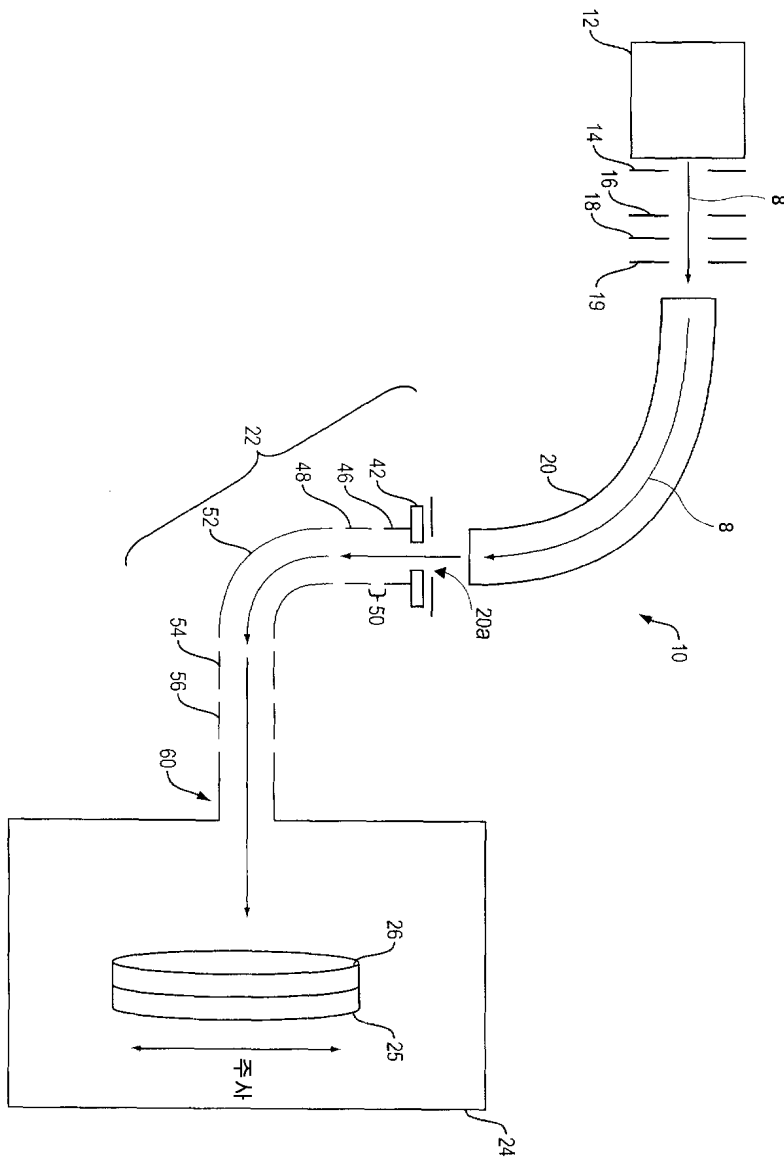
[0109] 당업자는 본 발명의 범위에서 벗어나는 일 없이, 상기 실시형태들에 대해 여러 가지 변경이 이루어질 수 있는 것을 이해할 수 있을 것이다.

도면

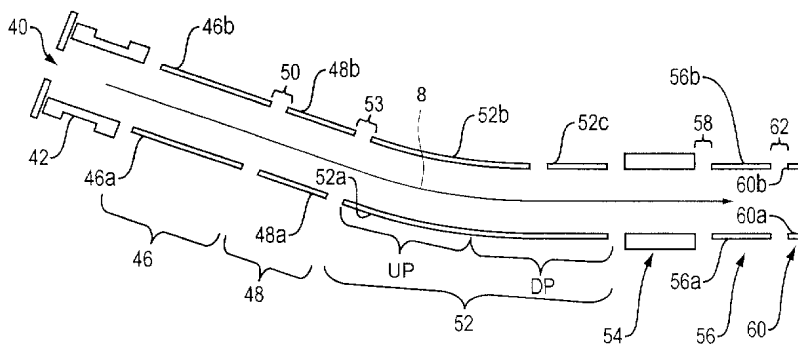
도면1



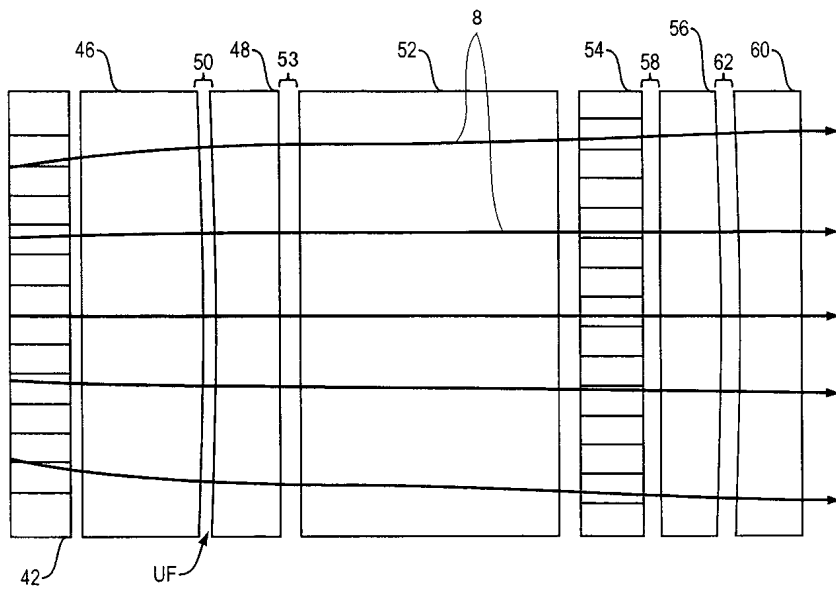
도면2a



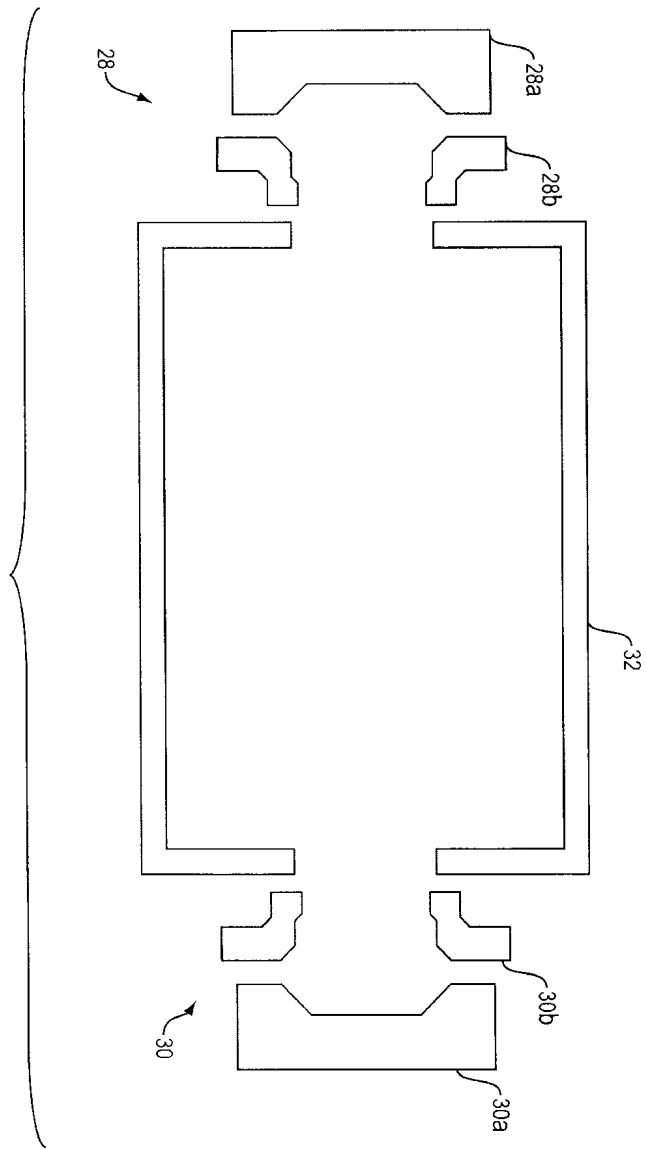
도면2b



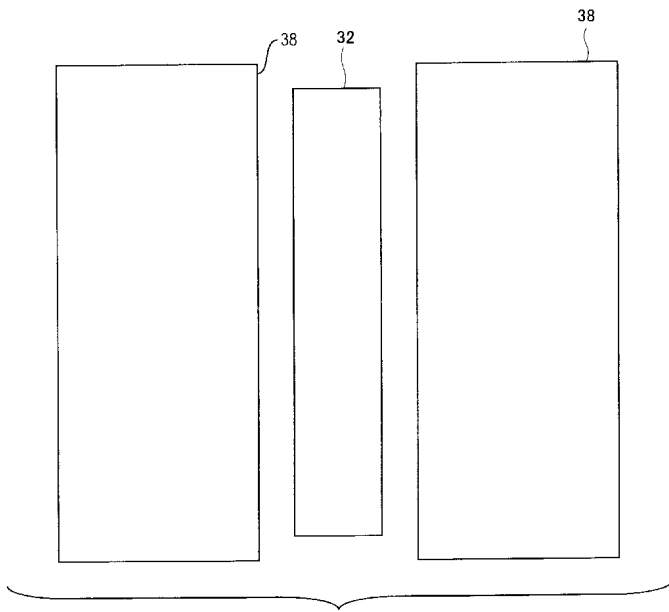
도면2c



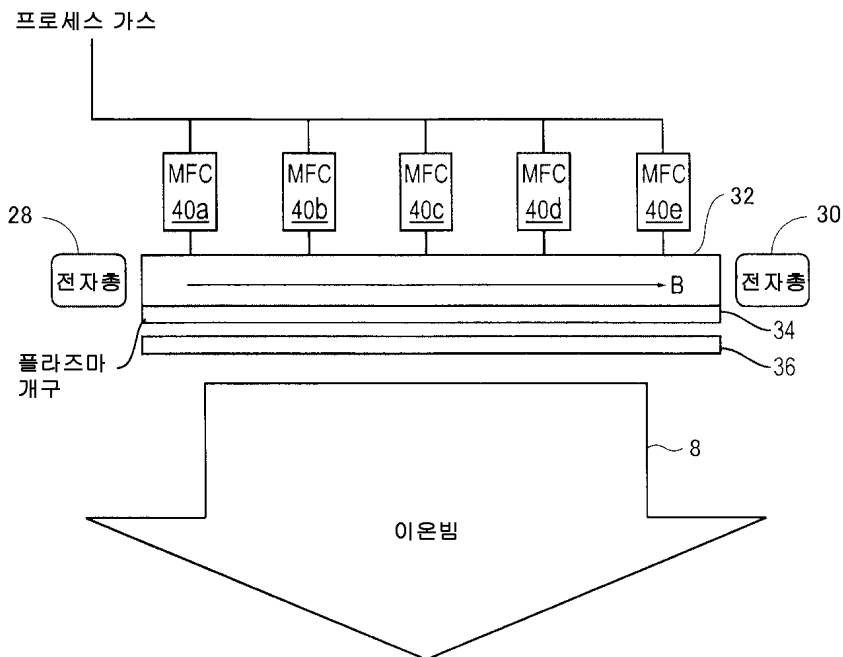
도면3a



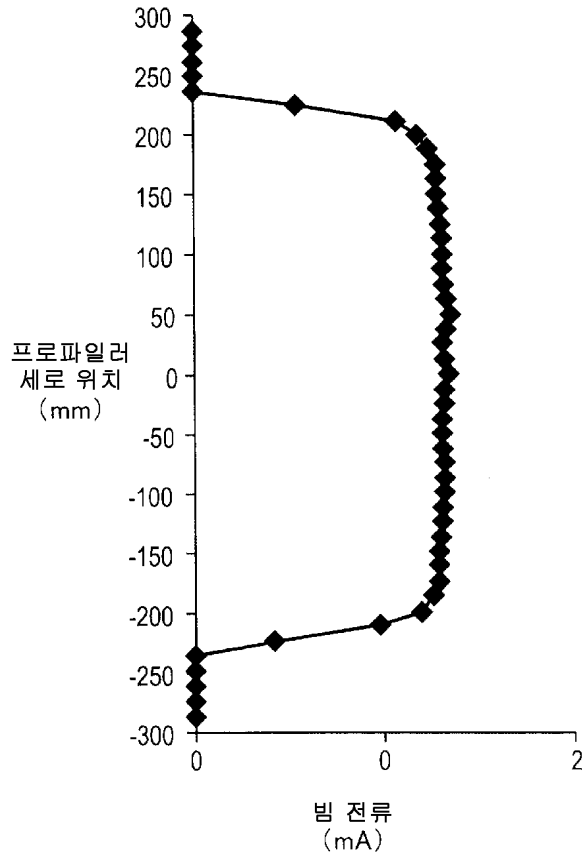
도면3b



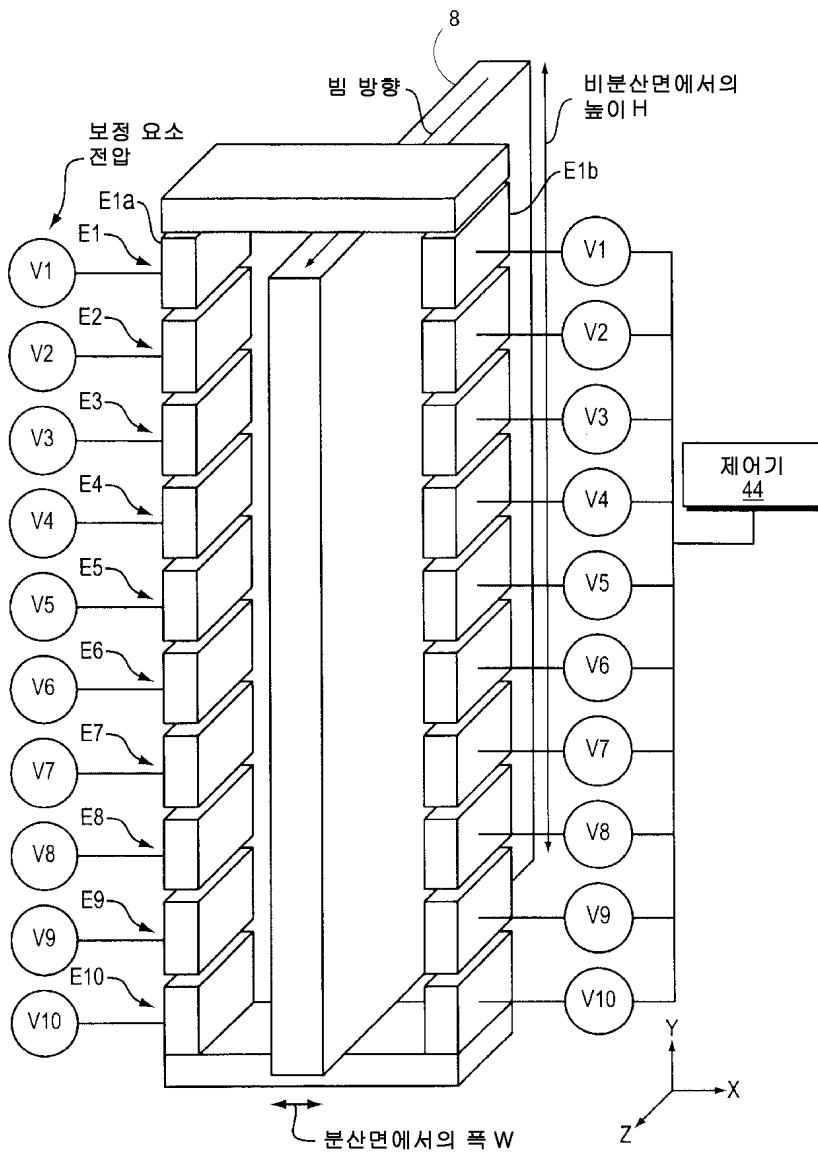
도면3c



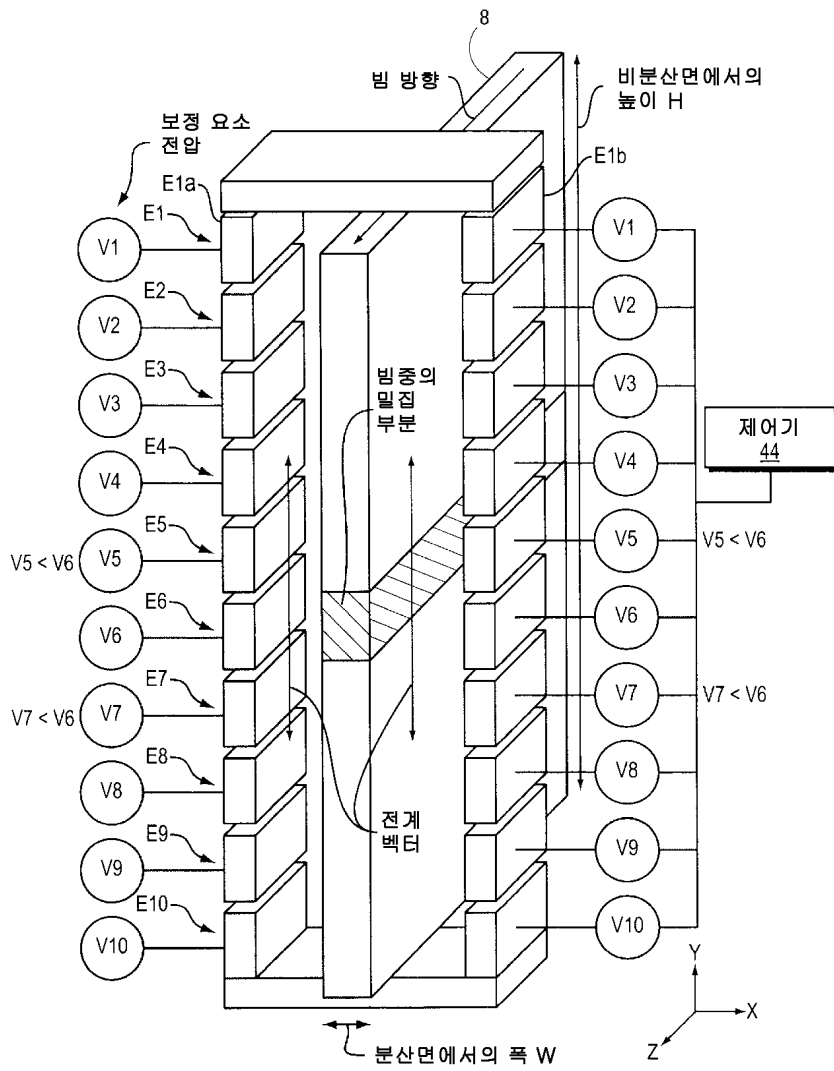
도면4



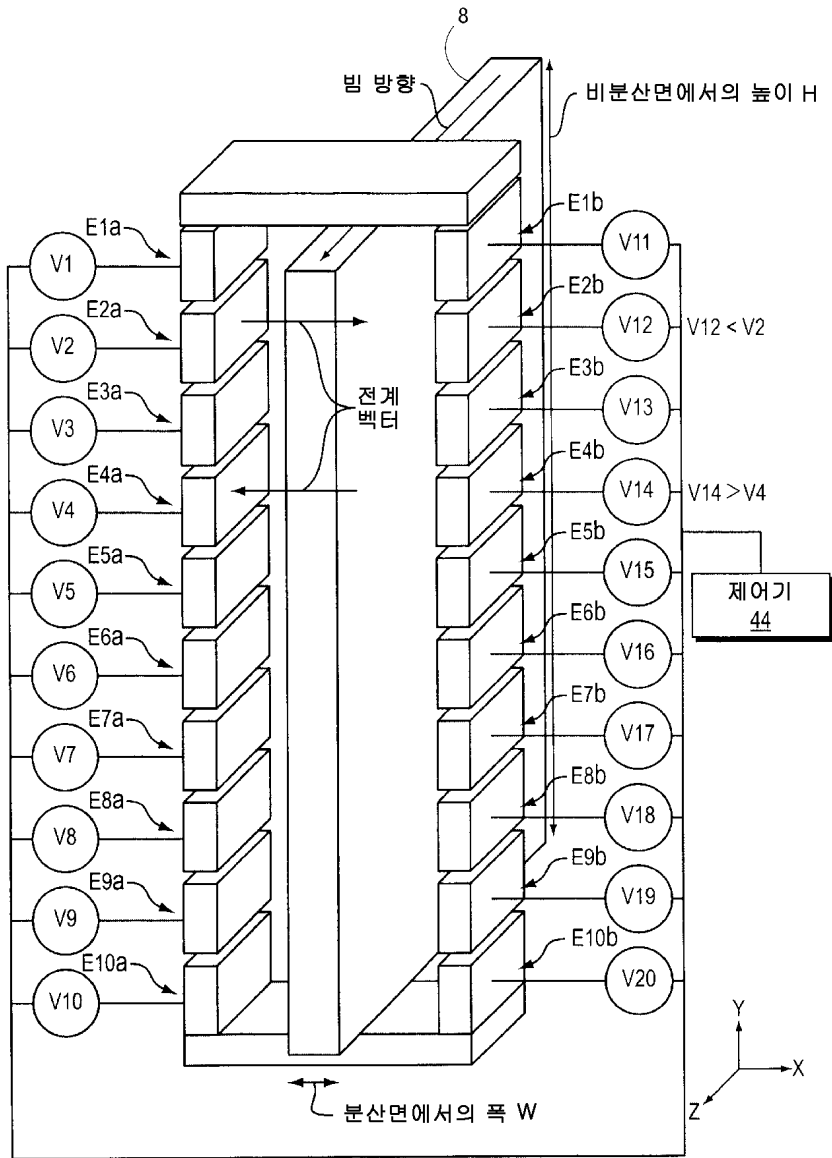
도면5



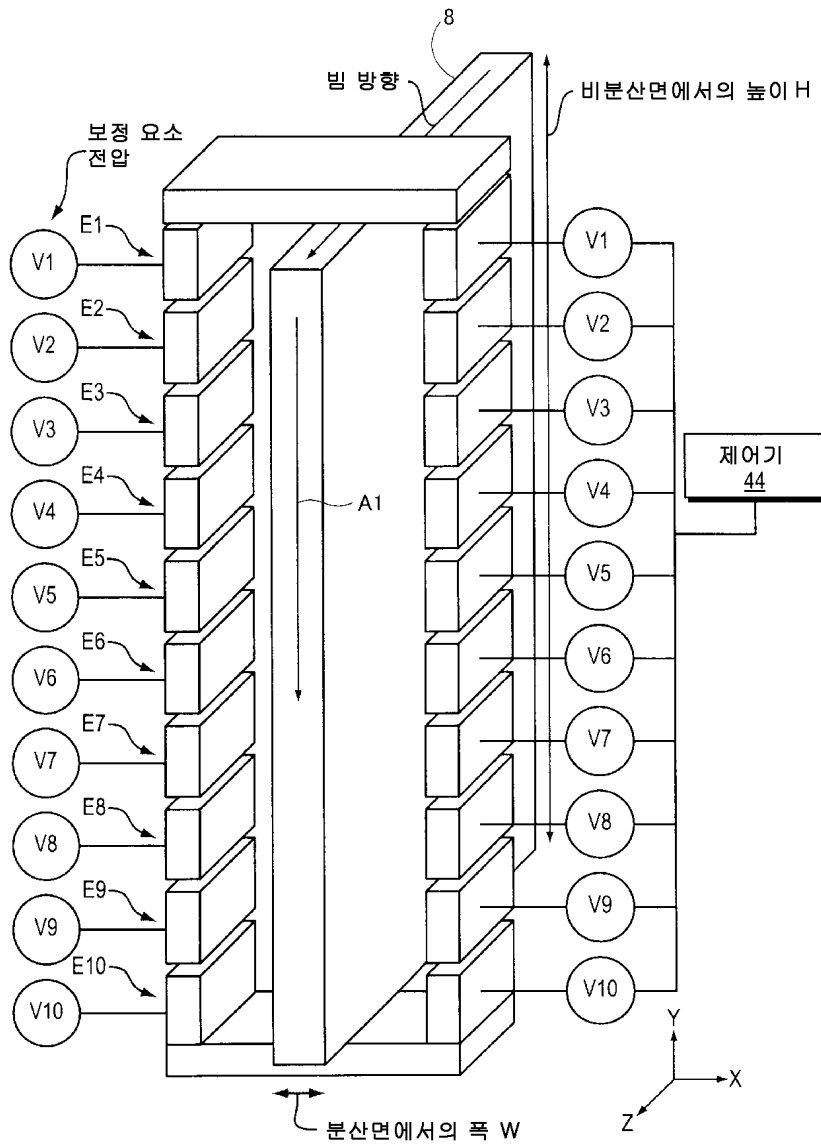
도면6



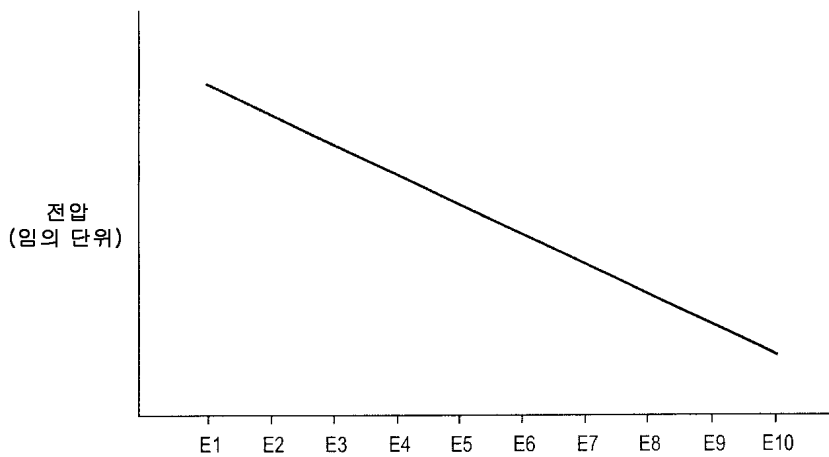
도면7a



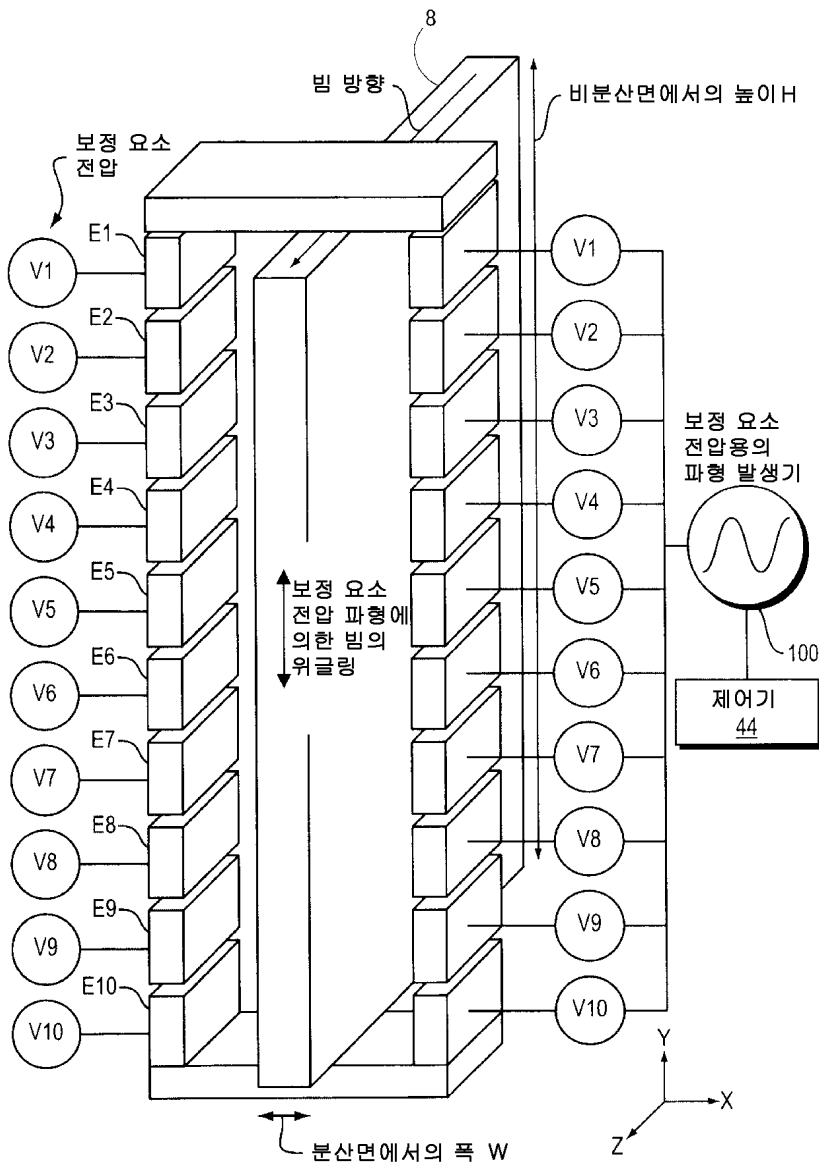
도면7b



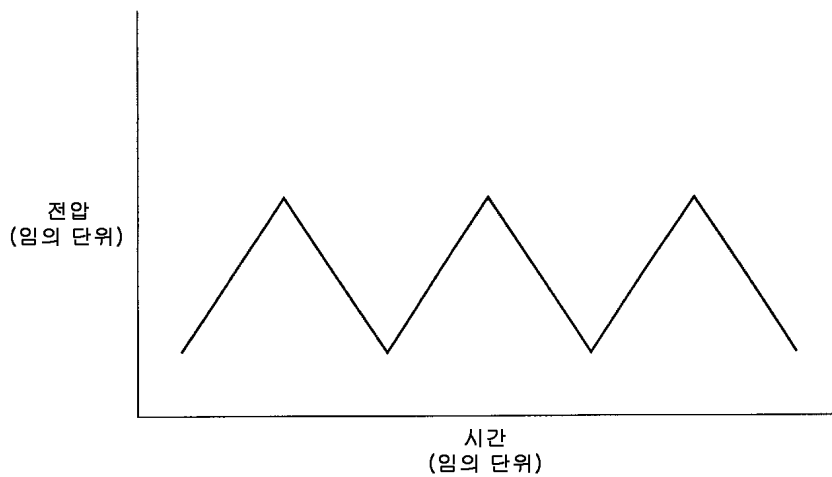
도면7c



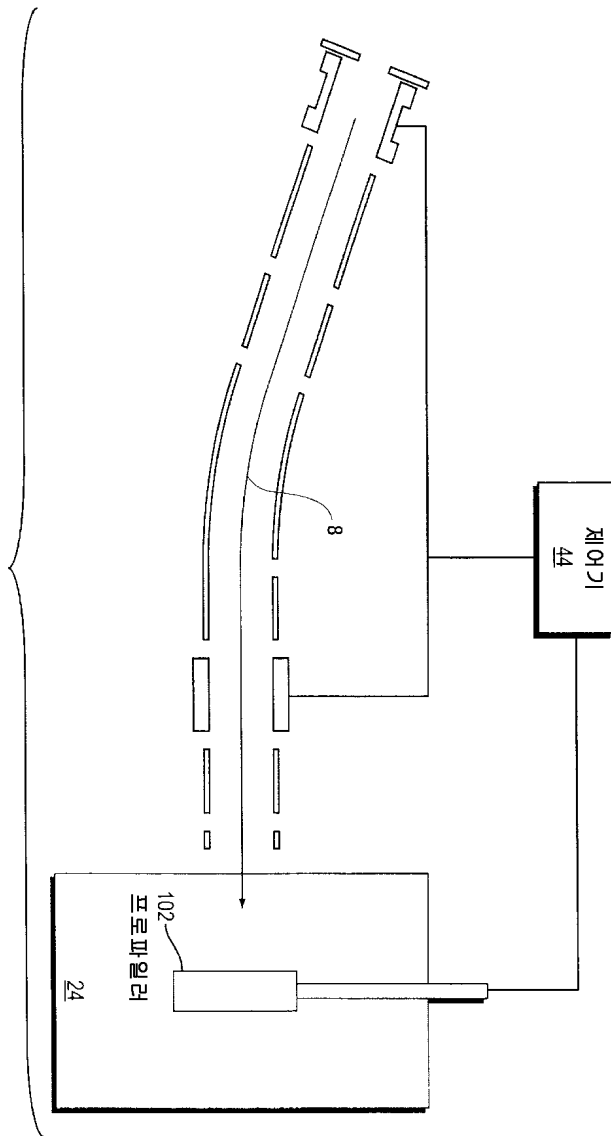
도면8a



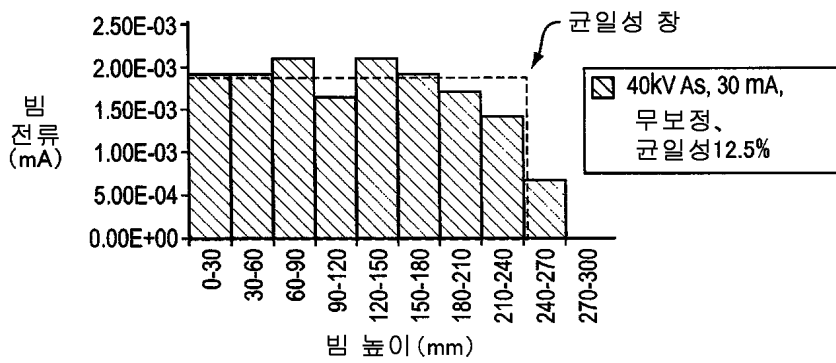
도면8b



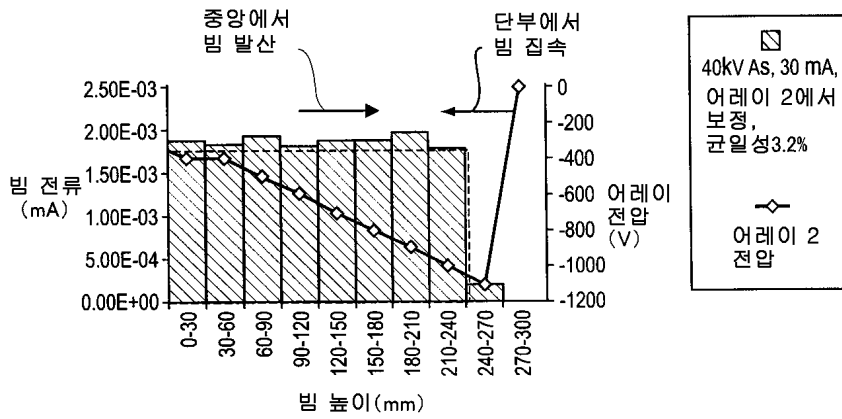
도면9



도면10a



도면10b



도면10c

