(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.[7]
H01L 21/265

(45) 공고일자 2005년04월27일
(11) 등록번호 10-0485534
(24) 등록일자 2005년04월18일

(21) 출원번호 10-2000-0008027
(22) 출원일자 2000년02월19일
(65) 공개번호 10-2000-0058112
(43) 공개일자 2000년09월25일

(30) 우선권주장 09/253,375 1999년02월19일 미국(US)

(73) 특허권자
액셀리스 테크놀로지스, 인크.
미합중국 매사츄세츠 (우편번호: 01915) 비벌리 체리 힐 드라이브 55

(72) 발명자
멕인타이어에드워드커바이
미합중국메사츄세츠02038프렌크린제퍼슨로드34

데루카도날드에드워드
미합중국메사츄세츠01915베벌리코로니알로드9

다이온네제랄드레오
미합중국메사츄세츠01982사우스해밀톤하이랜드스트리트17

루미스폴애쉬비
미합중국메사츄세츠01833조지타운핑그리팜로드11

루티쉬아우서한스저그
미합중국메사츄세츠02420렉싱톤메리멘스트리트97

폴너도날드엔
미합중국메사츄세츠01945마블헤드테데스코스트리트51

류준
미합중국메사츄세츠01945베벌리포스터드라이브16

(74) 대리인
최재철
김기종
권동용
서장찬

심사관 : 이강하

(54) 고-에너지 이온 주입기용 연속 가변 개구

요약

이온 주입 시스템(10)에서 개구를 통과하는 이온빔 전류량을 제어하기 위한 가변 개구 조립체(30)가 제공된다. 이 개구 조립체(30)는, 이온빔이 통과하는 제1 및 제2개구판(44A, 44B)을 대향시킴으로써 형성되는 개구(44)와, 상기 제1 및 제2개구판(44A, 44B)에 각각 연결되는 제어 암(46A, 46B)과, 제어 암에, 반대 방향으로 동시에 운동을 부여해서 개구판(44A, 44B)들 간의 갭(gap)(50)을 조정함으로써 개구(44)를 통과하는 전류량을 제어하는 개구 구동 메커니즘(36)을 포함한다. 제어 암이 이동하는 상기 반대 방향의 각각은 이온빔이 따라서 통과하는 축에 대하여 대체로 수직이다. 또한, 이온 주입기

빔라인을 통과하는 실제의 이온빔 전류와, 필요로 하는 이온빔 전류와, 개구 위치를 나타내는 입력들에 따라서 개구 갭(50)을 자동적으로 조정하는 제어 시스템(120)이 설치되어 있다. 제어 시스템(120)은 입력을 수신하여, 개구 구동 메커니즘에 제어 신호(126, 128)를 출력해서 개구 갭을 조정하는 제어 로직(122, 124)을 포함한다.

대표도

도 2

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 원리에 따라 구성된 연속 가변 개구를 포함하는 이온 주입기의 평단면도.

도 2는 도 1의 이온 주입기에 도시된 연속 가변 개구 조립체의 사시도.

도 3은 도 2의 연속 가변 개구 조립체의 평면도.

도 4는 도 2 및 3의 연속 가변 개구를 제어하는 데에 사용되는 제어 루프 메커니즘을 나타내는 개략 회로도.

도 5는 도 4의 개구 제어 메커니즘을 포함하는, 규정된 동작 파라미터를 기초로 하여, 도 1의 이온 주입기의 이온빔 전류를 조정하는 데에 사용되는 전체 제어 알고리즘을 나타내는 개략적인 흐름도.

도 6은 바람직한 제1제어방법을 기초로 한, 도 4의 제어 루프 메커니즘의 조정에 대한 빔 전류 응답의 그래프도.

도 7은 바람직한 제2제어방법을 기초로 한, 도 4의 제어 루프 메커니즘의 조정에 대한 빔 전류 응답의 그래프도.* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명10 : 이온 주입 시스템 14 : 이온 소스12 : 인젝터(injector) 16 : 질량분석 자석18 : 선형가속기(linac) 20 : 공진기 모듈22 : 최종 에너지 자석(FEM) 23 : 분리 하우징24 : 엔드 스테이션(end station) 26 : 회전 디스크30 : 가변 개구31, 35 : 플래그 패러데이(flag Faraday)32 : 개구 부조립체(subassembly) 34 : 장착판36 : 개구 구동 메커니즘 38, 104 : 유입구40, 106 : 유출구 44 : 개구44A, 44B : 제1 및 제2개구판 46A 및 46B : 제어 암(arm)50 : 갭(gap)51 : 축선(51)54, 56 : 동면(動面) 62, 64, 66, 72, 74, 76 : 블록조립체70, 80 : 벨로스(bellows) 82 : DC 모터84 : 나사 형성 축 88 : 축 커플링90 : 리드선 116, 118 : 선형 전위차계120 : 제어 메커니즘 122 : 비교기124 : 모터 제어기 126, 128 : 제어신호

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 일반적으로 고-에너지 이온 주입 시스템, 및 더욱 상세하게는, 이러한 시스템에 사용하기 위한 연속 가변 개구에 관한 것이다.

이온 주입법은 집적회로의 대규모 제조에 있어서 반도체에 불순물을 도핑 (doping)하는 데에 사용하는, 산업계에서 선호하는 기술이 되었다. 기판에 깊게 이온을 주입하는(deep implantation) 경우에는 고-에너지(high energy) 이온 주입기를 사용한다. 이러한 깊은 이온 주입은, 예로서, 레트로그레이드 웰(retrograde well)을 형성하는 데에 필요하다. 이튼(Eaton)사의 GSD/HE 및 GSD/VHE 이온 주입기는 이러한 고-에너지 이온 주입기의 예이다. 이러한 이온 주입기는, 5MeV(million electron volts)까지의 에너지 레벨의 이온 빔을 형성할 수 있다. 본 발명의 양수인인 이튼사(Eaton Corporation)에 양도되고, 또한 이러한 고-에너지 이온 주입기에 관해 설명하고 있는 미합중국 특허 제4,667,111호를 전체적으로 기재된 대로 여기에서 참조로서 인용한다.

통상적으로, 이온 주입은 반도체 기판에 대하여 규정된 일련의 공정 또는 방법으로 실행된다. 일련의 공정들 각각은, 특정 레벨의 이온빔 전류를 필요로 하는 여러 가지의 방법을 포함할 수도 있다. 상이한 방법들에 대하여 이온빔 전류를 조절하는 현재의 방법들은, 특정 레벨의 빔 전류에 대한 이온빔 소스의 초기 조정과, 이어서 어떠한 후속하는 상이한 레벨의 빔 전류에 대한 소스의 재조정을 포함한다. 그러나, 이러한 방법은, 통상적인 화학종(a common species)(예컨대, 붕소 또는 인)을 포함하는 빔 방법들이 연속적으로 이어질 때, 시간 소모적이고 또한 가장 불리하다. 방법들을 연속적으로 실행함으로써 절약되는 시간은 방법들 간에 소스를 재조정하는 데에 필요한 시간에 의해서 상쇄된다.

하나 이상의 필요로 하는 이온의 동위 핵종(核種)이 개구를 통과하여 기판에 주입되도록 하기 위해 이온 주입기 빔라인에 가변적인 크기로 된 개구를 사용하는 것이 공지되어 있다. 이러한 개구는 미합중국 특허 제5,130,552호에 나와 있고, 여기서 개구 크기는 각각의 이온 주입 공정에 대하여 규정되어 있어서, 이에 따라서 조정된다. 그러나, 고-에너지 이온 주입 시스템에서 이러한 개구를 구성하는 것은 공지되어 있지 않다. 또한 이온빔 전류 피드백을 사용하여 동적인 조정을 가능하게 하는, 이러한 개구용 제어회로를 구성하는 것도 공지되어 있지 않다.

삭제

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명의 목적은 이온 주입 시스템의 빔라인에서 사용하기 위한, 조정 가능한 개선된 개구를 제공하는 것이다. 본 발명의 다른 목적은 고-에너지 주입 시스템에서 사용하기 위한, 이러한 조정 가능한 개구를 제공하는 것이다. 본 발명의 또 다른 목적은, 제어 시스템에 대한 피드백 신호로서 이온빔 전류를 사용하는, 이러한 조정 가능한 개구의 제어 방법을 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

이온 주입 시스템에서 개구를 통과하는 이온빔 전류량을 제어하기 위한 가변 개구 조립체가 제공된다. 이 개구 조립체는, 이온빔이 통과하는 제1 및 제2개구판을 대향시킴으로써 형성되는 개구와, 상기 제1 및 제2개구판에 각각 연결되는 제어 암과, 제어 암에 반대 방향으로 동시에 운동을 부여해서 개구판들 간의 갭(gap)을 조정함으로써 개구를 통과하는 전류량을 제어하는 개구 구동 메커니즘을 포함한다. 제어 암이 이동하는 상기 반대 방향의 각각은 이온빔이 따라서 통과하는 축에 대하여 대체로 수직이다. 또한, 이온 주입기 빔라인을 통과하는 실제의 이온빔 전류와, 필요로 하는 이온빔 전류와, 개구 위치를 나타내는 입력들에 따라서 개구 갭을 자동적으로 조정하는 제어 시스템이 설치되어 있다. 제어 시스템은 입력을 수신하여, 개구 구동 메커니즘에 제어 신호를 출력해서 개구 갭을 조정하는 제어 로직을 포함한다.고-에너지 이온 주입기(10)의 평단면도가 도 1에 도시되어 있다. 이온 주입기(10)는 다섯개의 섹션 또는 서브시스템들, 즉, 이온빔을 생성하는 이온 소스(14)와 이온빔을 질량 분석하는 질량분석 자석(16)을 포함하는 인젝터(injector)(12)와, 이온빔을 더 큰 에너지로 가속하는 다수의 공진기 모듈(20)을 포함하는 무선주파수(RF) 선형가속기(linac)(18)와, 가속된 이온빔의 최종 질량 분석을 실행하는 최종 에너지 자석(FEM)(22)과, 이온빔의 최종 분리와 조절을 위한 분리 하우징(23)과, 이온빔을 주입할 웨이퍼(W)를 반송하는 회전 디스크(26)를 포함하는 엔드 스테이션(24)을 포함한다. 질량분석 자석(16) 다음의 선형가속기(18)의 입구에, 질량분석 자석(16)으로부터 선형가속기(18)로 가는 이온빔 전류량을 제어하는 기능을 하는 연속 가변 개구 조립체(30)가 위치한다. 연속 가변 개구(30)의 바로 다음에는, 개구(30)로부터 나와서 선형가속기로 들어가는 빔 전류를 측정하는데 사용하는 제1 플래그 패러데이(a first flag Faraday)(31)가 위치한다.

질량 분석 자석(16)은, 이온 소스(14)에서 생성한, 적절한 전하 대 질량비 (charge-to-mass ratio)를 갖는 이온만을 RF 선형가속기(18)로 통과시키는 기능을 한다. 질량 분석 자석은, 이온 소스(14)가, 적절한 전하 대 질량비를 갖는 이온을 생성하는것 이외에, 필요로 하는 이상의 또는 이하의 전하 대 질량비를 갖는 이온도 또한 생성하기 때문에 필요하다. 적절하지 않은 전하 대 질량비를 갖는 이온은 웨이퍼에의 주입에 적합하지 않다.

질량 분석 자석(16)을 통과하는 이온 빔은, 통상적으로, 단일의 동위 핵종으로 구성되고, 또한 통과중인 이온 빔에 추가적인 에너지를 부여하는 RF 선형가속기 (18)에 진입한다. RF 선형가속기는 시간에 따라서 주기적으로 변동하는 입자 가속계(particle accelerating field)를 형성하며, 그 위상을 조정함으로써, 상이한 원자 번호의 입자 및 상이한 속도를 갖는 입자에 적응시킬 수도 있다. RF 선형가속기 (18) 내의 다수의 공진기 모듈(20)들 각각은, 이전의 모듈로부터 취득한 에너지 이상으로 이온을 추가로 가속시키는 기능을 한다. 분리 하우징(23)은 선형가속기(18)의 하류에 위치한다. 하우징은 웨이퍼에 이온 주입하기 전에 이온빔의 전류를 측정하는 제2의 플래그 패러데이(35)를 포함한다.

도 2에는, 질량분석 자석(16)과 RF 선형가속기(18)와의 사이에 배치된 연속 가변 개구(30)가 더욱 상세하게 도시되어 있다. 개구(30)는 장착판(34)의 통상적으로 내측에 있는 개구 부조립체(subassembly)(32)와, 장착판(34)의 통상적으로 외측에 있는 개구 구동 메커니즘(36)을 포함한다. 장착판(34)은 진공 상태에서 동작하는 이온 주입기 빔라인의 내부와, 주변 대기압 상태에 있는 주입기 빔라인의 외부와의 사이의 경계면을 구성한다. 장착판은 내부 채널에 의해서 유입구(38)와 유출구(40)를 통하여 운반되는 냉각제(물 등)로써 냉각된다.

개구 조립체(32)는, 흑연으로써 고정적으로 형성되는 개구(fixed defining aperture)(42)를 포함하고, 그 뒤에 개구판(44A 및 44B)을 포함하는 흑연의 가변 개구(44)가 있다. 개구판(44A 및 44B)은 나사(48) 등의 고정구로써 스테인리스 스틸제의 제어 암(arm)(46A 및 46B)에 각각 부착된다. 개구판(44A 및 44B) 사이의 갭 (50)은, 도 1의 이온 주입기의 동작 동안에 이온빔이 통과할 수도 있는, 세로축 (49)을 갖는 공간을 형성한다. 이하에서 추가로 설명하는 바와 같이, 개구 구동 메커니즘(36)은 제어 암(46A 및 46B)을 축선(51)에 평행한 방향으로, 서로를 향해 가까워지게 또는 멀어지게 이동시켜서, 개구판(44A 및 44B) 사이의 갭(50)의 폭을 변경한다. 축선(51)은 이온빔이 진행하는 축선에 대하여 대체로 수직이다.

도 2와 3을 참조하면, 개구 구동 메커니즘(36)은 선형 축 또는 동면(動面; way)(54 및 56)에 의해서 장착판(34)으로부터 확고하게 이격되어 있는, 고정된 장착 블록(52)을 포함한다. 선형 동면(54 및 56)은 장착구(mountings)(58 및 60)에 의해서 장착판(34)에 각각 부착된다. 선형 동면(54 및 56)은 구동 메커니즘의 가동부가 슬라이드하여 개구판(44A 및 44B)들 사이의 갭(50)을 조정할 수 있게 하는 수단을 제공한다.

제어 암(46A)[개구판(44A)이 부착된]은 선형 동면(56)을 따라서 양방향으로 슬라이드하는 블록조립체(62, 64, 66)에 연결되어 있다. 제어 암(46A)은 블록(62)에 단단히 부착되어 있고, 블록(62)은 블록(64)에 단단히 부착되어 있으며, 블록(64)은 블록(66)에 단단히 부착되어 있다. 따라서, 축선(51)에 평행한 방향으로 블록(66)을 이동시킴으로써, 블록(64)에 운동이 부여되어 선형 동면(56)을 따라서 슬라이드함으로써, 블록(62)과 제어 암(46A)에, 대응하는 축방향 운동을 부여한다. 따라서, 전체 블록조립체(62, 64, 66)가 축선(51)에 평행한 방향으로 이동한다. 제어 암(46A)과 장착판(34)의 외부와의 사이의 경계면에는 신장 가능한 스틸 벨로스 (bellows)(70)가 구성되어서, 장착판의 내측에서 진공 상태를 유지하면서, 제어 암(46A)이 장착판을 통하여 이동할 수 있게 한다.

유사하게, 제어 암(46B)(개구판(44B)이 부착된)은 선형 동면(54)을 따라서 양방향으로 슬라이드하는 블록조립체(72, 74, 76)에 연결되어 있다. 제어 암(46B)은 블록(72)에 단단히 부착되어 있고, 블록(72)은 블록(74)에 단단히 부착되어 있으며, 블록(74)은 블록(76)에 단단히 부착되어 있다. 따라서, 축선(51)에 평행한 방향으로 블록(76)을 이동시킴으로써, 블록(74)에 운동이 부여되어 블록이 선형 동면(54)을 따라서 슬라이드함으로써, 블록(72)과 제어 암(46B)에, 대응하는 축방향 운동을 부여한다. 따라서, 전체 블록조립체(72, 74, 76)가 축선(51)에 평행한 방향으로 이동한다. 제어 암(46B)과 장착판(34)의 외부와의 사이의 경계면에는 신장 가능한 스틸 벨로스(80)가 구성되어서, 장착판의 내측에서 진공 상태를 유지하면서, 제어 암(46B)이 장착판을 통하여 이동할 수 있게 한다.

블록조립체(61, 64, 66 및 72, 74, 76)는, DC 모터(82)와 나사 형성 축(84)을 포함하는 모터 구동 나사 형성 축 조립체에 의해서 축선(51)에 평행한 반대 방향으로 서로를 향하여 가까워지게 또한 멀어지게 이동한다. 나사 형성 축(84)에는, 베어링 마운트(86)에 의해서 장착 블록(52)에 연결되는 단부를 갖는 제1나사부 (84A)가 구성되어 있다. 나사 형성 축(84)에는 내측 베어링(도시되어 있지 않음)에 의해서 장착판(34)에 연결되는 단부를 갖는, 제2의 반대 방향으로 나사가 형성된 나사부(84B)가 구성되어 있다. 이것으로서, 나사 형성 축(84)은 그 단부가 장착 블록(52)과 장착판(34)에 고정되면서, 축선(51)을 따라서 양방향으로 회전할 수 있게 된다. 블록(76)에는 제1나사부(84A)의 나사에 맞물리는 내부 나사가 형성되어 있고, 블록(66)에는 반대 방향으로 나사가 형성된 제2나사부(84B)의 나사에 맞물리는 내부 나사가 형성되어 있다.

DC 모터(82)는 축 커플링(88)에 의해서 나사 형성 축(84)에 결합된다. 모터 (82)에는 리드선(90)을 통해서 전력이 공급된다. DC 모터에 반대로 바이어스된 전압을 인가함으로써, 나사 형성 축(84)은 반대 방향으로 회전할 수도 있다. 제1나사부(84A)와 제2나사부(84B)는 반대 방향으로 나사가 형성되어 있기 때문에, 나사 형성 축의 회전으로 인하여 블록조립체(62, 64, 66)가 축선(51)에 평행한 한 방향으로 이동하고, 또한 블록조립체(72, 74, 76)가 축선(51)에 평행한 반대 방향으로 이동한다. 블록조립체들은 자체의 각각의 제어 암(46A 및 46B)에 연결되어 있다. 따라서, DC 모터(82)를 작동시키는 전압의 올바른 극성을 선택함으로써, 개구판(44A 및 44B)을 서로를 향해서 가까워지도록 또는 멀어지도록 이동시켜서 개구 갭(50)의 폭을 더욱 작게 또는 더욱 크게 할 수도 있다. 이러한 방법으로, 개구를 통과하는 이온빔 전류를 조정할 수 있다. 개구판(44A 및 44B)은 폐쇄 위치에서 서로 겹치거나 또는 맞닿아서, 아무런 빔 전류도 통과하지 않도록 잠글 수도 있다. 바람직한 실시예에서, 개구(44)의 축선(49)과 축선(51)에 의해서 형성되는 경사 각도(α)는 45°정도로 고정된다.

도 2와 3에 도시된, 모터로 구동되는 나사 형성 축 조립체에 대한 또 다른 방법은, 모터로 구동되는 래크 피니언(rack and pinion) 조립체이다(도시되어 있지 않음). 한 쌍의 래크 바(rack bar) 사이에 위치한 피니언의, 모터에 의한 회전운동을, 래크 바에 반대 방향의 운동을 부여하는 데에 사용할 수도 있다. 각각의 제어 암에 각각의 래크 바를 연결함으로써, 모터에 의한 피니언의 회전운동을 개구 갭을 조정하는 데에 사용할 수도 있다.

개구(44)를 통과하는 이온빔 전류는 상당한 열을 발생시킬 수도 있기 때문에, 물 등의 냉각제로써 제어 암(46A 및 46B)을 냉각한다. 제어 암(46A)에는 유입구(96)를 통하여 물이 주입되는 내측 시스(sheath)(92)와 유출구(98)를 통하여 물이 유출되는 외측 시스(94)를 이용하는 동축(同軸) 구조가 구성되어 있다. 유사하게, 제어 암(46B)에는 유입구(104)를 통하여 물이 주입되는 내측 시스(100)와 유출구(106)를 통하여 물이 유출되는 외측 시스(102)를 이용하는 동축 구조가 구성되어 있다.

제어 암(46A 및 46B)의 위치는 장착 블록(52)에 설치되는 근접 스위치(108 및 110)를 사용하여 감시한다. 블록(72 및 62)에 각각 설치된 핀(fin)(112 및 114)은, 근접 스위치의 바로 가까이에 근접하면 스위치(108 및 110)를 각각 활성화시킨다. 스위치(108)가 활성화되면, 개구(44)는 가장 폐쇄된 위치에 있고, 스위치(110)가 활성화되면, 개구(44)는 가장 개방된 위치에 있게 된다(바람직한 실시예에서는 대략 0.16"(0.41cm)). 또한, 블록조립체(62, 64, 66)와 블록조립체(72, 74, 76)와의 사이의 간격을 나타내기 위하여, 플런저(116)와 수용부(118)를 포함하는 선형 전위차계(potentiometer)를, 나사가 형성된 축 조립체와 함께 포함함으로써, 개구(44)의 위치 및 이에 따라서 갭(50)의 폭을 나타낼 수도 있다. 또 다른 방법으로는, 로터리 인코더를 DC 모터축 또는 나사 형성 축(84)에 연결하여 이러한 위치정보를 제공할 수도 있다.

도 4는 도 2와 3의 연속 가변 개구를 제어하는 데에 사용되는 폐쇄 루프 회로 또는 제어 메커니즘(120)을 개략적으로 나타낸다. 메커니즘(120)은 소프트웨어 또는 하드웨어 중 어느 하나로써 실현할 수 있다. 회로(120)에의 입력은, 실행되는 소정의 방법에 의해서 형성된 것과 같은, 필요로 하는 이온빔 전류, 제2 플래그 패러데이(35)가 제공하는 이온빔 전류 측정치, 및 선형 전위차계(116, 118)가 제공하는 개구 위치 표시 등이다. 회로(120)의 출력은 DC 모터(82)에 제공되어 제어 암의 이동 및 이에 따르는 개구(44)의 갭(50)을 제어하는 제어신호(들)이다.

비교기(122)는 필요로 하는 이온빔 전류와, 제2 플래그 패러데이(35)로부터의 측정된 빔 전류를 비교한다. 이 빔 전류 정보는 50밀리초마다 제공되어 소프트웨어 데이터베이스에 저장된다. 비교기의 출력은, 측정된 이온빔 전류가 필요로 하는 이온빔 전류 보다 큰가 또는 작은가에 따라서 모터(82)를 제어하는 제어 로직 (logic)을 포함하는 모터 제어기(124)에 입력된다. 측정된 이온빔 전류가 필요로 하는 이온빔 전류보다 크면, 모터 제어기는, 제1제어신호(126)를 DC 모터에 출력하여, 개구판(44A 및 44B)들을 서로 가깝게 이동시키는 제1방향으로 회전시킨다. 따라서, 개구 갭(50)이 좁아져서, 더욱 적은 이온빔 전류가 선형가속기(18)에 전달된다.

그러나, 측정된 이온빔 전류가 필요로 하는 이온빔 전류보다 적으면, 모터 제어기는 제2제어신호(128)를 DC 모터에 출력하여, 개구판(44A 및 44B)들을 서로 떨어지게 이동시키는 제2방향(제1방향에 반대인)으로 회전시킨다. 따라서, 개구 갭(50)이 넓어져서, 더욱 많은 이온빔 전류가 선형가속기(18)에 전달된다. 추가적으로, 모터 제어기(124)에는, 선형 전위차계(116, 118)로부터 개구 위치 피드백 신호가 제공된다(이와 같이, 제어회로(120)는 폐쇄 루프 방식으로 동작한다).

도 4의 개구 제어 메커니즘은 필요로 하는 동작 파라미터들과 감지한 동작 조건에 따라서 도 1의 이온 주입기의 이온빔 전류를 조정하는 데에 사용되는 전체 제어 알고리즘의 일부이다. 하드웨어 또는 소프트웨어로써 실현할 수 있는, 이러한 전체 제어 알고리즘(130)을 나타내는 개략적인 흐름도가 도 5에 도시되어 있다. 시스템 조정방법(130)의 제1단계(132)는, 당 기술 분야에서 공지된 바와 같이, 연속 가변 개구(30)의 바로 하류 위치의 이온빔의 경로에 플래그를 배치함으로써 제1 플래그 패러데이(31)를 폐쇄하는 단계를 포함한다. 이어서, 단계 134에서, 개구(44)의 위치가 미리 조절되고, 이 단계는 이온 주입기의 과거 동작 이력을 기초로 하여 개구의 갭(50)을 설정하는 단계를 포함한다. 후속해서, 단계 136에서, 선형 가속기 (18)를 필요로 하는 동작 파라미터로 미리 조절한다.

결정 단계 138은 제1 플래그 패러데이(31)로써 이온빔 전류를 측정하는 단계를 포함한다. 연속 가변 개구(30)를 미세 조정함으로써 하류의 제2 플래그 패러데이(35)에서 측정한 빔 전류가 만족스럽게 되도록, 빔 전류가 허용 가능한 범위 내에 있을 때, 단계 140에서 제1 플래그 패러데이(31)가 개방되어서 이온빔이 개구 (30)를 통하여 선형가속기(18)로 진행할 수 있게 된다. 그러나, 연속 가변 개구 (30)를 조정함으로써 하류의 제2 플래그 패러데이(35)에서 측정한 빔 전류가 만족스럽지 않게 되도록, 제1 플래그 패러데이(31)에서 측정된 빔 전류가 허용 가능한 범위에서 벗어나면, 단계 142에서 개구(44) 위치를 조정해야 한다(즉, 대략적으로 조정해야 한다).

개구(44) 위치를 대략적으로 조정한 후에, 결정 단계 144에서, 제1 플래그 패러데이(31)에서 측정된 빔 전류가 허용 가능한 범위 내에 있으면, 제1 플래그 패러데이(31)가 개방된다. 그러나, 제1 플래그 패러데이(31)에서 측정된 빔 전류가 아직도 허용 가능한 범위 밖에 있으면, 단계 146에서 이온빔 소스(14)를 재조정해야 한다. 소스(14)를 재조정한 후에, 결정 단계 148에서, 제1 플래그 패러데이에서 측정된 빔 전류가 허용 가능한 범위 내에 있으면, 제1 플래그 패러데이(31)가 개방된다. 그러나, 제1 플래그 패러데이(31)에서 측정된 빔 전류가 아직도 허용 가능한 범위 밖에 있으면, 단계 146에서 이온빔 소스(14)를 다시 재조정해야 한다. 소스 (14)가 필요로 하는 전류 출력으로 조정될 수 없는 것으로 판명되면 타임-아웃(time-out) 메커니즘이 제공되므로, 단계 146과 148에 의해서 구성되는 루프는 본질적으로 무한한 루프가 아니다.

이어서, 단계 150에서, 인젝터(12)를 조정하여 선형가속기(18)로의 빔을 조절한다. 결정 단계 152는, 제2 플래그 패러데이(35)로써 이온빔 전류를 측정하는 단계를 포함한다. 빔 전류가 허용 가능한 범위 내에 있으면, 단계 154에서 시스템 조정이 완료되고, 제2 플래그 패러데이(35)가 개방될 수 있다. 그러나, 빔 전류가 허용 가능한 범위 내에 있지 않으면, 단계 156에서 도 4의 폐쇄 루프 회로 또는 제어 메커니즘(120)을 실행시켜서, 개구 갭(50)을 미세 조정해야 한다. 회로(120)가 폐쇄 루프이기 때문에, 개구 위치는, 제2 플래그 패러데이(35)에서 측정된 빔 전류가 허용 가능한 범위 내에 들어갈 때까지 계속 조정된다. 범위에 들어가는 시점에, 단계 154에서 시스템 조정이 완료되어, 제2 플래그 패러데이가 개방될 수 있다.

도 5의 방법을 사용하면, 이온소스를 재조정하지 않고, 이온빔 전류의 현저한 변경을 신속하게 실행할 수 있다. 만일 그렇지 않으면 이 과정은 훨씬 많은 시간을 소비하게 된다. 이외에도, 본 발명은 빔 전류를 변경시키는, 훨씬 더 직접적이고 정확한 방법을 제공한다. 이와 반대로, 이온소스를 재조정하는 것은, 추가적인 조정이 이루어지기 전에 각각의 조정의 효과 분석을 필요로 하는 훨씬 더 민감하고, 간접적인 방법이고, 또한 본 발명이 제공하는 정밀한 빔 전류 조정을 실행할 수 없다. 예컨대, 바람직한 실시예에서, 개구(44)의 위치는 약 5미크론(㎛)의 정밀도로 제어될 수 있고(즉, 각각의 제어 암이 각각의 개구판을 2.5미크론(㎛) 이동시킨다), 이것은 다만 빔 전류의 1% 변경에 해당한다. 즉, 개구 갭(50)의 폭에 걸쳐서 빔 전류가 균일하고 또한, 예컨대, 개구(44)가 완전히 개방되고 주입 전류가 100 마이크로 암페어(㎂)인 것으로 가정하면, 빔 전류를 1 마이크로 암페어(㎂) 정도로 작게 단계적으로 하향 제어할 수도 있다.

동작시에, 도 4의 로직을 사용하여, 회로(120)는 필요로 하는 빔 전류와, (제2 플래그 패러데이(35)로부터의) 측정된 빔 전류와, (각각의 선형 전위차계 또는 로터리 인코더로부터의) 개구 위치를 점검한다. 바람직한 동작모드에서 측정된 빔 전류와 필요로 하는 빔 전류와의 비교는, 적어도 매초마다 한 번 이루어진다. 도 6과 7은 도 4의 로직을 사용하는, 개구 위치의 조정에 대한 빔 전류 응답의 그래프도이다. 도 6은 여기서 점근법(漸近法; asymptotic method)이라고 부르는, 바람직한 제1제어방법에 의한 것이다. 도 7은 여기서 2분법(bi-section method)이라고 부르는, 바람직한 제2제어방법에 의한 것이다.

점근법에 있어서(도 6), 시점 t_1에, 회로(120)는 필요한 빔 전류와 실제의 빔 전류와의 사이의 차이에 따라서 오차 신호를 발생한다. 현재의 개구 위치는 전위차계 또는 인코더로부터의 피드백에 따라서 결정된다. 측정된 전류가 필요한 전류 보다 크면(도시되어 있지 않음), 제어신호(126)를 발생하여, 모터(82)를 한 방향으로 회전시켜서 개구 갭(50)을 좁히고, 측정된 전류가 필요로 하는 전류보다 작으면(도 6), 제어신호(128)를 발생하여, 모터(82)를 다른 방향으로 회전시켜서 개구 갭(50)을 넓힌다. 개구 위치 피드백을 사용하여 제어회로(120)는 현재의 개구 위치와, 필요로 하는 추정 개구 위치를 결정할 수도 있다.

시점 t_1 이후, 대략 1초 이하의 시점 t_2에서, 제2오차 신호가 발생하고, 다시 제어신호(128)는 계속해서 모터를 구동하여 개구 갭(50)을 넓힌다. 도 6에서, 필요로 하는 전류와 측정된 전류를 추가로 2번 비교하여(시점 t_3와 t_4에서), 대응하는 오차 신호가 도시되어 있다. 상기 절차는 측정된 빔 전류가 허용 가능한 범위 내에 들어갈 때까지 계속된다.

모터(82)가 구동되는 속도와, 이에 따라서 개구가 넓어지거나 또는 좁아지는 속도는 오차 신호의 크기와 개구 위치에 달려 있다. 따라서, 도 6의 시점 t_1에서, 제1(최대 크기)의 오차 신호가 발생하면, 모터는 더욱 빠른 속도로 구동된다. 이후의 시점(t_2~t_4)에서, 오차 신호의 크기는 점차적으로 작아지고, 모터는 더욱 느리게 구동된다. 또한, 오차 신호가 0에 접근함에 따라서, 모터는 시스템 내에서의 운동량에 적응하도록 일찍 정지 명령을 받는다. 이것으로서, 도 6에 도시된, 측정 전류는 필요로 하는 빔 전류 목표치를 넘어서지 않고, 대신에 빔 전류 목표치에 점근적으로 접근한다.

2분법(도 7)에 있어서, 시점 t_1에, 회로(120)는 필요로 하는 빔 전류와 실제의 빔 전류의 비교를 실행한다. 현재의 개구 위치는 전위차계 또는 인코더로부터의 피드백에 따라서 결정된다. 측정된 전류가 필요로 하는 전류 보다 크면(도시되어 있지 않음), 제어신호(126)를 발생하여, 모터(82)를 한 방향으로 회전시켜서 개구 갭(50)을 좁히고, 측정된 전류가 필요로 하는 전류 보다 작으면(도 7), 제어신호 (128)를 발생하여, 모터(82)를 다른 방향으로 회전시켜서 개구 갭(50)을 넓힌다.

2분법에서, 모터(82)는, 모터가 올바른 방향으로 이동시킬 수 있는 최대 거리의 반을 나타내는, t_1에서의 위치로부터 t_2에서의 위치로 개구를 이동시키도록 명령을 받는다. 따라서, 전위차계 또는 인코더는, 개구가 위치 20(위치 0은 완전히 폐쇄된 것을 나타내고, 위치 100은 완전히 개방된 것을 나타낸다)에 있다는 것을 나타내고, 또한 측정한 빔 전류가 필요로 하는 빔 전류 보다 작으면, 모터(82)는 위치 20(거의 폐쇄된)으로부터 위치 60(최소한 절반이 개방된)으로 이동시킬 것을 지시받는다. 갭을 40 증분 넓히는 것(위치 20에서 위치 60으로)은 현재의 위치 20과 완전히 개방된 위치 100과의 사이의 차이의 반을 나타낸다.

시점 t_2에, 회로(120)는 필요로 하는 빔 전류와 실제의 빔 전류의 제2비교를 실행한다. 다시 현재의 개구 위치(60)가 결정된다. 도 7의 경우에 있어서, 필요로 하는 빔 전류를 초과하였고, 이에 따라서 모터(82)는 위치 40(현재의 위치 60과 원래의 위치 20 사이의 거리의 반)으로 폐쇄하도록 명령을 받는다. 시점 t_3에, 제3비교가 이루어지고, 개구 위치(40)가 결정된다. 도 7에 나타내는 바와 같이, 필요로 하는 빔 전류에 미달되었고, 이에 따라서 모터(82)는 위치 50(현재의 위치 40과 이전의 위치 60 사이의 거리의 반)으로 개방하도록 명령을 받는다. 시점 t_4에, 제4비교가 이루어지고, 또한 측정한 빔 전류가 현재 허용 가능한 범위 내에 있기 때문에, 개구 위치는 위치 50에 고정된 채로 유지된다.

발명의 효과

실제적으로, 본 발명의 연속 가변 개구(30)를 사용함으로써, 특정 방법에 대하여 20초 정도의 매우 짧은 시간 내에 빔 전류를 조정할 수도 있다는 것이 판명되었다. 이 시간은, 연속 가변 개구를 사용하지 않는 경우 소스를 재조정하는 데에 필요한, 2분 내지 3분 정도로 밝혀진 시간과는 대조적이다. 이와 같이, 본 발명은 이온 주입기(10)에서 이온빔 전류를 조정하기 위한, 효율적이고 신속한 메커니즘을 제공한다.

따라서, 이온 주입기용의 개선된 연속 가변 개구의 바람직한 실시예를 설명하였다. 그러나, 상기의 설명을 염두에 두고서, 상기 설명은 다만 예일 뿐이고, 본 발명은 여기에서 설명한 특정 실시예에 한정되지 않으며, 또한 이하의 청구범위 등에 의해서 정의된 본 발명의 범위로부터 벗어남이 없이 상기 설명에 대한 다양한 재구성과, 변형과, 대체안이 이루어질 수 있다는 것을 이해하여야 한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

이온 주입 시스템(10)에서 개구를 통과하는 이온빔 전류량을 제어하는 가변 개구(30)에 있어서,

(i) 이온빔이 통과하는 제1 및 제2개구판(44A, 44B)을 대향시킴으로써 형성되는 개구(44)와,

(ii) 상기 제1 및 제2개구판(44A, 44B)에 각각 연결되는 제어 암(46A, 46B)과,

(iii) 상기 제어 암에, 이온빔이 따라서 통과하는 축선에 대하여 대체로 수직인 각각 반대 방향으로 동시에 운동을 부여해서 상기 개구판(44A, 44B)들 사이의 갭(50)을 조정함으로써 상기 개구(44)를 통과하는 전류량을 제어하는 개구 구동 메커니즘(36)을 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 개구 구동 메커니즘(36)은 모터(82)에 의해서 구동되는 나사 형성 축(84)을 포함하고, 상기 나사 형성 축(84)은 상기 제어 암(46B, 46A)에 각각 연결된, 반대 방향으로 나사가 형성된 부분(84A, 84B)을 구비하여, 상기 모터에 의한 상기 축의 회전이 상기 제어 암을 반대 방향으로 동시 이동시키는 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 3.

제1항에 있어서, 상기 개구 구동 메커니즘(36)은, 피니언이 모터에 연결되고 래크가 상기 제어 암(46A, 46B)에 연결된, 래크 피니언(rack and pinion) 조립체를 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 4.

제1항에 있어서, 제어 암의 위치 표시를 제공하는 피드백 메커니즘(116, 118)을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 5.

제2항에 있어서, 상기 제어 암(46A, 46B)은 상기 개구 구동 메커니즘(36)에 의해서 약 2.5미크론(㎛)의 증분(增分)으로, 반대 방향으로 이동 가능한 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 6.

제4항에 있어서, 상기 피드백 메커니즘(116, 118)은 상기 제어 암(46A, 46B)에 연결된 선형 전위차계를 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 7.

제4항에 있어서, 상기 피드백 메커니즘(116, 118)은 상기 개구 구동 메커니즘(36)에 연결된 로터리 인코더를 포함하는 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 8.

제4항에 있어서, 상기 개구판(44A, 44B)은 흑연으로 구성되는 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 9.

제4항에 있어서, 상기 제어 암(44A, 44B)은 수냉식인 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 10.

제4항에 있어서, 제어 암이 평행하게 이동하는 축선(51)과, 개구판 사이의 갭(50)의 축선(49)과의 사이의 각도(α)는 조정 가능한 것을 특징으로 하는 가변 개구(30).

청구항 11.

(i) 이온빔을 생성하는 이온소스(14)와,

(ii) 이온소스에 의해서 생성된 이온빔을 질량 분석하는 질량분석 자석(16)과,

(iii) 질량분석 자석이 분석한 이온빔을 가속하는 선형가속기(18)와,

(iv) 상기 질량분석 자석(16)과 상기 선형가속기(18)와의 사이에 배치된 가변 개구 조립체(30)로서, 이온빔이 통과하고, 또한 통과하는 이온빔 전류량을 제어하도록 가변할 수 있는 폭을 갖는 개구(44)를 구비한 가변 개구 조립체(30)를 포함하는, 고-에너지 이온 주입기(10)용 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 12.

제10항에 있어서, 상기 개구(44)는 이온빔이 통과하는 제1 및 제2개구판 (44A, 44B)을 대향시킴으로써 형성되고, 또한 상기 가변 개구 조립체(30)는 상기 제1 및 제2개구판(44A, 44B)에 각각 연결되는 제어 암(46A, 46B), 및 상기 제어 암에, 이온빔이 따라서 통과하는 축선에 대하여 대체로 수직인 각각 반대 방향으로 동시에 운동을 부여해서 상기 개구판(44A, 44B)들 사이의 갭(50)을 조정함으로써 상기 개구(44)를 통과하는 전류량을 제어하는 개구 구동 메커니즘(36)을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 13.

제12항에 있어서, 상기 제어 암(46A, 46B)은 상기 개구 구동 메커니즘(36)에 의해서 약 2.5미크론(㎛)의 증분으로, 반대 방향으로 이동 가능한 것을 특징으로 하는 이온 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 14.

제12항에 있어서, 상기 개구(44)는 빔라인 조립체 내측에 설치되어서 진공 상태에서 동작하고, 상기 개구 구동 메커니즘(36)은 빔라인 조립체의 외측에 설치되어서 주변 대기압 상태에서 동작하며, 또한 상기 제어 암(44A, 44B)은 빔라인 조립체의 내측과 외측 간의 경계면을 형성하는 판(plate)(34)을 통과하는 것을 특징으로 하는 이온 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 15.

제14항에 있어서, 제어 암(46A, 46B)과 판(34)의 외부와의 경계면에 위치하여, 빔라인 조립체의 내측에서 진공 상태를 유지하면서, 제어 암이 판을 통과하여 이동할 수 있게 하는, 신장 가능한 스틸 벨로스(bellows)(70, 80)를 또한 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 16.

제14항에 있어서, 제어 암의 위치 표시를 제공하는 피드백 메커니즘(116, 118)을 또한 포함하는 것을 특징으로 하는 이온 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 17.

제14항에 있어서, 상기 개구 구동 메커니즘(36)은, 모터(82)에 의해서 구동되는 나사 형성 축(84)을 포함하고, 상기 나사 형성 축은 상기 제어 암(46B, 46A)에 각각 연결된, 반대 방향으로 나사가 형성된 부분(84A, 84B)을 구비하여, 상기 모터에 의한 상기 축의 회전이 상기 제어 암을 반대 방향으로 동시 이동시키는 것을 특징으로 하는 이온 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 18.

제14항에 있어서, 상기 개구판(44A, 44B)은 흑연으로 구성되는 것을 특징으로 하는 이온 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 19.

제14항에 있어서, 상기 제어 암(44A, 44B)은 수냉식인 것을 특징으로 하는 이온 주입기 빔라인 조립체(14, 16, 18, 30).

청구항 20.

빔 전류 검출장치(35)와, 개구 위치 검출장치(116, 118)와, 개구(44)를 이동시켜서 개구의 폭(50)을 조정하는 개구 이동 메커니즘을 포함하는 이온 주입기(10)에서 이온빔이 통과하는 개구(44)의 폭(50)을 조정하는 제어 시스템(20)에 있어서,

(ⅰ) 이온 주입기를 통과하는 실제의 이온빔 전류를 나타내는, 상기 전류 검출장치(35)로부터의 제1입력신호를 수신하는 제1입력과,

(ii) 필요로 하는 이온빔 전류를 나타내는 제2입력신호를 수신하는 제2입력과,

(iii) 개구 위치를 나타내는, 상기 위치 검출장치(116, 118)로부터의 제3입력신호를 수신하는 제3입력과,

(iv) 개구 이동 메커니즘에 제어신호(126, 128)를 출력하는 출력과,

(ⅴ) 상기 제1, 제2, 및 제3 입력에 따라서 상기 출력 제어신호를 결정하는 제어 로직(122, 124)을 포함하는 것을 특징으로 하는, 개구(44)의 폭(50)을 조정하는 제어 시스템(120).

청구항 21.

제20항에 있어서, 상기 개구 이동 메커니즘은, 개구 구동 메커니즘(36)을 구동하는 모터(82)를 포함하고, 상기 개구 구동 메커니즘은, 제어 암(46A, 46B)에 의해서 상기 개구(44)에 연결되는 것을 특징으로 하는 제어 시스템(120).

청구항 22.

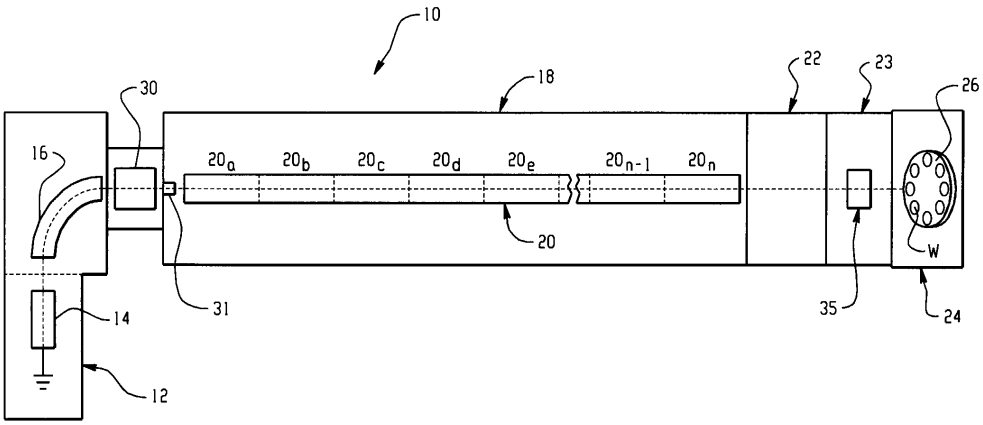
제20항에 있어서, 상기 개구 구동 메커니즘(36)은, 모터(82)에 의해서 구동되는 나사 형성 축(84)을 포함하고, 상기 나사 형성 축은 상기 제어 암(46B, 46A)에 각각 연결된, 반대 방향으로 나사가 형성된 부분(84A, 84B)을 구비하여, 상기 모터에 의한 상기 축의 회전이 상기 제어 암을 반대 방향으로 동시 이동시키는 것을 특징으로 하는 제어 시스템(120).

청구항 23.

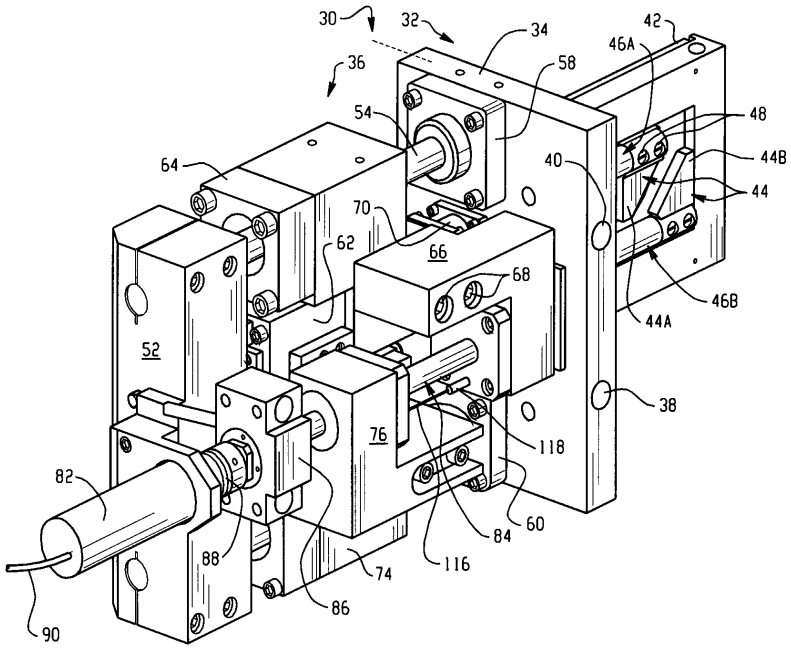
제20항에 있어서, 상기 제어 암(46A, 46B)은 상기 개구 구동 메커니즘(36)에 의해서 약 2.5미크론(㎛)의 증분으로, 반대 방향으로 이동 가능한 것을 특징으로 하는 제어 시스템(120).

도면

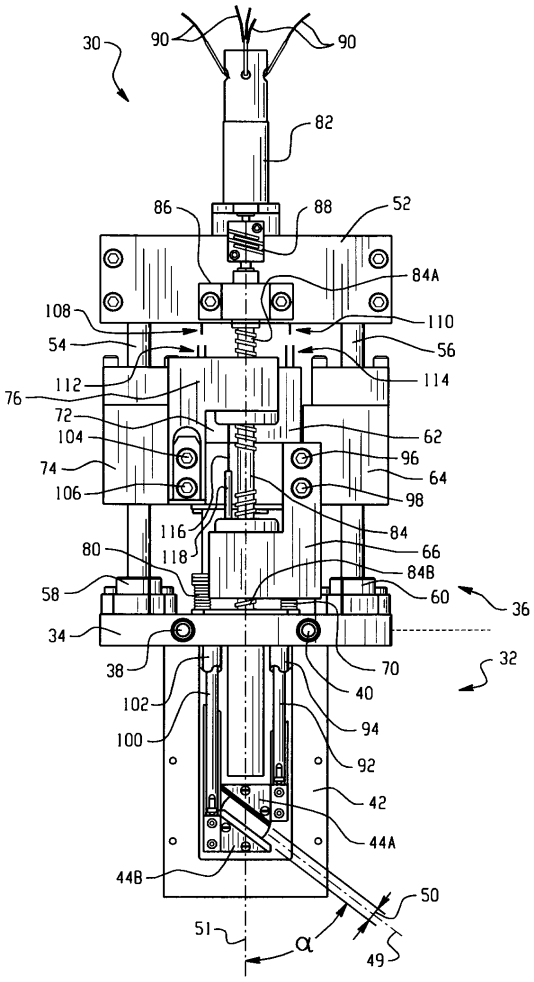
도면1



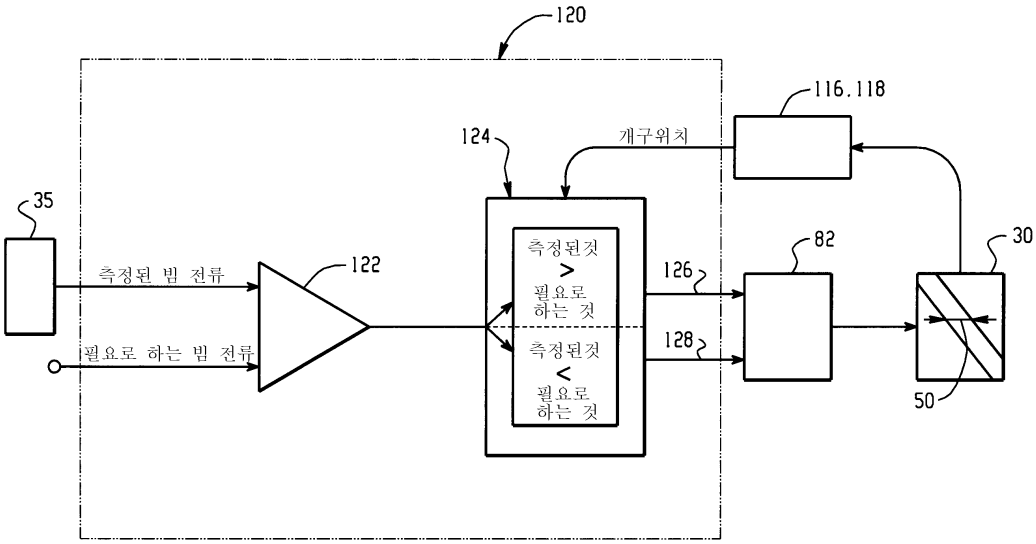
도면2



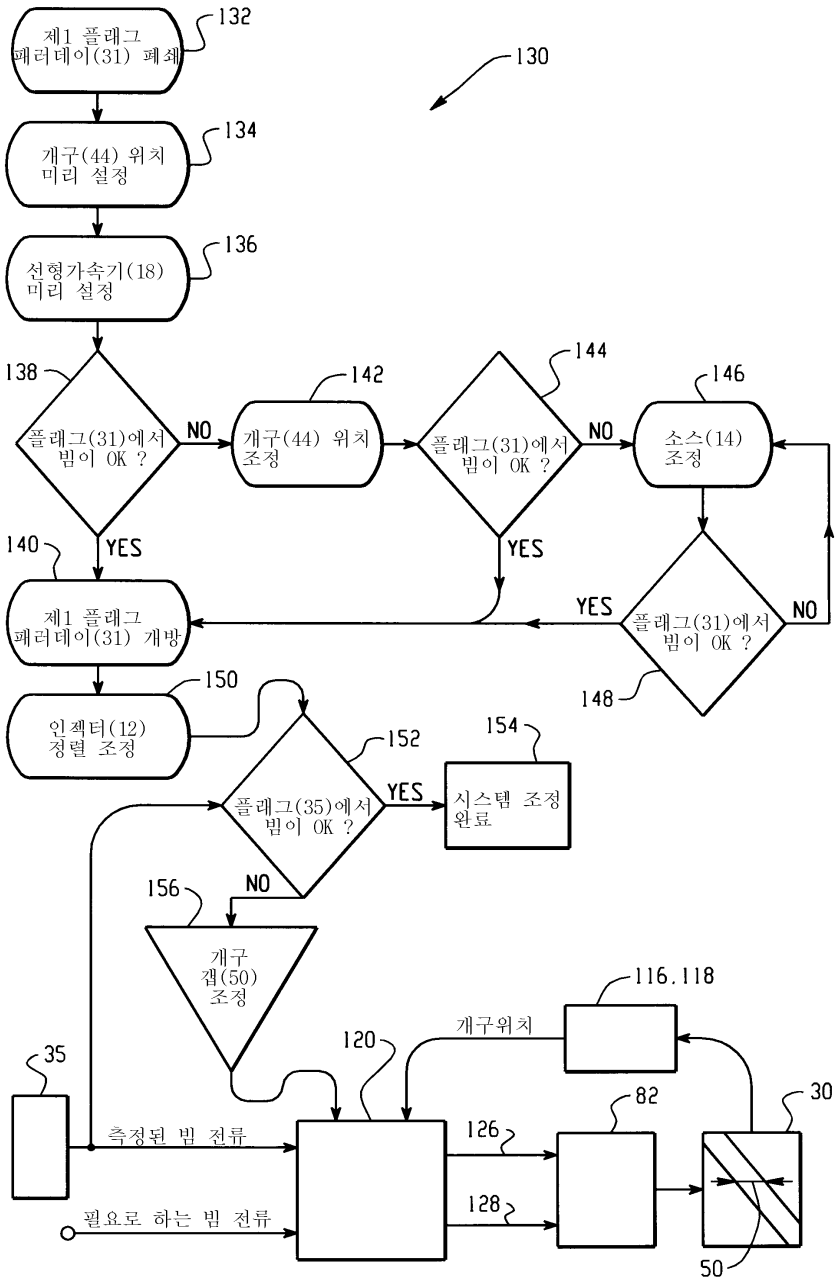
도면3


30
90
90
82
86
88
52
84A
108
110
54
56
112
114
76
72
62
104
96
74
64
106
98
116
84
118
66
80
84B
58
60
36
34
38
70
32
102
40
100
94
92
42
44A
44B
50
51
α
49

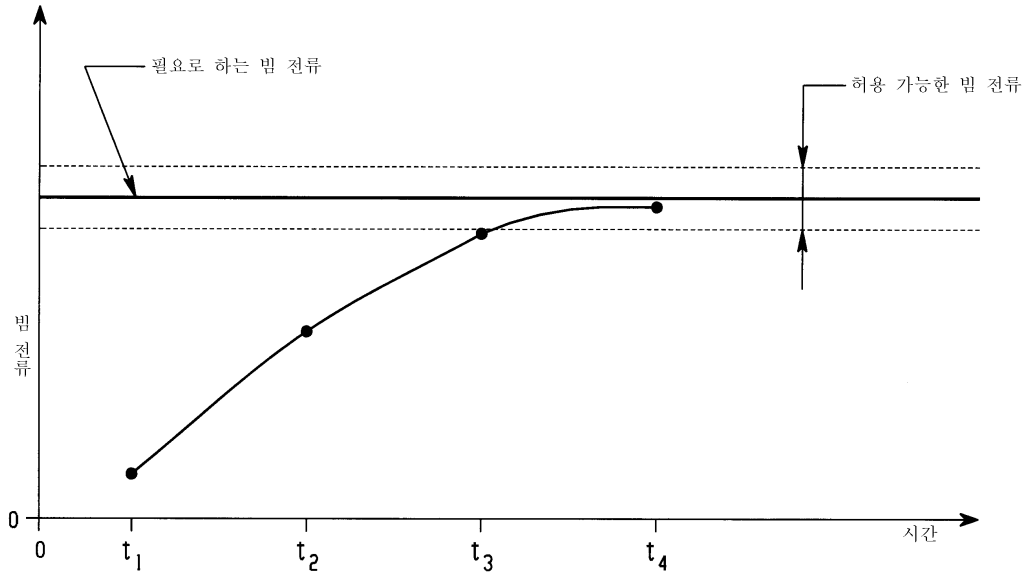
도면4


120
116.118
124
개구위치
35
측정된 빔 전류
122
측정된것
>
필요로
하는 것
126
82
30
필요로 하는 빔 전류
128
측정된것
<
필요로
하는 것
50

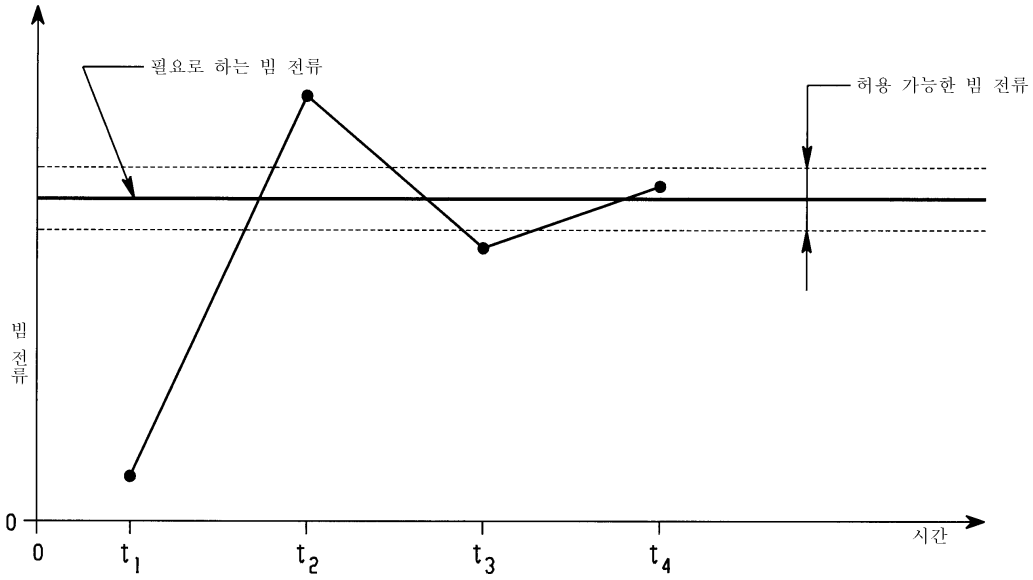
도면5


제1 플래그 패러데이(31) 폐쇄
132
130
개구(44) 위치 미리 설정
134
선형가속기(18) 미리 설정
136
138
플래그(31)에서 빔이 OK ?
NO
142
개구(44) 위치 조정
144
플래그(31)에서 빔이 OK ?
NO
146
소스(14) 조정
YES
YES
140
제1 플래그 패러데이(31) 개방
YES
플래그(31)에서 빔이 OK ?
NO
148
150
인젝터(12) 정렬 조정
152
154
플래그(35)에서 빔이 OK ?
YES
시스템 조정 완료
NO
156
개구 갭(50) 조정
116,118
개구위치
120
35
82
30
측정된 빔 전류
126
128
필요로 하는 빔 전류
50

도면6


필요로 하는 빔 전류
허용 가능한 빔 전류
빔 전류
0
0
t_1
t_2
t_3
t_4
시간

도면7


필요로 하는 빔 전류
허용 가능한 빔 전류
빔 전류
0
0
t_1
t_2
t_3
t_4
시간