(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.[7]
H01L 21/205

(45) 공고일자 2000년11월01일
(11) 등록번호 10-0268369
(24) 등록일자 2000년07월12일

(21) 출원번호 10-1998-0018489
(22) 출원일자 1998년05월22일
(65) 공개번호 특1998-0087289
(43) 공개일자 1998년12월05일

(30) 우선권주장 97-132258 1997년05월22일 일본(JP)
98-128897 1998년05월12일 일본(JP)

(73) 특허권자 캐논 가부시끼가이샤 미다라이 후지오
일본 도꾜도 오오따꾸 시모마루꼬 3쪼메 30방 2고
(72) 발명자 모리야마 고이찌로
일본 도꾜도 오오따꾸 시모마루꼬 3쪼메 30방 2고 캐논 가부시끼가이샤내
아오따 유끼또
일본 도꾜도 오오따꾸 시모마루꼬 3쪼메 30방 2고 캐논 가부시끼가이샤내
가나이 마사히로
일본 도꾜도 오오따꾸 시모마루꼬 3쪼메 30방 2고 캐논 가부시끼가이샤내
오또시 히로가즈
일본 도꾜도 오오따꾸 시모마루꼬 3쪼메 30방 2고 캐논 가부시끼가이샤내
(74) 대리인 구영창, 장수길, 주성민

심사관 : 김종찬

(54) 플라즈마 처리 방법 및 장치

요약

본 발명은 제2 고주파 전력을 임피던스 정합 회로를 통해 처리실에 공급하고 그후에 처리시의 전력보다 큰 제1의 고주파 전력을 상기 처리실에 공급하여 플라즈마를 생성하는 방전 개시 단계, 상기 제1의 고주파 전력을 처리시의 값에 근사하게 감소시키고, 상기 제2 고주파 전력을 처리시의 값에 근사하게 증가시킨후에 상기 제1의 고주파 전력의 크기를 조정하여 선정된 값의 플라즈마 강도를 얻는 조정 단계, 및 상기 임피던스 정합 회로를 정합 동작시킴과 동시에 상기 제1의 고주파 전력을 조정하여 처리 시에 소망의 값의 플라즈마 강도를 얻음으로써 처리될 기판의 플라즈마 처리를 행하는 플라즈마 처리 단계를 포함하는 플라즈마 처리 방법을 제공하는 것이다. 플라즈마 방전은 높은 재현성과 함께 자동적으로 원활하게 개시될 수 있으며, 안정된 플라즈마 방전이 유지될 수 있다. 방전이 소멸된 경우에서도 플라즈마 방전이 신속하게 재개될 수 있다.

대표도

도1

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따른 막 형성 장치를 자동화하기 위한 플라즈마 방전 제어 장치의 배열을 도시한 블럭도.

도 2는 본 발명의 플라즈마 처리 장치를 도시한 개략적인 단면도.

도 3a 및 3b로 구성된 도 3은 도 1에 도시된 플라즈마 방전 제어 장치의 동작을 설명하기 위한 플로우 차트.

도 4는 본 발명의 플라즈마 처리 장치가 롤-투-롤(roll-to-roll) 방식에 적용된 예를 도시한 개략적인 단면도.

도 5는 광기전력 소자를 도시한 개략적인 단면도.

도 6은 VHF를 사용한 장치를 설명하기 위한 개략적인 평면도.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

100 : 막 형성 제어 장치

101 : 방전 제어 장치

102 : 방전 영역

103 : MFC

104 : 마이크로파 발진기

105 : RF 발진기

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 상이한 주파수를 갖는 2가지 고주파 전력을 생성하기 위한 플라즈마 처리 방법에 관한 것이다. 본 발명은 또한 소정의 시퀀스(sequence)를 사용하여 방전의 개시 시에 전력 인가 과정을 제어함으로써 방전 개시를 자동적으로 제어하는 방법에 관한 것이다. 본 발명은 롤-투-롤(roll-to-roll) 방식을 기초로 광기전력 소자(photovoltaic devices)의 대량 생산에 효과적으로 적용된다.

종래에 공지된 바와 같이, CVD, 에칭 또는 애싱(ashing)과 같은 플라즈마 처리는 플라즈마를 생성하기 위해 마이크로파 또는 VHF를 진공실로 도입함과 동시에 RF를 사용한 RF 바이어스를 기판 또는 진공실 내의 공간에 인가함으로써 수행된다.

이러한 플라즈마 처리와 같이, RF 바이어스를 사용하여 마이크로파 플라즈마 CVD를 기초로 한 피착막 형성 방법(deposition film forming method)은 광기전력 소자를 제조하는 데 적용된다. 예를 들어, 일본 특개평 제6-51228호는, 마이크로파 플라즈마 방전을 위한 수단으로서, 저압 상태를 유지하면서 원료 가스를 방전 영역으로 도입하고 마이크로파 전력과 RF 전력 양자 모두를 방전 영역으로 인가하여 방전을 개시시키는 방법을 개시하고 있다. 이러한 종래 기술에서, RF 전력은 피착막의 품질(quality)을 향상시키기 위해 마이크로파로부터 얻어진 플라즈마 상에서 바이어스 역할을 한다. DC 바이어스와 비교되는 바로서, RF 바이어스는 스파크(spark)를 덜 발생시킨다. 고주파 에너지가 플라즈마에 인가되므로, 고품질 증착막이 얻어질 수 있다.

최근에는, VHF 대역 내의 고주파수를 사용한 VHF 플라즈마 CVD가 또한 연구된다. 예를 들어, VHF 플라즈마 CVD에 따른 일본 특개평 제7-245269호에 개시되어 있는 바와 같이, 피착막은 고 처리 속도(high process rate)에서 비교적 대면적을 갖는 기판 상에 형성된다. 추가적으로, VHF 방전은 마이크로파 방전에 비해 방전 조건(압력, 인가되는 전력, 원료 가스 조성 등)의 범위를 넓히므로, 피착막의 품질 제어 시에 자유도가 증가한다. VHF 플라즈마 CVD는 비정질 실리콘막의 증착에 적합하다. 특히, 미결정(micro-crystallized) 실리콘막의 증착 시에, 막 형성 조건에 대한 자유도를 갖는 VHF 플라즈마 CVD는 결정 입자 직경 또는 결정 경계(crystal grain boundary)를 최적화하는 데 사용될 수 있어, 양질의 피착막이 기대될 수 있다.

마이크로파 플라즈마 CVD 또는 RF 플라즈마 CVD를 사용하여 대면적 소자를 제조하는 방법으로서, 롤-투-롤 방식을 사용한 광기전력 소자 형성 방법 및 장치가 미국 특허 제4,400,409호 또는 일본 특개평 제3-30419호에 개시되어 있다. 소망의 폭을 갖는 충분히 긴 밴드형(band-shaped) 기판이 글로우 방전 영역(glow discharge areas)을 통해 순차적으로 연장하는 경로를 따라 밴드형 기판의 길이 방향에서 연속적으로 반송됨으로써, 반도체 접합을 각각 구비하는 소자를 연속적으로 형성한다.

일본 특개평 제7-41954호는 RF 바이어스를 사용하지 않은 마이크로파 플라즈마 처리 장치 내의 플라즈마 방전의 정지 검출 시에 플라즈마 방전을 자동적으로 복원(restoring)하는 방법을 개시하고 있다. 이러한 방법에서, 방전 정지 상태는 방전 공간 내의 압력, 방전 시의 반사파 전력, 방전 공간 내의 전위, 또는 방전 공간 상의 전류값을 감시함으로써 검출된다. 방전 복원을 위해, 방전 유지 전력보다 더 큰 마이크로파 전력을 인가하거나, 또는 진공실 내의 압력을 방전 유지 압력보다 낮게 한다.

그러나, 플라즈마 방전을 자동적으로 개시/유지시킬 시에는, 다음과 같은 문제점이 발생한다.

(1) 최초에 플라즈마 방전이 제1 고주파 전력을 사용하여 개시될 때, 제2 고주파 전력을 적절한 크기로 인가하면서 막 형성시의 전력보다 강한 제1 고주파 전력이 방전 영역에 인가되어야 한다. 만일 전력 인가 순서 또는 제2 고주파 전력의 임피던스 정합을 조정하는 타이밍이 부적절하다면, 스파크가 방전 영역 내에 발생하게 되거나, 임피던스 정합이 시프팅(shifting)되어 방전이 소멸될 수 있다. 이는 원활한 방전의 개시를 곤란하게 한다. 사실상, 방전의 개시는 조작자의 경험에 의존하게 되어, 높은 재현성(reproducibility)을 갖는 마이크로파 플라즈마 방전 개시의 진행은 어렵게 된다. 이러한 이유로 인하여, 자동 장치가 설계될 수 없다.

(2) 만일 제1 고주파 전력을 사용한 플라즈마 방전의 개시 후에 몇가지 요인으로 인해 막 형성 동안에 방전이 소멸한다면, 때때로, 상기 (1)의 이유 때문에 방전이 재시작되기 어렵게 된다. 방전의 재개시는 기간을 필요로 하므로, 피착막에 결함이 발생하게 되어, 수율을 감소시키게 된다.

(3) 만일 제1 및/또는 제2 고주파 전력을 복수의 인가 수단으로부터 한 방전 영역으로 인가함으로써 큰 피착막이 균일하게 형성되는 경우, 인가 수단 중 하나에 의한 방전은 소멸할 수 있다.

만일 방전이 부분적으로 소멸된다면, 피착막의 두께는 불균일하게 되거나 원하는 두께보다 작게되어, 수율을 감소시키게 된다.

본 발명은 또다른 과제를 갖고 있다. 광기전력 소자가 롤-투-롤 방식의 플라즈마 CVD 장치를 사용하여 제조되는 경우, 상기 장치는 방전 영역의 수가 길이 방향에 따른 라인 내에서 설정되기 때문에 부피가 너무 크게 된다. 게다가, 원료 가스 공급 시스템, 배기 시스템, 및 전력 공급 시스템이 복잡해지는 경향이

있다. 소자 성능의 재현성 또는 장치의 조작성을 향상시키기 위해, 장치의 동작은 가능한 한 자동화되는 것이 바람직하다. 만일 제조 비용을 절감하기 위해 대량 생산된다면, 가동률 또는 수율을 향상시키기 위해 전체 장치를 자동적으로 동작시키는 것이 필수적이다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명의 목적은 바이어스로서 제2 고주파 전력(예를 들어, RF)를 사용하는 동시에 제1 고주파 전력(예를 들어, 마이크로파 또는 VHF)을 사용하여 플라즈마 방전을 자동적으로 원활하게 개시시키기 위한 플라즈마 처리 장치를 제공하는 것이다. 본 발명의 다른 목적은 처리 동안에 방전이 소멸한 것이 검출된 때 방전을 자동적으로 개시시킬 수 있는 플라즈마 처리 장치를 제공하는 것이다. 본 발명의 또다른 목적은 안정한 플라즈마 처리를 유지시키기 위해 처리 동안의 플라즈마 강도를 측정하면서 자동 장치를 사용하여 제1 고주파 전력의 인가를 때때로 조정하는 것이다.

본 발명의 한 특징에 따르면, 제1 고주파 전력과 상기 제1 고주파 전력의 주파수보다 낮은 주파수를 갖는 제2 고주파 전력을 사용하여 플라즈마 처리를 행하는 방법은, 처리 시의 전력보다 작은 제2 고주파 전력을 임피던스 정합 회로를 통해 처리실로 공급하고 그후에 처리시의 전력보다 큰 제1 고주파 전력을 처리실로 공급하여 플라즈마를 생성하는 방전 개시 단계, 제1 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사하게 감소시키고 상기 제2 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사하게 증가시킨 후에 제1 고주파 전력의 크기를 조정하여 선정된 값의 플라즈마 강도를 얻는 조정 단계, 및 임피던스 정합 회로를 정합 동작시킴과 동시에 제1 고주파 전력의 값을 조정하여 처리 시에 소망의 값의 플라즈마 강도를 얻음으로써, 처리될 기판의 플라즈마 처리를 행하는 플라즈마 처리 단계를 포함한다.

본 발명의 다른 특징에 따르면, 플라즈마 처리실, 제1 고주파 전력을 상기 플라즈마 처리실로 공급하는 수단, 상기 제1 고주파 전력의 주파수보다 낮은 주파수를 갖는 제2 고주파 전력을 상기 플라즈마 처리실에 공급하는 수단, 처리 가스를 상기 플라즈마 처리실로 도입하는 수단, 상기 플라즈마 처리실 내의 압력을 감소시키기 위한 수단, 플라즈마 처리실 내에서 발생된 플라즈마의 강도를 측정하는 측정 수단, 및 플라즈마 방전을 제어하는 방전 제어 장치를 구비한 플라즈마 처리 장치가 제공되며, 상기 방전 제어 장치는 처리 시의 전력보다 작은 제2 고주파 전력을 임피던스 정합 회로를 통해 처리실로 공급하고 그후에 처리시의 전력보다 큰 제1 고주파 전력을 처리실로 공급하여 플라즈마를 생성하는 방전 개시 단계, 제1 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사하게 감소시키고 상기 제2 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사하게 증가시킨 후에 제1 고주파 전력의 크기를 조정하여 선정된 값의 플라즈마 강도를 얻는 조정 단계, 및 임피던스 정합 회로를 정합 동작시킴과 동시에 제1 고주파 전력의 값을 조정하여 처리 시에 소망의 값의 플라즈마 강도를 얻음으로써, 처리될 기판의 플라즈마 처리를 행하는 플라즈마 처리 단계를 제어하는 수단을 포함한다.

상기 플라즈마 처리 단계에서 플라즈마 방전의 소멸이 검출되는 경우, 양호하게, 임피던스 정합 수단은 초기 상태로 설정되고, 방전 개시 단계가 재수행된다. 이 때문에 상기 장치는 바람직하게 검출 및 제어 수단을 구비한다.

발명의 구성 및 작용

본 발명의 양호한 실시예가 첨부된 도면을 참조로 다음에서 설명될 것이다.

본 실시예에서, 마이크로파는 제1 고주파로서 사용되고, RF는 제2 고주파로서 사용된다. VHF가 제1 고주파로 사용되는 경우에도, 상기 경우와 동일한 효과가 얻어질 수 있다. 본 명세서에서, RF는 1MHz 이상 20 MHz 미만의 주파수를 갖는 고주파를 의미한다. VHF는 20 MHz 이상 1 GHz 미만의 주파수를 갖는 고주파이다. 마이크로파는 1 GHz 이상 10 GHz 미만의 주파수를 갖는 고주파를 의미한다.

도 1은 본 발명에 따른 막 형성 장치를 자동화하기 위한 플라즈마 방전 제어 장치의 배열을 도시하고 있다. 방전 제어 장치(101)는 입력 회로, 출력 회로, 및 연산기(도시 생략)를 구비한다. 입력 회로는 바이어스 바(109)에 인가되는 전압의 DC 성분의 접지 시에 흐르는 전류값 Idc를 검출하기 위한 검출기(107)와, 전체 장치를 제어하기 위한 막 형성 제어 장치(100)에 접속된다. 출력 회로는 제1 고주파를 생성하기 위한 수단인 마이크로파 발진기(104), 제2 고주파를 생성하기 위한 수단인 RF 발진기(105), 매스 플로우 제어기(mass flow controller, 이하 MFC로 약칭함)(103), 및 배기 조정 밸브(108)에 접속된다.

방전 제어 장치(101)는 방전 영역(102)에 인가되는 마이크로파 전력과 RF 전력, 가스 유량(gas flow rate)을 조정하는 기능과, 정합 회로의 고정 동작 및 자동 정합 동작을 전환시키는 기능을 갖는다. 바이어스 바(109)는 정합 회로(106)의 출력 단자에 접속된다.

(장치 실시예)

본 발명의 플라즈마 처리 방법을 실현하기 위한 플라즈마 처리 장치의 특정한 예가 도 2를 참조로 다음에 설명될 것이다.

거의 직방체 형상의(parallelopiped) 막 형성 용기(202)와 기판(200)으로부터 형성된 방전 영역(203)이 진공 용기(201) 내에 배열된다. 기판(200)은 밴드 모양을 갖는다. 이러한 경우에, 기판(200)은 도 2의 박판 면에 수직인 방향으로 반송된다. 진공 용기(201)와 막 형성 용기(202)는 전기적으로 접속되고 접지 전위로 설정된다.

이러한 장치에서, 밴드형 기판을 소망의 막 형성 온도로 가열하기 위한 기판 가열기(204), 가스 공급 수단(도시 생략)으로부터 공급되는 원료 가스를 막 형성실 내로 도입시키기 위한 원료 가스 도입관(205), 진공 펌프(도시 생략)와 같은 배기 수단을 사용하여 막 형성실을 배기시키기 위한 배기관(206), 마이크로파 발진기(208)로부터의 마이크로파 전력을 막 형성 용기 내로 공급하기 위한 배기 컨덕턴스 어플리케이터들(exhaust conductance applicators)(209)을 조정할 수 있는 배기 조정 밸브(207), 및 RF 발진기(210)로부터의 RF 바이어스 전력을 플라즈마에 인가하기 위한 바이어스 바(212)가 배치된다.

정합 회로(211)는 RF 발진기(21)와 바이어스 바(212) 사이에 접속된다. 정합과 동조를 위한 2개의 파라미터를 변화시킴으로써, RF 발진기와 바이어스 바 간의 임피던스 정합이 조정될 수 있다. 또한, 정합 회로(211)는 정합 동작을 수행하기 위해 그 자신에 의해 파라미터를 자동적으로 조정하는 기능을 갖는다.

막 형성 용기(202)는 그 측면에 그물형(mesh-like) 개구들을 부분적으로 구비한다. 플라즈마 및 전자기파는 막 형성 용기(202) 내에 한정될 수 있고, 분해된 원료 가스는 제거될 수 있다.

Idc 검출기(216)는 초크 코일(213)과 저항기(214)로 구성된다. 상술한 바와 같이, 바이어스 바(212)에 인가되는 DC 성분의 전류값은 출력 전압으로서 Idc 출력(215)에 출력된다. 전자의 질량은 이온류의 전자보다 훨씬 작으므로, RF 전계력으로 인해 다수의 전자가 바이어스 바에 도달한다. 바이어스 바가 DC 플로팅 상태(DC-floating state)일 때, 이 바이어스 바는 부(-) 전위로 변화된다. 단지 DC 성분만이 초그 코일(213)을 통해 접지되는 경우, 전류(Idc)는 초크 코일(213)로 흐른다. 전류값 Idc는 플라즈마의 이온화 정도에 비례하고, 전류값 Idc는 플라즈마 강도로 간주될 수 있다. 초크 코일(213)로 흐르는 DC 전류의 전류값 Idc는 저항기(214)를 사용하여 전압으로 변환되고 Idc 출력(215)에 출력되어, Idc 검출기는 플라즈마 강도를 측정한다. Idc 검출기가 방전 개시 검출 수단으로 사용되는 경우에는, 임계값이 설정된다. 전류값 Idc가 임계값을 초과하는 경우, 방전이 시작되었다고 판정된다. 전류값 Idc가 임계값 이하인 경우, 방전이 소멸되었거나 부분적으로 소멸되었다고 판정된다.

도 2에 도시된 장치는 2개의 어플리케이터(209)를 사용하여 마이크로파 전력 플라즈마 방전을 수행한다. 복수의 어플리케이터를 사용하여 복수의 방향으로부터 마이크로파 전력을 인가함으로써, 기판(200)의 균일한 막 특성(밴드형 기판에 대해, 폭 방향에서의 막 특성)을 유지하면서 막 형성 영역이 증가될 수 있다. 복수의 어플리케이터의 사용에서, 몇몇의 어플리케이터를 제외한 모든 어플리케이터들로부터 방전되는 플라즈마가 소멸될 수 있다. 이 때에, 플라즈마 강도는 저하되어 Idc 검출릭로부터의 출력을 낮춘다. 임계값이 전류값 Idc에 대해 설정되는 경우, 플라즈마가 부분적으로 소멸되는 것이 검출될 수 있다.

도 3a 및 3b는 도 1에 도시된 방전 제어 장치(101)의 동작을 도시한 플로우 차트이며, 이는 도 1을 참조로 하여 다음에서 설명될 것이다.

(준비 단계)

단계(1)에서, 개시 신호가 막 형성 제어 장치(100)로부터 장전 제어 장치(101)로 송신된다.

단계(2)에서, 처리는 방전 제어 장치(101)에 의해 제어되는 파라미터와 다른 막 형성 파리미터가 준비될 때까지 대기한다. 예를 들어, 처리는 밴드형 기판의 온도, 원료 가스의 유량, 및 방전 영역 내의 압력이 정의된 값에 도달할 때까지 대기한다.

단계(3)에서, 정합 회로(106)의 정합 및 동조 파라미터는 초기화되고 고정된다. 초기값들은 안정한 막 형성 시의 최종 임피던스 정합에 따라 결정되며 미리 실험적으로 결정된다. 정합 회로(106)의 파라미터들이 방전 개시의 초기 단계에서 고정되는 경우, 자동 정합 동작의 실패로 인한 방전의 소멸이 방지된다. 게다가, 정합 회로(106)의 파라미터들이 초기화되는 경우, 임피던스는 방전이 시작된 즉시 거의 정합된다. 상기 이유로 인해, 높은 재현성을 갖는 방전이 원활하게 개시되는 것이 가능해진다.

(방전 단계)

단계(4)에서, 얼마간의 RF 전력이 RF 발진기(105)로부터 바이어스 바(109)로 추가되거나 인가된다. 이때의 RF 전력은 소위 소망값(1)이다. 마이크로파 방전에 적합한 막 형성 조건하에서, 방전은 RF 전력만으로 개시되지 않는다. 이러한 이유로 인해, 이 시점에서, 입력 RF 전력의 대부분은 RF 발진기(105)측상에서 반사된다.

단계(5)에서, 마이크로파 전력은 막 형성 용기(202)에 인가된다. 단계(8)에서, 측정된 전류값 Idc가 임계값(1)을 초과하는 경우, 방전이 시작된 것으로 인식된다. 단계(5)에서, 유효 마이크로파 전력은 방전이 시작될 때까지 점차로 증가된다.

방전 개시의 과정이 도 2를 기초로 설명될 것이다. 원료 가스가 원료 가스 도입관(205)을 통해 방전 영역(203)으로 도입된다. 배기 조정 밸프(207)의 개방비는 방전 영역(203)을 선정된 압력으로 유지하도록 제어된다. 처음에, RF 전력은 소량이 바이어스 바(212)에 인가된다. 바람직하게는, 막 형성 시의 10% 이하의 전력이 인가된다. 다음에, 마이크로파 전력이 어플리케이터(209)로부터 인가된다. 막 형성 시와 동일한 또는 더 큰 마이크로파 전력이 인가되어 플라즈마를 생성한다. 플라즈마가 생성되었는지는 플라즈마 강도 측정 수단(아래에서 설명함)에 의해 확인될 수 있다. 플라즈마 생성 직후, 막 형성 시보다 더 큰 마이크로파 전력이 인가된다. 만일 RF 바이어스 전력이 이 시점에서 증가된다면, 스파크가 쉽게 발생되어, 플라즈마가 소멸되기 쉽다. 이를 방지하기 위해, RF 바이어스 전력은 이 시점에서 증가되지 않는다.

단계(6)에서, 인가된 마이크로파 전력이 최대값에 도달한 후 선정된 시간이 경과되고 방전이 아직 개시되지 않았을 때, 이러한 막 형성 조건 하에서 방전을 일으키는 것이 어렵다는 것이 판정될 것이다. 단계(7)에서, 방전을 용이하게 하기 위해, 방전 영역(102) 내의 압력을 상승시킨다. 압력을 상승시키는 데 2가지 기술이 이용 가능하다. 한 기술로서, MFC(103)가 방전 영역(102)으로 도입될 원료 가스의 유량을 증가시키도록 조정된다. 복수의 원료 가스가 사용되는 경우, 임의으이 가스가 증가될 수 있다. 특히, H_2 가스는 유량이 증가되는 경우에도 측정 전류값 Idc의 변화량이 작기 때문에 양호하게 증가된다. 다른 기술로서, 배기 조정 밸브(108)의 개방비가 방전 영역(102)의 압력을 증가시키도록 감소된다.

(조정 단계)

방전이 시작되고, 측정 전류값 Idc가 임계값(1)을 초과하는 것이 검출되는 경우, MFC(103)는 단계(9)에서 조정되어 가스 유량이 조정되거나 배기 조정 밸브(108)의 개방비가 조정됨으로써, 정의된 방법으로 압력을 복귀시킨다.

단계(10)에서, 유효 마이크로파 전력은 소망의 값(2)으로 점차 감소된다. 소망의 값(2)은 안정한 방전 하에서의 막 형성 시에 인가되는 전력과 동일할 수 있다. 그러나, 이러한 단계는 과도 단계이며, 방전이 소멸되는 것을 방지하기 위해, 마이크로파 전력은 막 형성 시의 전력보다 약간 큰 것이 바람직하다. 특히, 마이크로파 전력이 막 형성 시의 100% 내지 200%가 되는 것이 바람직하며, 막 형성 시의 120% 내지 180%로 되는 것이 더 바람직하다. 이러한 값은 실험적으로 결정된 것이다.

단계(11)에서, 유효 마이크로파 전력은 소망의 값(3)으로 점차 상승된다. 소망의 값(3)은 안정한 방전 하에서 막 형성 시에 인가되는 전력과 동일한 것이 바람직하다. 그러나, 비정상적인 방전을 방지하기 위해, 이 값은 약간 더 작아질 수 있다. 특히, RF 전력은 막 형성 시의 70% 내지 100%이다. 마이크로파가 감소된 후, RF 바이어스 전력은 상승된다. 이러한 처리로서, 스파크를 방지하면서 안정한 방전이 유지될 수 있다.

단계(12)에서, 플라즈마 강도가 제어된다. 단계(13)에서, 유효 마이크로파 전력이 조정되어 전력은 막 형성 시의 소망의 값으로 근사되거나 소망의 값의 100% 내지 150%의 범위 내에 있게 된다. 플라즈마 강도를 제어하는 데는 2가지 방법이 이용 가능하다. 첫 번째 방법으로서, 입력 마이크로파 전력이 조정되어 측정 전류값 Idc가 소망의 값(3)에 근사하게 된다. 두 번째 방법으로서, 입력 마이크로파 전력이 조정되어 마이크로파 전력의 유효값 = (입력 전력 - 반사 전력)이 소망의 값(4)로 근사하게 된다. 상기 방법 중 하나를 사용하여, 마이크로파 전력이 감소된다.

이 시점에서, RF 임피던스 정합은 임시적 초기값을 갖고, 정합은 이상적으로 되는 것이 아니라 과도적이게 된다. 이러한 이유로 인해, 방전이 소멸되는 것을 방지하기 위해, 플라즈마 강도는 막 형성 시의 소망의 값보다 약간 높게 되도록 조정되는 것이 바람직하며, 소망의 값의 100% 내지 150%가 되는 것이 보다 바람직하다. 도 2에 도시된 바와 같이, 마이크로파 전력이 복수의 어플리케이터(209)로부터 인가될 때, 어플리케이터로부터 인가되는 유효 마이크로파 전력의 비율이 적절하게 조정되어 피착막의 두께와 품질을 균일하게 한다.

단계(14)에서, RF 전력은 막 형성 시에 소망의 값으로 조정된다. 동시에, 정합 회로(106)는 고정 동작으로부터 자동 정합 동작으로 시프팅된다. RF 발진기와 부하 간의 임피던스를 자동적으로 정합시키는 방법은 일반적으로 사용되고 있다. 본 발명에서와 같이, RF 전력이 바이어스 전력으로서 마이크로파 또는 VHF 플라즈마로 인가되는 경우, 플라즈마는 플라즈마의 안정화에 대한 마이크로파 또는 VHF 플라즈마의 생성으로부터 불안정하게 되어, RF의 자동 정합은 불안정하게 된다. 플라즈마가 안정될 때, 즉 막 형성 시에 소망의 마이크로파 전력을 얻기 위한 조정이 완료되었을 때, 자동 정합 동작을 개시함으로써, 정합 회로는 항상 안정하게 동작될 수 있다.

(안정한 방전 단계)

단계(15)에서, 마이크로파 전력은 막 형성 시에 소망의 값으로 플라즈마 강도를 최종적으로 설정하도록 조정된다. 플라즈마 강도 제어 방법은 단계(12)와 동일하다. 막 형성 동안에, 플라즈마 강도가 항상 측정되어 측정 전류 값 Idc이 소망의 값(4)에 도달하거나 유효 마이크로파 전력이 소망의 값(5)에 도달한다. 단계(17)에서, 입력 마이크로파 전력이 조정된다.

단계(16)에서, 만일 Idc 검출기가 방전이 막 형성 동안에 소멸되었음을 인식한다면, 흘로우는 단계(3)으로 복귀하여 방전을 다시 개시한다. 임계값(2)이 설정되고, 측정 전류값 Idc가 임계값(2)보다 작은 경우, 방전이 소멸되었다는 것이 인정된다. 만일 Idc 검출기(107)가 방전이 안정한 방전 단계에서 소멸되었음을 확인한다면, 플로우는 방전 단계로 복귀하여 방전이 재시작되도록 한다. 이러한 처리에서, 연속적인 막 형성 장치의 중단없이 연속적인 막 형성이 수행될 수 있다.

(종료 단계)

단계(18)에서, 막 형성 종료 명령이 막 형성 제어 장치(100)로부터 수신된다. 단계(19)에서, 방전 제어 장치(101)가 종료되어 마이크로파 전력과 RF 바이어스 전력을 중단시킨다.

단계(20)에서, 방전 제어 장치(101)의 동작의 종료를 나타내는 신호가 막 형성 제어 장치(100)로 복귀된다.

(광기전력 소자에 대한 인가)

본 발명의 방법이 핀 접합을 갖는 광기전력 소자를 제조하는 롤-투-롤 방식의 플라즈마 CVD 장치에 적용된 예가 도 4를 참조로 다음에 설명될 것이다.

도 4를 참조하면, 플라즈마 CVD 장치는 밴드형 기판(400), 공급 용기(401), 공급 보빈(supply bobbin)(402), 테이크 업 용기(take-up container)(403), 테이크 업 보빈(404), 제1 도핑층 형성 용기(405), i형 층 형성 용기(406), 제2 도핑층 형성 용기(407), 기판 가열기(408), 가스 가열기(409), 가스 게이트(410), 원료 가스 도입관(411), 게이트 가스 도입관(412), 가스 배기구(413), 배기 조정 밸브(414), 반송 롤러(415), 캐소드(416), RF 발진기(417), 마이크로파 발진기(418), 도파관(419), 마이크로파 어플리케이터(420), 및 바이어스 바(421)를 구비한다. I형층 형성 용기(406)는 피착막이 마이크로파 플라즈마 CVD에 의해 형성된 막 형성 용기(422)를 포함한다. 도핑층 형성 용기들(405 및 407)은 피착막들이 각각 RF CVD에 의해 형성된 막 형성 용기들(423 및 424)을 포함한다. 용기들(405 - 407)은 각각 방전 영역들(425 - 427)을 갖는다. 용기들(401, 403, 및 405 - 407)은 가스 게이트들(410)에 의해 접속된다. 3개의 피착막 형성 용기들(405 - 407)이 통과하는 동안 밴드형 기판(400)은 공급 용기(401)로부터 테이크 업 용기(403)로 반송된다. 3층 기능성 피착막, 예를 들어, 핀 구조를 갖는 광기전력 소자를 위한 반도체막이 밴드형 기판(400) 상에 형성된다.

양호하게, 밴드형 기판(400)은 반도체막 형성 시에 필연적인 온도에서 변형 및 뒤틀림이 없게 된다. 밴드형 기판은 반송 동안의 장력하에서도 그 형태를 유지하는 충분한 강도를 갖기만 하면 비용 및 저장 공간을 고려하여 가능한 한 얇은 것이 바람직하다. 밴드형 기판의 폭은 특별히 제한되어 있지 않다. 폭은 반도체 막 형성 수단 또는 형성 용기의 크기를 기초로 결정된다. 밴드형 기판의 길이가 특별히 제한되어

있다해도, 기판을 롤에 대해 기판을 테이크 업하도록 하는 길이가 바람직하다. 긴 밴드형 기판은 예를 들어 보다 긴 기판을 얻기 위해 용접됨으로써 연결될 수 있다.

형성 용기들(405 - 407)에서, 밴드형 기판(400)은 기판 가열기(408)에 의해 선정된 막 형성 온도로 가열된다. 가스 공급 수단(도시 생략)으로부터 원료 가스 도입관(411)을 통해 공급된 원료 가스는 방전 영역들(425 - 427)로 공급되고 가스 배기구(413)로부터 배기 수단(도시 생략)에 의해 제거된다. 배기속도가 배기 조정 밸브(414)에 의해 조정될 때, 소망의 압력들이 방전 영역들(425 - 427)에서 각각 유지된다.

초고주파 CVD를 사용한 형성 용기(406) 내의 방전 영역(426)에, 도파관(419)을 통해 마이크로파 발진기(418)로부터의 마이크로파 전력을 원료 가스에 인가하기 위한 어플리케이터(420)와 RF 전력을 플라즈마에 인가하기 위한 바이어스 바(421)가 제공된다. 방전 영역(426)에, 피착막이 공급된 원료 가스를 분해함으로써 마이크로파 CVD를 사용하여 형성된다. 2개의 어플리케이터(420)가 사용되기 때문에, 밴드형 기판(400)의 폭 반향에서의 피착막 특성의 불균일성이 개선된다. 설명의 편의를 위해, 2개의 어플리케이터(420)의 방향은 각각 전방측과 후방측으로 칭한다.

RF CVD를 사용하여 형성 용기들(405 및 407) 내의 방전 영역들(425 및 427) 각각에, RF 전력을 원료 가스에 인가하기 위한 캐소드(416)가 제공되고, 피착막이 RF CVD에 의해 형성된다. 원료 가스 도입관(411)으로부터 도입된 원료 가스는 가스 가열기(409)에 의해 가열되어 피착막 특성이 개선된다. 가열기들(408 및 409)에 의해 막 형성 용기들(422 - 424)을 가열함으로써, 막 형성 용기들(422 - 424)은 불순물 가스를 감소시키도록 막 형성 이전에 소성(baking)될 수 있다.

가스 게이트(410)는 용기들(401, 403, 및 405 - 407)을 서로 분리시키고 밴드형 기판(400)을 용기들(401, 403, 및 405 - 407)을 통해 연속적으로 반송하도록 배열된다. 상이한 조성을 갖는 다수의 고품질 박막을 형성하기 위해, 게이트 가스가 인접한 용기들 내의 원료 가스가 혼합되는 것을 방지하도록 게이트 가스 도입관(412)으로부터 도입되어, 분위기들(atmospheres)이 분리될 수 있다. 게이트 가스로서는, H_2, He, 또는 Ar이 사용된다.

원료 가스 공급 수단(도시 생략), 배기 수단(도시 생략), 기판 가열기(408), 가스 가열기(409), RF 발진기(417), 마이크로파 발진기(418), 및 상술한 장치 내의 밴드형 기판을 반송하기 위한 모터가 시퀀서(sequencer) 또는 컴퓨터와 같은 막 형성 제어 장치(도시 생략)에 의해 프로그램을 기초로 자동 동작이 가능하도록 제어된다.

자동 동작의 단계들이 도 4를 참조로 설명될 것이다. 밴드형 기판(400)이 감기는 공급 보빈(402)은 공급 용기(401) 내에 배치된다. 비어 있는 테이크 업 보빈(404)은 테이크 업 용기(403) 내에 배치된다. 막 형성 용기들(422 - 424)의 세정 및 보수는 공기 중에서 수행된다. 이후에, 자동 공정이 개시된다.

1) 배기 공정

모든 형성 용기들(401, 403, 및 405 - 407) 내의 압력은 배기 수단에 의해 약 1 Torr로 낮워진다.

2) 가열 공정

막 형성 용기들(422 - 424)은 기판 가열기(408)와 가스 가열기(409)에 의해 선정된 온도로 가열된다. 이러한 가열 공정은 막 형성 용기들(422 - 424)과 형성 용기들(405 - 407)의 벽들에서 흡수되는 물과 산소와 같은 불순물 가스를 제거하기 위한 소성을 목적으로 수행된다.

3) 막 형성 공정

원료 가스와 게이트 가스는 원료 가스 도입관(411)과 게이트 가스 도입관(412)으로부터 도입된다. 밴드형 기판(400)이 선정된 속도로 반송되는 동안 플라즈마 방전이 막 형성 용기들(422 - 424) 내에서 개시됨으로써, 밴드형 기판(400) 상에 막을 연속적으로 피착시킨다. 이러한 공정에서는, 형성 용기(406) 내에서, 본 발명의 상술한 마이크로파 방전 제어 장치가 마이크로파 플라즈마 방전을 자동적으로 개시시키도록 동작된다. 밴드형 기판(400)이 테이크 업 보빈(404)에 의해 선정된 위치까지 테이크 업될 때, 모든 플라즈마 방전은 중단된다. 반송도 또한 중단된다.

4) 냉각 공정

막 형성 용기들(422 - 424)은 세정 및 보수가 수행될 수 있는 온도로 냉각된다. 막 형성 시에, 발화성 2차 반응 생성물이 때때로 막 형성 용기들(422 - 424) 내에 피착된다. 용기 개방시의 발화를 방지하기 위해, 용기들은 미리 냉각된다.

5) 퍼징 공정(Purging Process)

형성 용기들(401, 403, 및 405 - 407)이 공기 중에 개방되기 이전에, 용기들 내의 원료 가스는 질소 가스로 치환된다.

6) 밴팅 공정(Venting Process)

질소 가스는 대기압이 얻어질 때까지 형성 용기들(401, 403, 및 405 - 407) 내로 도입된다.

상기 자동 공정의 종료 시에, 테이크 업 보빈(404)에 의해 테이크 업된 밴드형 기판(400)이 추출된다. 이 후에, 투명 전극막이 막 피착 장치(도시 생략)에 의해 밴드형 기판(400) 상에 피착됨으로써, 박막 광기전력 소자를 완성한다.

또한, 본 발명은 플라즈마 CVD가 아닌 플라즈마 처리, 예를 들어, 플라즈마 에칭 등에 적용될 수 있다.

(실시예 1)

도 1에 도시된 자동 제어 장치를 구비한 도 4에 도시된 롤-투-롤 방식의 플라즈마 CVD 장치를 사용하여, 핀형 비정질 실리콘 광기전력 소자가 다음의 조건하에서 도 3a 및 3b에 도시된 공정에 후속하는 자동 공

정에 의해 밴드형 기판 상에 형성되었다. 이는 도 3a, 3b, 및 4를 참조로 다음에서 설명될 것이다. 본 실시예에서는, 마이크로파 전력이 제1 고주파 전력으로서 사용되었고, RF 전력이 제2 고주파 전력으로서 사용되었다.

밴드형 기판(400)으로서, 350 mm의 폭, 300 m의 길이, 및 0.2 mm의 두께를 갖는 SUS(430)가 알루미늄 박막(두께 : 0.1 ㎛)과 아연 산화물(ZnO) 박막(두께 : 1.0 ㎛)을 롤-투-롤 방식의 스퍼터링 막 형성 장치(도시 생략)를 사용하여 이면 반사층으로서 밴드형 기판(400) 상에 피착시킴으로써 준비되었다.

밴드형 기판(400)은 3개의 막 형성 용기들(405 - 407)을 통과하는 동안 공급 용기(401)로부터 공급되고 테이크 업 용기(403)에 테이크 업되도록 배치되었다.

용기들(401, 403, 및 405 - 407)은 배기 조정 밸브(414)를 통해 배기 수단(도시 생략)에 의해 약 1 Torr로 배기되었다. 배기가 계속되는 동안, He 가스는 각각 100 sccm로 가스 도입관들(411 및 412)로부터 유입되었다. 압력은 압력 게이지(도시 생략)에 의해 용기들(401, 403, 및 405 - 407) 내의 압력을 측정하고 배기 조정 밸브(414)를 제어함으로써 1.0 Torr로 유지되었다. 게다가, 기판 가열기(408)와 가스 가열기(409)는 300℃로 가열되었다. 이러한 상태를 유지하면서 5시간 동안 소성이 수행됨으로써, 불순물 가스를 제거한다.

다음에, 가스 도입관(411 및 412)으로부터의 He 가스가 중단되었다. 표 1에 나타나 있는 조성을 갖는 원료 가스가 혼합기(도시 생략)로부터 원료 가스 도입관(411)을 통해 막 형성 용기들(422 - 424)로 흐르게 되었다. H_2 가스는 게이트 가스 도입관(412)으로부터 가스 게이트로 흐르게 되었다. 밴드형 기판(400)의 반송속도는 1,000 mm/min이다. 고주파 전력 인가 수단에 대해서는, 마이크로파 CVD를 사용하여 막 형성 용기(422) 내에, 마이크로파가 2.45 GHz의 발진 주파수를 갖는 마이크로파 발진기(418)로부터 도파관(419)과 어플리케이터(420)를 통해 막 형성 영역으로 인가되었다. 바이어스 전력은 정합 회로(428)를 통해 13.56 MHz의 발진 주파수를 갖는 RF 발진기(417)로부터 바이어스 바(421)에 인가된다. 바이어스 바(421)로서는, 20 mm의 직경과 30 cm의 길이를 갖는 원주형 바가 사용되었다. RF CVD를 사용하는 막 형성 용기들(423 및 424)에, RF 전력이 RF 발진기(417)로부터 정합 회로(428)를 통해 캐소드(416)에 인가되었다. 플라즈마 방전이 방전 영역들(425 - 427) 내에서 개시되어 밴드형 기판(400) 상에 n형 비정질 실리콘막, i형 비정질 실리콘 게르마늄막, 및 p형 미결정 실리콘막을 연속적으로 형성한다. 안정한 막 형성에서의 각각의 막 형성 용기를 위한 막 형성 조건이 표 1에 나타나 있다.

이러한 실시예에서, 도 3b의 단계들(15 - 17)의 막 형성 동안에 플라즈마 강도 제어가 입력 마이크로파 전력을 조정함으로써 수행되어 측정 전류값 Idc(소망의 값 4)는 3.5 A로 유지되었다. 플라즈마 소멸이 검출되는 측정 전류값 Idc(임계값 2)는 3.0 A로 설정되었다. 플라즈마 생성 이전에 인가되는 고주파 바이어스 전력(소망의 값 1)은 50W로 설정되었다. 플라즈마가 제1 시간 동안 생성되었을 때의 유효 마이크로파 전력은 전방 및 후방의 양측 모두 상에서 약 800W이다. 이 때에 플라즈마 생성이 검출되는 측정 전류값 Idc(임계값 1)는 1.5 A로 설정되었다.

단계(6)에서 다루기 어려운 플라즈마 생성의 타임아웃 시간은 5초로 설정되었다. 그러나, 본 실시예에서, 플라즈마는 5초 이내에 생성되었으므로, 단계(7)은 실행되지 않았다. 소망의 값(2)는 전방 및 후방 양측 모두에서 300W이고, 소망의 값(3)은 800W였다.

막 형성은 막 형성 공정에서와 같이 약 5시간 동안 연속적으로 수행되었다. 핀 접합을 갖는 반도체층은 300 m의 전체 길이를 갖는 밴드형 기판의 250 m 길이 부분이다. 반도체층이 얻어지는 250 m 길이 부분은 소위 유효 부분이 될 것이다.

반도체층이 상기 공정에 의해 형성된 밴드형 기판은 테이크 업 용기(403)에 의해 형성되었다. ITO(인듐 주석 산화물) 투명 도전막(두께 : 800 Å)은 스퍼터링 막 형성 장치(도시 생략)에 의해 형성되었다. 이후에, 밴드형 기판(400)이 공급되는 동안 커터(도시 생략)에 의해 100 mm 길이로 절단되어, 샘플을 준비한다. Ag 플레이트가 각각의 기판 상에 스크린-프린팅(screen-printing)되어 수집 전극을 형성함으로써, 도 5의 개략적인 단면도에 도시된 광기전력 소자를 완성한다. 도 5에서, 소자는 기판(500), 이면 반사층(501), n형 반도체층(504), ITO 투명 도전막(505), 및 수집 전극(506)을 포함한다.

결과로서 생긴 광기전력 소자의 특성은 기판을 1.5의 AM 값과 100 mW/cm^2의 에너지 밀도를 갖는 의사 태양광선으로 조사할 시에 광전기 변환 효율 η을 측정함으로써 평가된다. 표 2는 평가 결과를 나타내고 있다. 밴드형 기판의 유효 부준 250 m 길이로부터, 샘플은 10 m 간격으로 추출되고 측정이 행해졌다. 26개의 샘플 각각의 특성의 최대값과 최소값의 차이는 불균일한 것으로 평가되었다. 샘플의 유효 영역은 350 mm × 100 mm였다.

막 형성 동안에 플라즈마 소멸로 인한 결합있는 피착막 부분을 제외한 부분의 비율, 즉, 비결합 부분의 비율은 비결함 유닛의 비율로 평가되었다. 플라즈마 소멸의 배수가 또한 카운팅되었다.

(비교 실시예 1)

비교 실시예(1)에서, 도 1에 도시된 방전 제어 장치(101)를 사용하지 않으면서 실시예(1)과 동일한 공정에 따라 수행되었다. 표 1에서와 동일한 막 형성 조건들이 사용되었다. 비교 실시예 1은 마이크로파 발진기, RF 발진기, MFC, 및 배기 조정 밸브가 수동으로 제어되고, 정합 회로(106)가 자동 정합 동작을 항상 수행하도록 설정되는 면에서 실시예 1과 차이가 있다. 평가는 실시예 1과 동일한 방법을 기초로 행해졌다.

[표 1]

막 형성 용기	피착막 두께(nm)	가스:흐름 속도(sccm)	압력(mTorr)	유효 전력(W)	가열 온도(℃)	피착 레이트(nm/sec)
423	n형층 :20 nm	SiH_4:100H_2:1000PH_3/H_2(2%):150	1000	RF:200	270	1.2
422	i형층 :150 nm	SiH_4:100GeH_4:120H_2:500	10	마이크로파:(250-280)x2RF 바이어스:800	350	10
424	p형층 :8 nm	SiH_4:20H_2:3000BF_3/H_2(2%):30	1000	RF:1000	300	0.2

[표 2]

	불균일성	비결함 유닛의 비율	플라즈마 소멸의 시간수
실시예 1	±2%	88%	15
비교 실시예1	±5%	68%	16

상기 실험은 다음과 같은 사실을 나타낸다.

1) 비교 실시예 1에서, 플라즈마가 막 형성 동안 소멸되었을 때, 방전 재개시 동작은 수동으로 수행되었다. 게다가, 정합 회로(106)의 동작은 방전 재개시를 위한 시간을 얻기 위해 불안정해지게 되었다. 이는 결합부를 증가시켜, 비결함 유닛의 비율은 낮아졌다. 방전 안정화 개시로부터의 평균 시간은 180초였다. 실시예 1에서, 방전 재개시는 원활하게 수행되었다. 안정화 개시로부터의 평균 시간은 40초였고, 비결함 유닛의 비율은 증가하였다.

2) 비교 실시예 1에서, 막 형성 동안 측정 전류값 Idc를 시각적으로 확인하면서 유효 마이크로파 전력이 조정되었다. 이러한 이유로 인해, 플라즈마 강도의 정확한 조정이 불가능하게 되어, 측정 전류값 Idc는 방전 제어 장치(101)에 의해 유효 마이크로파 전력으로 재공급되었다. 그러므로, 플라즈마 강도의 정확성이 향상되고, 불균일성이 증가한다.

(실시예 2)

실시예 2에서, 도 3b의 단계 15 - 17에서 막 형성 동안의 플라즈마 강도를 제어하기 위해, 입력 마이크로파 전력은 250W에서 유효 마이크로파 전력을 유지하도록 조정되었다. 안정한 막 형성 시의 막 형성 조건은 표 3에 나타나 있다.

실시예 2에서, 방전은 마이크로파 전력이 전워의 최대 출력에 도달한 후 5초가 경과되었을 때에도 단계 5에서 개시되지 않는다. 그 때에 방전 영역 내의 압력은 15 mTorr였다. 이후에, 단계 9에서, H_2 가스가 표 1에 나타나 있는 유량으로 감소되었다. 평가는 실시예 1과 동일한 방법을 사용하여 행해졌다.

(비교 실시예 2)

비교 실시예 2에서, 도 1에 도시된 방전 제어 장치(101)를 사용하지 않으면서 막 형성이 실시예 2와 동일한 과정에 따라 행해졌다. 표 3에서와 동일한 막 형성 조건이 사용되었다. 비교 실시예 2는 마이크로파 발진기, RF 발진기, MFC, 및 배기 조정 밸브가 수동으로 제어되고, 정합 회로(106)가 자동 정합 동작을 항상 수행하도록 설정되는 면에서 실시예 2와 다르다. 평가는 실시예 1과 동일한 방법을 기초로 행해졌다.

[표 3]

막 형성 용기	피착막 두께(nm)	가스:흐름 속도(sccm)	압력(mTorr)	유효 전력(W)	가열 온도(℃)	피착 레이트(nm/sec)
423	n형층 :20 nm	SiH_4:100H_2:1000PH_3/H_2(2%):150	1000	RF:200	270	1.2
422	i형층 :150 nm	SiH_4:100GeH_4:120H_2:500	10	마이크로파 (상수):250+280RF 바이어스:800	350	10
424	p형층 :8 nm	SiH_4:20H_2:3000BF_3/H_2(2%):30	1000	RF:1000	300	0.2

[표 4]

	불균일성	비결함 유닛의 비율	플라즈마 소멸의 시간수
실시예 2	±2%	86%	15
비교 실시예2	±5%	70%	16

상기 실험은 다음과 같은 사실을 나타내고 있다. 실시예 2의 불균일성은 비교 실시예 2의 뷸균일성보다 높다. 일정한 값으로 유효 마이크로파 전력을 설정하면서 플라즈마 강도가 조정되는 경우에도, 안정한 특성이 초기 단계부터 막 형성 공정의 종료까지 얻어질 수 있다. 게다가, 방전의 안정화에 대한 개시로부터의 평균 시간은 비교 실시예 2에서는 190초였고 실시예 2에서는 40초였다. 그러므로, 결함있는 부분은 실시예 2에서 감소하여, 비결함 유닛의 비율은 개선되었다.

(실시예 3)

실시예 3에서, VHF는 플라즈마 처리를 위한 제1 고주파로서 사용되었다. 도 4에 도시된 장치의 차이는 도 6을 참조로 설명될 것이다. 도 4와 동일한 참조 번호는 도 6에서 동일한 부분을 표시하므로, 그 상세한 설명은 생략될 것이다. 도 6은 도 4의 막 형성 용기(422) 대신에 사용된 막 형성 용기(601)와 관련 부분을 설명하기 위한 개략적인 평면도이다. 도 6에 도시된 바와 같이, 100 MHz의 발진 주파수를 갖는 VHF 발진기(602)가 마이크로파 발진기(418) 대신에 사용되었다. 동축 케이블(603)과 정합 회로(604)는 도파관(419) 대신에 사용되었다. 로드 안테나(605)는 바이어스 바(421)와 동일하 크기 및 형태를 가지며 방전 영역(606) 내의 바이어스 바(421)와 평행하게 배치되었다. 안테나와 바이어스 바(421) 간의 간격은 밴드형 기판의 반송 방향에서 15 mm였다. 배열의 나머지 부분들은 실시예 1과 동일하다. 안정한 막 형성 시의 막 형성 조건이 표 5에 나타나 있다.

실시예 3에서, 도 3에서의 단계 15 - 17의 플라즈마 강도를 제어하기 위해, 입력 VHF 전력은 3.0 A에서 측정 전류값 Idc(소망의 값 4)을 유지하도록 조정되었다. 임계값(1)은 1.0 A로 설정되었고, 임계값(2)는 2.5 A로 설정되었으며, 바이어스 전력의 소망의 값(1)은 50W로 설정되었다. 평가는 실시예 1와 동일한 방법을 기초로 행해졌다. 표 6은 평가 결과를 나타내고 있다.

[표 5]

막 형성 용기	피착막 두께(nm)	가스:흐름 속도(sccm)	압력(mTorr)	유효 전력(W)	가열 온도(℃)	피착 레이트(nm/sec)
423	n형층 :20 nm	SiH_4:100H_2:1000PH_3/H_2(2%):150	1000	RF:200	270	1.2
422	i형층 :180 nm	SiH_4:240GeH_4:200H_2:1000	15	VHF: 1200RF 바이어스:800	350	4.0
424	p형층 :8 nm	SiH_4:20H_2:3000BF_3/H_2(2%):30	1000	RF:1000	300	0.2

(비교 실시예 3)

비교 실시예 3에서, 도 1에 도시된 방전 제어 장치(101)를 사용하지 않으면서 실시예 3과 동일한 과정에 따라 수행되었다. 표 5와 동일한 막 형성 조건이 사용되었다. 비교 실시예 3은 VHF 발진기, RF 발진기, MFC, 및 배기 조정 밸브가 수동으로 제어되고, 정합 회로(106)가 자동 정합 동작을 항상 수행하도록 설정되었다. 평가는 실시예 1과 동일한 방법을 기초로 행해졌다. 표 6은 평가 결과를 나타내고 있다.

[표 6]

	불균일성	비결함 유닛의 비율	플라즈마 소멸의 시간수
실시예 3	±2%	84%	6
비교 실시예 3	±4%	64%	8

상기 실험은 다음과 같은 사실을 나타내고 있다.

1) 비교 실시예 3에서, 플라즈마가 막 형성 동안에 소멸되었을 때, 방전 재개시 동작이 수동으로 수행되었다. 게다가, 정합 회로(106)의 동작은 방전 재개시를 위한 시간을 취하기 위해 불안정해지게 되었다. 이는 결함있는 부분을 증가시켜, 비결함 유닛의 비율을 낮추었다. 방전의 안정화에 대한 개시로부터의 평균 시간은 200초였다. 실시예 3에서, 방전 재개시가 원활하게 수행되었다. 안정화에 대한 개시로부터의 평균 시간은 30초였고, 비결함 유닛의 비율은 증가하였다.

2) 비교 실시예 3에서, 막 형성 동안 측정 전류값 Idc를 시각적으로 확인하는 동안 유효 VHF 전력이 조정되었다. 이러한 이유로 인해, 플라즈마 강도의 정확한 조정이 불가능하게 되어, 불균일성을 감소시키게 되었다. 실시예 3에서, 측정 전류값 Idc가 방전 제어 장치에 의해 유효 VHF 전력으로 재공급되었다. 그

러므로, 플라즈마 강도의 정확성은 향상되고, 불균일성은 증가되었다.

발명의 효과

본 발명에 따르면, 플라즈마 방전이 자동 장치를 사용하여 높은 재현성을 가지고 자동적으로 원활하게 개시될 수 있다. 방전이 소멸된 경우에도, 신속하게 재개시될 수 있다. 밴드형 기판 상에 광기전력 소자를 형성하기 위한 장치에 대한 이러한 방법의 적용은 전자동 동작이 가능하도록 하여, 광기전력 소자의 생산성을 증가시키고 비용을 감소시킬 수 있다. 게다가, 안정한 광기전력 특성이 밴드형 기판에 걸쳐 얻어질 수 있다. 결함있는 부분은 최소화될 수 있고, 수율은 증가한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

제1 고주파 전력과 상기 제1 고주파 전력의 주파수보다 낮은 주파수를 갖는 제2 고주파 전력을 사용하여 플라즈마 처리를 행하는 방법에 있어서, 처리 시의 전력보다 작은 상기 제2 고주파 전력을 임피던스 정합 회로를 통해 처리실(processing chamber)로 공급하고 그후에 처리시의 전력보다 큰 상기 제1 고주파 전력을 상기 처리실로 공급하여 플라즈마를 생성하는 방전 개시 단계; 상기 제1 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사하게 감소시키고 상기 제2 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사하게 증가시킨 후에 상기 제1 고주파 전력의 크기를 조정하여 선정된 값의 플라즈마 강도를 얻는 조정 단계; 및 상기 임피던스 정합 회로를 정합 동작시킴과 동시에 상기 제1 고주파 전력의 값을 조정하여 처리 시에 소망의 값의 플라즈마 강도를 얻음으로써, 처리될 기판의 플라즈마 처리를 행하는 플라즈마 처리 단계를 포함하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 플라즈마 처리 단계에서 플라즈마 방전의 소멸이 검출되었을 때 상기 임피던스 정합 회로를 초기 상태로 설정하고 다시 방전 개시 단계로 복귀시키는 단계를 더 포함하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 조정 단계는 상기 제1 고주파 전력을 처리시의 값의 100% 내지 200%로 감소시키고, 상기 제2 고주파 전력을 처리시의 값의 70% 내지 100%로 증가시키는 단계를 포함하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 조정 단계는 상기 플라즈마 강도의 선정된 값을 처리시의 플라즈마 강도의 소망의 값의 100% 내지 150%로 설정하는 단계를 포함하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 접지 전위와 상기 제2 고주파 전력을 인가하는 수단 간에 흐르는 전류의 DC 성분을 검출함으로써 상기 플라즈마 강도를 측정하는 단계를 더 포함하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 입력 전력과 상기 제1 고주파 전력중 반사된 전력 간의 차이(difference)를 검출함으로써 상기 플라즈마 강도를 측정하는 단계를 더 포함하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 방전 개시 단계는 처리 가스 도입량을 증가시켜 상기 처리실 내의 압력을 상승시키고 그후에 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 방전 개시 단계는 배기 조정 밸브(exhaust adjust valve)의 개방비(opening ratio)를 감소시켜 상기 처리실 내의 압력을 상승시킨 후에 플라즈마를 생성하는 단계를 포함하는 플라즈마 처리 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 임피던스 정합 회로의 초기 상태는 상기 제2 고주파 전력중 반사된 전력이 상기 플라즈마 처리 단계에서 최소값을 취하는 정합 회로의 상태와 동일한 플라즈마 처리 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 방전 개시 단계, 상기 조정 단계, 및 상기 플라즈마 처리 단계는 열거된 순서대로 자동적으로 행해지는 플라즈마 처리 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 방전 개시 단계에서 공급된 상기 제2 고주파 전력의 크기는 상기 플라즈마 처리 단계에서 공급된 상기 제2 고주파 전력의 크기의 10%이하인 플라즈마 처리 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 제1 고주파 전력은 마이크로파 주파수 및 VHF 주파수중 하나를 갖는 고주파 전력인 플라즈마 처리 방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 제2 고주파 전력은 RF 주파수를 갖는 고주파 전력인 플라즈마 처리 방법.

청구항 14

플라즈마 처리실, 제1 고주파 전력을 상기 플라즈마 처리실로 공급하는 수단, 상기 제1 고주파 전력의 주파수보다 낮은 주파수를 갖는 제2 고주파 전력을 상기 플라즈마 처리실에 공급하는 수단, 처리 가스를 상기 플라즈마 처리실로 도입하는 수단, 상기 플라즈마 처리실 내의 압력을 감소시키기 위한 수단, 상기 플라즈마 처리실 내에서 발생된 플라즈마의 강도를 측정하는 측정 수단, 및 플라즈마 방전을 제어하는 방전 제어 장치를 구비한 플라즈마 처리 장치에 있어서, 상기 방전 제어 장치는, 처리 시의 전력보다 작은 상기 제2 고주파 전력을 임피던스 정합 회로를 통해 처리실로 공급하고 그후에 처리시의 전력보다 큰 상기 제1 고주파 전력을 상기 처리실로 공급하여 플라즈마를 생성하는 방전 개시 단계; 상기 제1 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사하게 감소시키고 상기 제2 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사하게 증가시킨 후에 상기 제1 고주파 전력의 크기를 조정하여 선정된 값의 플라즈마 강도를 얻는 조정 단계; 및 상기 임피던스 정합 회로를 정합 동작시킴과 동시에 상기 제1 고주파 전력의 값을 조정하여 처리 시에 소망의 값의 플라즈마 강도를 얻음으로써, 처리될 기판의 플라즈마 처리를 행하는 플라즈마 처리 단계를 제어하는 수단을 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 플라즈마 처리 단계에서 플라즈마 방전의 소멸을 검출하는 검출 수단과, 상기 검출 수단이 플라즈마 처리 단계에서 플라즈마 방전의 소멸을 검출했을 때 상기 임피던스 정합 회로를 초기 상태로 설정하여 다시 방전 개시 단계로 복귀하도록 제어하는 수단을 더 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 16

제14항에 있어서, 상기 조정 단계는 상기 제1 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사되도록 감소시킬 때 상기 제1 고주파 전력을 처리시의 값의 100% 내지 200%로 제어하는 수단과, 상기 제2 고주파 전력의 크기를 처리시의 값에 근사되도록 증가시킬 때에 상기 제2 고주파 전력을 처리시의 값의 70% 내지 100%로 제어하는 수단을 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 17

제14항에 있어서, 상기 조정 단계는 상기 플라즈마 강도의 선정된 값을 처리시의 플라즈마 강도의 소망의 값의 100% 내지 150%로 제어하는 수단을 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 18

제14항에 있어서, 접지 전위와 플라즈마 강도를 측정하기 위해서 상기 제2 고주파 전력을 인가하는 수단간에 흐르는 전류의 DC 성분을 검출하는 수단을 더 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 19

제14항에 있어서, 입력 전력과 플라즈마 강도를 측정하기 위해서 상기 제1 고주파 전력중 반사된 전력 간의 차이를 검출하는 수단을 더 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 20

제14항에 있어서, 상기 처리실내의 압력을 상승시키기 위해서 처리 가스의 도입량을 증가시킨 후에 상기 방전 개시 단계에서 플라즈마를 발생시키는 수단을 더 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 21

제14항에 있어서, 상기 처리실 내의 압력을 상승시키기 위해서 배기 조정 밸브의 개방비를 감소시킨 후에 상기 방전 개시 단계에서 플라즈마를 발생시키는 수단을 더 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 22

제14항에 있어서, 상기 임피던스 정합 회로는 초기 상태이며, 상기 상태는 상기 제2 고주파 전력중 반사된 전력이 플라즈마 처리 단계에서 최소값을 취하는 상태로 설정되는 플라즈마 처리 장치.

청구항 23

제14항에 있어서, 상기 방전 제어 장치는 상기 방전 개시 단계, 조정 단계, 및 플라즈마 처리 단계를 열거된 순서로 자동적으로 행하도록 제어하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 24

제14항에 있어서, 상기 방전 개시 단계에 공급된 제2 고주파 전력의 크기를 상기 플라즈마 처리 단계에 공급된 제2 고주파 전력의 크기의 10%이하로 제어하는 수단을 더 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 25

제14항에 있어서, 상기 제1 고주파 전력을 공급하는 수단은 마이크로파 주파수 및 VHF 주파수중 하나를 갖는 고주파 전력을 공급하는 수단을 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 26

제14항에 있어서, 상기 제2 고주파 전력을 공급하는 수단은 RF 주파수를 갖는 고주파 전력을 공급하는 수단을 포함하는 플라즈마 처리 장치.

청구항 27

제14항에 있어서, 상기 제1 고주파 전력을 공급하는 수단은 복수의 어플리케이터 (applicators)를 갖는 플라즈마 처리 장치.

청구항 28

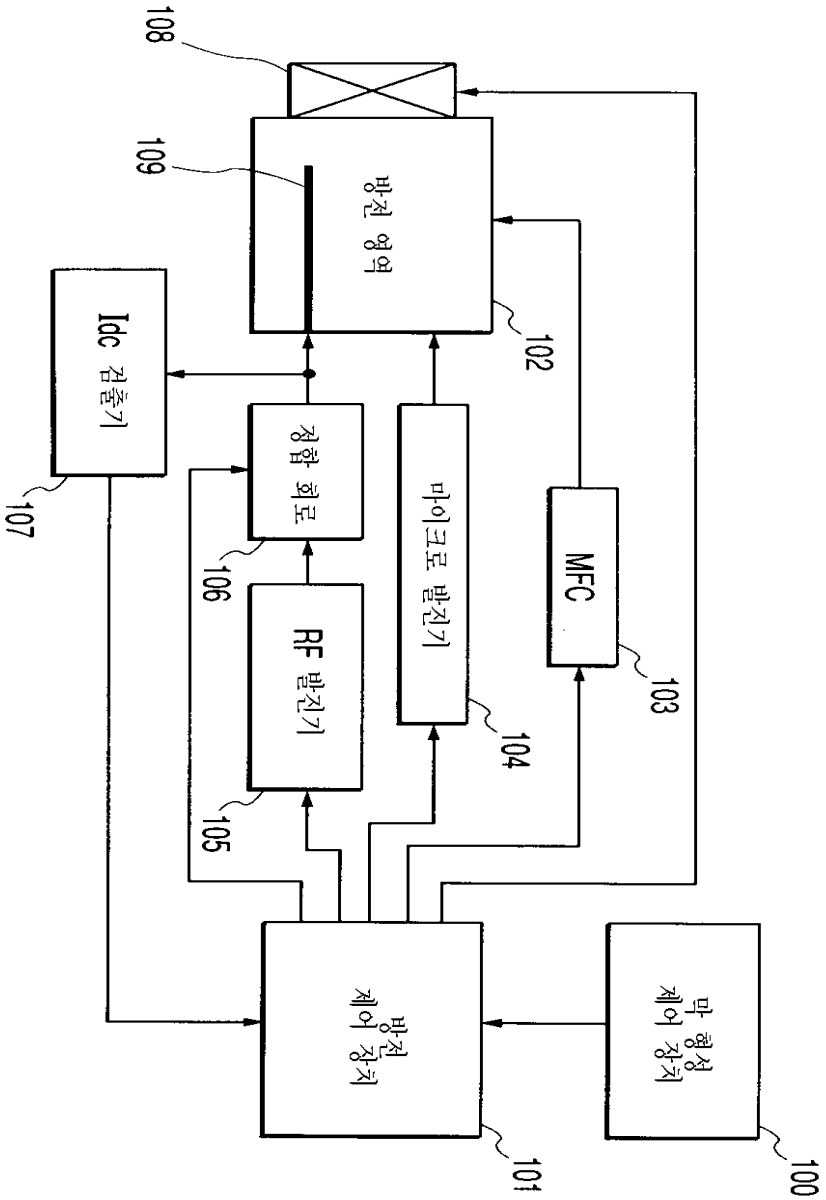
제14항에 있어서, 상기 제1 고주파 전력을 공급하는 수단은 안테나를 갖는 플라즈마 처리 장치.

청구항 29

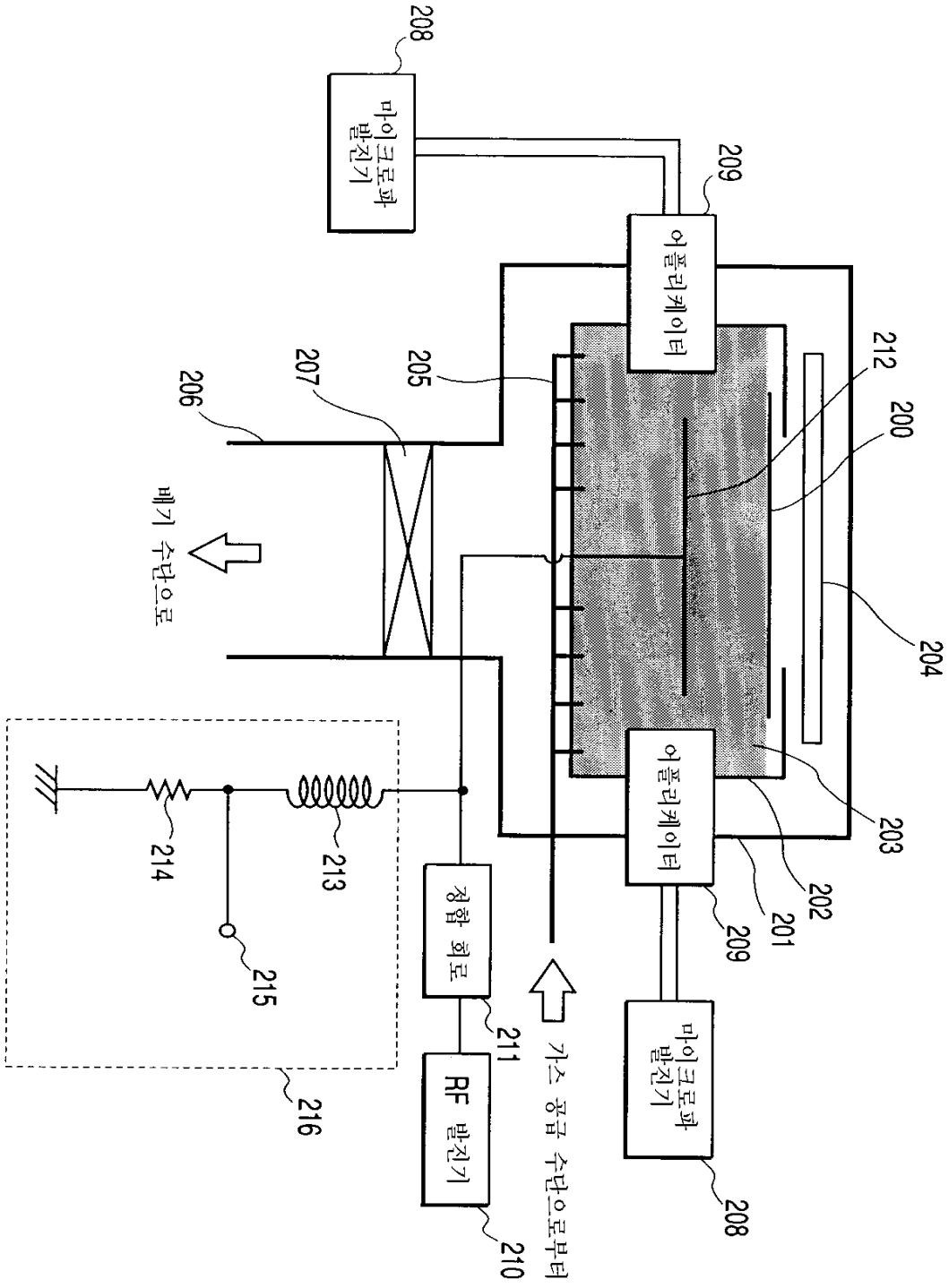
청구항 14의 플라즈마 처리 장치를 적어도 하나 포함하는 복수의 플라즈마 처리 장치가 서로 결합되고, 처리될 밴드형 기판(band-shaped substrate)이 상기 복수의 플라즈마 처리 장치를 통해 연장하는 플라즈마 처리 장치.

도면

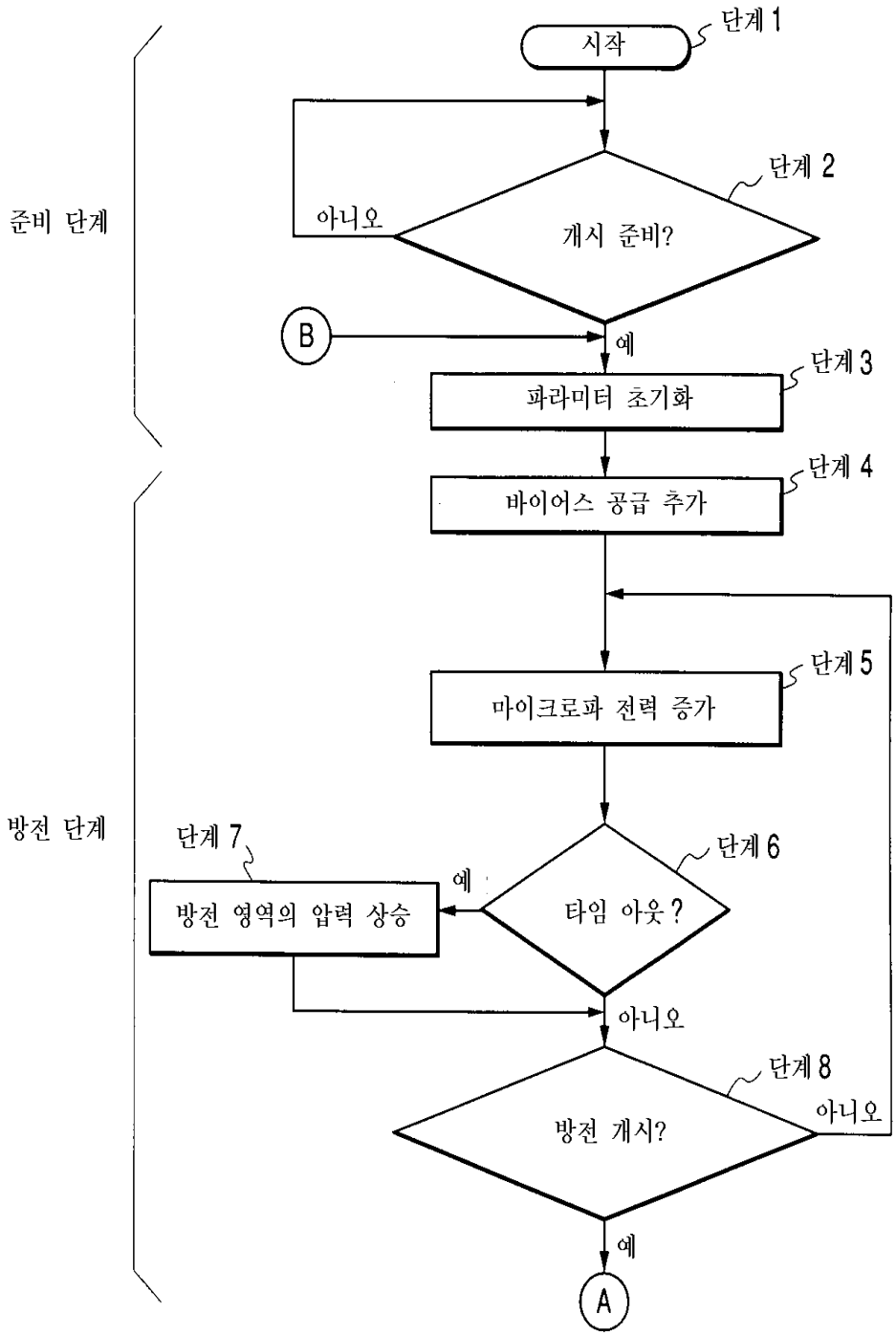
도면1



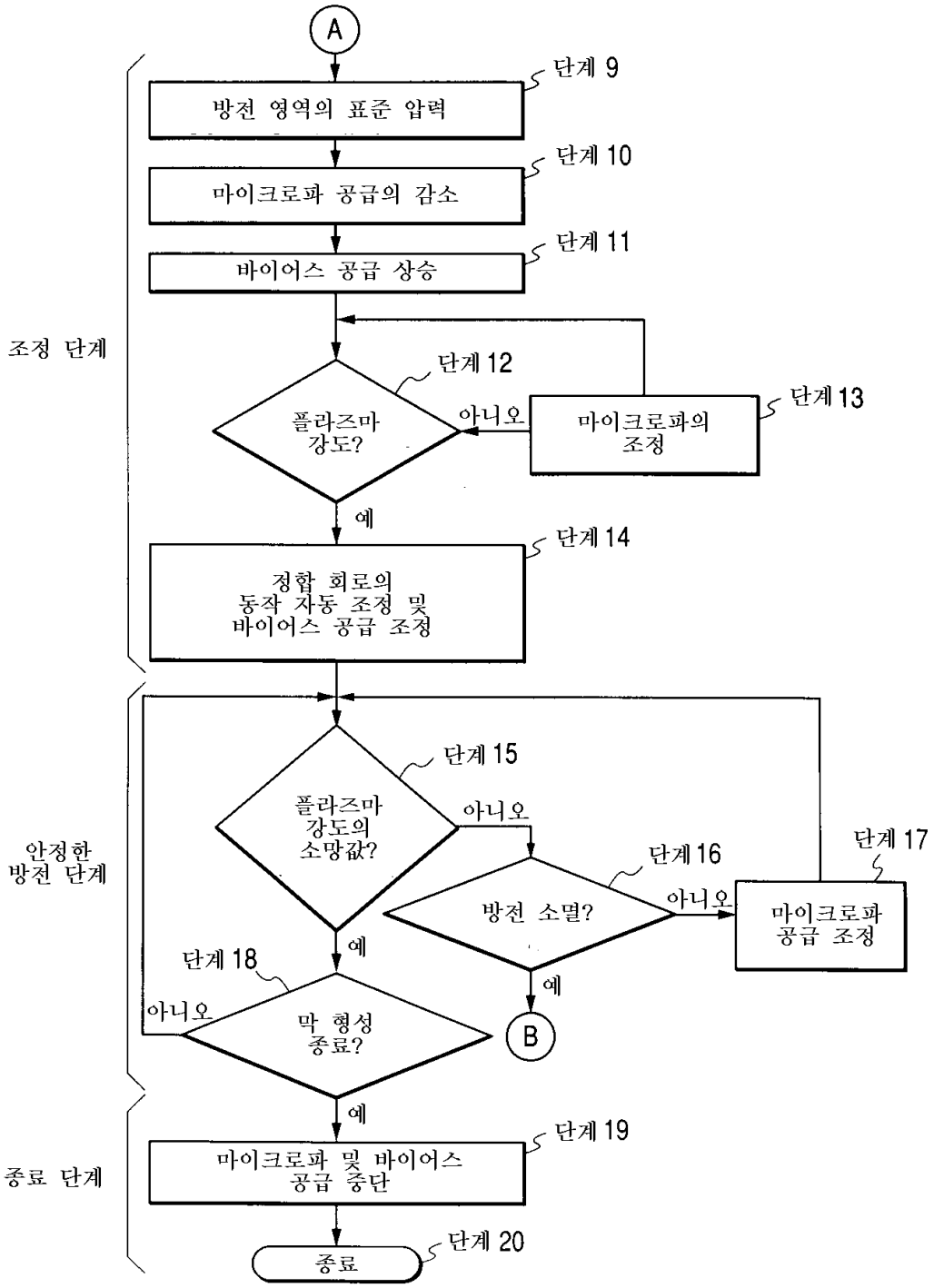
도면2


208
마이크로파 발진기
209
어플리케이터
212
200
205
207
206
204
배기 수단으로
203
어플리케이터
202
201
209
214
213
215
216
정합 회로
211
RF 발진기
210
가스 공급 수단으로부터
마이크로파 발진기
208

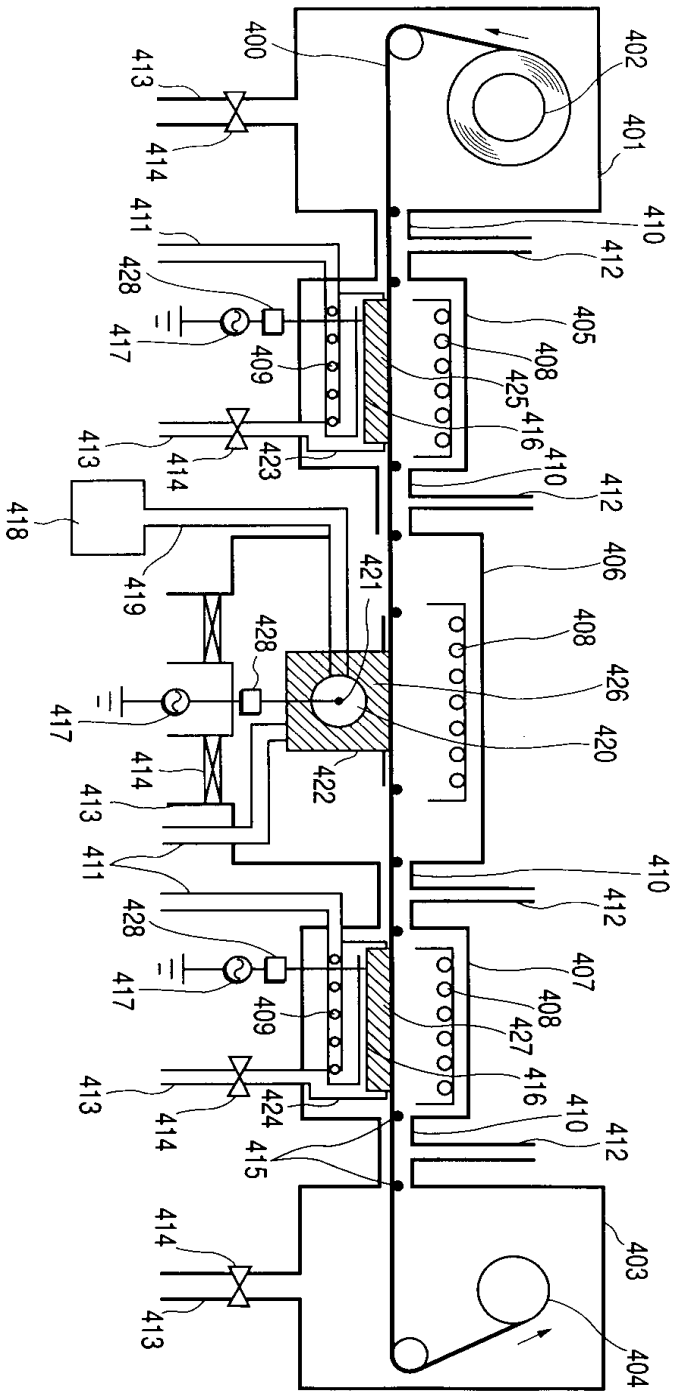
도면3a


준비 단계
방전 단계
시작
단계 1
단계 2
아니오
개시 준비?
B
예
단계 3
파라미터 초기화
단계 4
바이어스 공급 추가
단계 5
마이크로파 전력 증가
단계 7
방전 영역의 압력 상승
예
단계 6
타임 아웃?
아니오
단계 8
방전 개시?
아니오
예
A

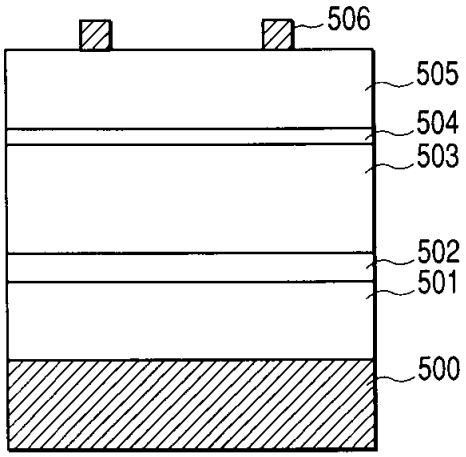
도면3b


A
단계 9
방전 영역의 표준 압력
단계 10
마이크로파 공급의 감소
단계 11
바이어스 공급 상승
조정 단계
단계 12
플라즈마 강도?
아니오
단계 13
마이크로파의 조정
예
단계 14
정합 회로의 동작 자동 조정 및 바이어스 공급 조정
단계 15
플라즈마 강도의 소망값?
아니오
단계 16
방전 소멸?
아니오
단계 17
마이크로파 공급 조정
안정한 방전 단계
예
단계 18
막 형성 종료?
아니오
B
예
종료 단계
단계 19
마이크로파 및 바이어스 공급 중단
단계 20
종료

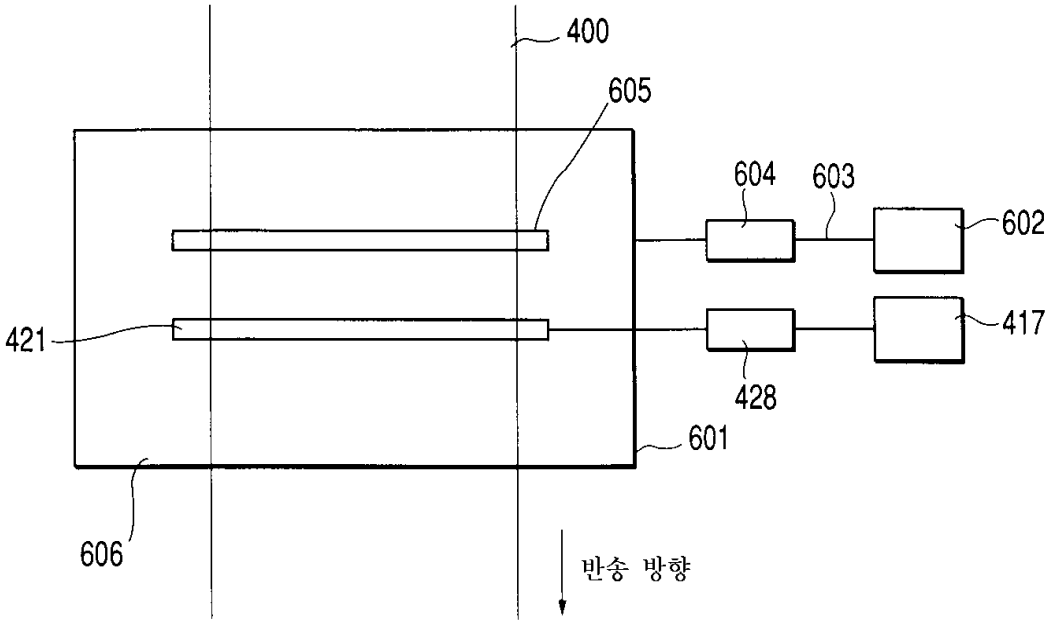
도면4


400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428

도면5


506
505
504
503
502
501
500

도면6


400
605
604
603
602
421
417
428
601
606
반송 방향