



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0089752  
(43) 공개일자 2012년08월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H05H 1/46 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2012-7015719  
(22) 출원일자(국제) 2010년11월18일  
심사청구일자 없음  
(85) 번역문제출일자 2012년06월18일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/057274  
(87) 국제공개번호 WO 2011/063146  
국제공개일자 2011년05월26일  
(30) 우선권주장  
12/905,940 2010년10월15일 미국(US)  
61/262,505 2009년11월18일 미국(US)

(71) 출원인  
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드  
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애  
브뉴 3050  
(72) 발명자  
루보미르스키, 디미트리  
미국 95014 캘리포니아 쿠퍼티노 펠튼 웨이 10540  
양, 장규  
미국 95138 캘리포니아 샌어제이 스페니쉬 베이  
코트 1960  
(73) 권리자  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
남상선

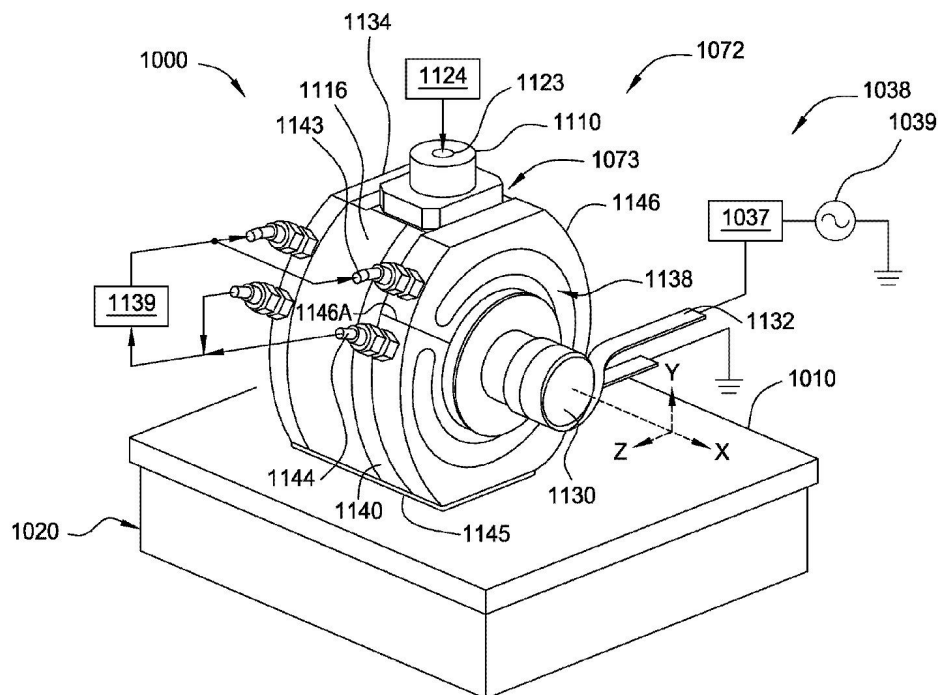
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 플라즈마 소스 디자인

(57) 요약

본 발명의 실시예는 일반적으로 전자기 에너지 소스의 사용에 의해 자기 코어 요소의 둘레에 대칭적으로 배치되는 플라즈마 발생 영역에 라디칼 및/또는 가스 이온을 발생시킬 수 있는 플라즈마 소스 장치와 그 사용 방법을 제공한다. 일반적으로, 플라즈마 발생 영역 및 자기 코어의 배향과 형상으로 인해 플라즈마 발생 영역에 배치된 가스에 전달된 전자기 에너지의 효과적이고 균일한 결합이 가능해진다. 일반적으로, 플라즈마 발생 영역에 형성된 플라즈마의 개선된 특성은 기판상에서 수행되거나 또는 플라즈마 발생 영역의 하류에 배치된 프로세싱 챔버의 일부상에서 수행되는 증착, 에칭 및/또는 세정 프로세스를 개선시킬 수 있다.

대표도



(72) 발명자

**밀러, 매튜 엘.**

미국 94555 캘리포니아 프레몬트 솔즈베리 코트  
3114

**핀슨, 제이 디., 3세**

미국 95120 캘리포니아 샌어제이 퀸즈우드 웨이  
6879

**추크, 키엔 앤.**

미국 95014 캘리포니아 쿠파티노 테라 벨라 드라이브  
11247

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스로서,

제 1 단부, 제 2 단부, 및 코어 요소 중심 축선을 갖는 코어 요소,

환형의 제 1 플라즈마 발생 영역을 적어도 부분적으로 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 표면을 갖는 제 1 플라즈마 블록, 그리고

상기 코어 요소의 일부의 위에 배치되는 코일을 포함하며,

상기 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역은 코어 요소의 제 1 부분의 둘레에 배치되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 프로세싱 챔버의 벽을 더 포함하며,

상기 프로세싱 챔버의 벽은 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역과 유체소통되는 제 1 입구, 그리고 코어 요소의 제 2 부분의 둘레에 배치되는 환형의 제 2 플라즈마 발생 영역과 유체소통되는 제 2 입구를 가지며, 상기 제 1 및 제 2 입구는 프로세싱 챔버의 프로세싱 영역과 모두 유체소통되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 코어 요소의 제 1 부분은 제 1 직경을 갖고, 코어 요소의 제 2 부분은 제 2 직경을 가지며, 상기 제 1 직경 및 제 2 직경은 상이한

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

입구 및 출구를 갖는 하우징, 그리고 열교환 조립체를 더 포함하고,

상기 하우징의 내부 영역내에 코어 요소가 배치되며, 상기 열교환 조립체는 온도제어된 유체가 하우징의 입구, 내부 영역 및 출구를 통해 흐르게 하도록 구성되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 코어 요소를 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역에 대해 이동시키도록 구성되는 액추에이터를 더 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 플라즈마 블록은 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ ), 알루미늄 질화물( $AlN$ ), 베릴륨 산화물( $BeO$ ), 붕소 질화물( $BN$ )로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 재료를 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 코일은 제 1 단부에서 또는 상기 제 1 단부와 제 2 단부 사이에 배치되는 중간 위치에서 코어 요소의 일부의 위에 배치되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 코어 요소와 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역 사이에 배치되는 복수의 영구 자석을 더 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 코일에 결합되는 RF 전력 소스, 그리고 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역의 적어도 일부의 둘레에 배치되고 DC 전력 소스에 결합되는 플라즈마 재분포 코일을 더 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 코어 요소는 바아 형상을 갖는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역에 인접하여 배치되는 전극, 그리고

코일 및 전극에 전기적으로 결합되는 제 1 전력 소스를 더 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 12

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스로서,

제 1 단부, 제 2 단부, 및 코어 요소 중심 축선을 포함하는 코어 요소,

환형의 제 1 플라즈마 발생 영역을 적어도 부분적으로 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 표면을 갖는 제 1 플라즈마 블록,

환형의 제 2 플라즈마 발생 영역을 적어도 부분적으로 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 표면을 갖는 제 2 플라즈마 블록, 그리고

상기 코어 요소의 일부의 위에 배치되는 코일을 포함하며,

상기 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역은 코어 요소의 제 1 부분의 둘레에 배치되고 상기 코어 요소 중심 축선과 일반적으로 일치하는 중심 축선을 가지며,

상기 환형의 제 2 플라즈마 발생 영역은 코어 요소의 제 2 부분의 둘레에 배치되고 상기 코어 요소 중심 축선과 일반적으로 일치하는 중심 축선을 갖는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 제 1 플라즈마 블록의 표면에 결합되는 냉각관을 더 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 14

제 12 항에 있어서,

상기 제 1 플라즈마 블록에 형성되는 제 1 가스 출구, 그리고 상기 제 2 플라즈마 블록에 형성되는 제 2 가스 출구를 더 포함하며;

상기 제 1 가스 출구는 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역에 형성되는 가스 라디칼을 수용하고 상기 가스 라디칼을 프로세싱 챔버의 프로세싱 영역에 전달하도록 구성되며,

상기 제 2 가스 출구는 환형의 제 2 플라즈마 발생 영역에 형성되는 가스 라디칼을 수용하고 상기 가스 라디칼을 프로세싱 챔버의 프로세싱 영역에 전달하도록 구성되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 15

제 12 항에 있어서,

입구 및 출구를 갖는 하우징, 그리고 열교환 조립체를 더 포함하고,

상기 하우징의 내부 영역내에 코어 요소가 배치되며, 상기 열교환 조립체는 온도제어된 유체가 하우징의 입구, 내부 영역 및 출구를 통해 흐르게 하도록 구성되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 16

제 12 항에 있어서,

상기 코어 요소를 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역에 대해 이동시키도록 구성되는 액추에이터, 그리고

환형의 제 1 플라즈마 발생 영역에 대해 코어 요소의 위치를 자동으로 조정하도록 구성되는 시스템 제어기를 더 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 17

제 12 항에 있어서,

상기 제 1 플라즈마 블록 및 제 2 플라즈마 블록은 각각 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ ), 알루미늄 질화물( $AlN$ ), 베릴륨 산화물( $BeO$ ), 및 붕소 질화물( $BN$ )로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 재료를 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 18

제 12 항에 있어서,

상기 코일은 제 1 단부에서 또는 상기 제 1 단부와 제 2 단부 사이에 배치되는 중간 위치에서 코어 요소의 일부의 위에 배치되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 19

제 12 항에 있어서,

상기 코어 요소의 일부의 위에 배치되는 코일에 결합되는 RF 전력 소스, 그리고

환형의 제 1 플라즈마 발생 영역의 적어도 일부의 둘레에 배치되고 DC 전력 소스에 결합되는 플라즈마 재분포 코일을 더 포함하는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 20

활동적인 가스 원자 형성 방법으로서,

제 1 플라즈마 블록의 하나 또는 둘 이상의 표면에 의해 적어도 부분적으로 둘러싸이며 코어 요소의 일부의 둘레에 배치되는 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역에 프로세스 가스를 흐르게 하는 단계, 그리고

상기 코어 요소의 일부의 둘레에 권취된 코일에 RF 전력을 전달함으로써 상기 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역에 플라즈마를 발생시키는 단계를 포함하는,

활동적인 가스 원자 형성 방법.

#### 청구항 21

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스로서,

제 1 단부, 제 2 단부, 및 코어 요소 중심 축선을 갖는 코어 요소,

환형의 제 1 플라즈마 발생 영역을 적어도 부분적으로 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 표면을 갖는 제 1 플라즈마 블록,

상기 코어 요소의 제 1 부분 위에 배치되는 제 1 코일, 그리고

상기 코어 요소의 제 2 부분 위에 배치되는 제 2 코일을 포함하며,

상기 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역은 코어 요소의 제 1 부분의 둘레에 배치되고, 상기 제 1 플라즈마 블록은 코어 요소의 제 1 부분과 코어 요소의 제 2 부분 사이에 배치되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 제 1 코일 및 제 2 코일은 RF 전력 소스에 직렬로 연결되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 23

제 21 항에 있어서,

상기 제 1 코일 및 제 2 코일은 RF 전력 소스에 병렬로 연결되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 24

제 21 항에 있어서,

상기 제 1 코일 및 제 2 코일은 동일한 방향으로 코어 요소의 둘레에 권취되는

프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

#### 청구항 25

제 21 항에 있어서,

상기 제 1 플라즈마 블록은 제 1 코일과 제 2 코일 사이에 대칭적으로 배치되는  
프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스.

## 명세서

### 기술분야

[0001] 본 발명의 실시예는 일반적으로 플라즈마 프로세싱 시스템과 재료 및 플라즈마 프로세싱 시스템의 플라즈마 균일도를 제어하기 위한 장치에 관한 것이다.

### 배경기술

[0002] 플라즈마 프로세싱 챔버는 에칭 프로세스, 화학적 기상 증착(CVD) 프로세스, 및 기관상의 전자 디바이스의 제조와 관련된 다른 프로세스와 같은 다양한 전자 디바이스 제조 프로세스에 정기적으로 사용된다. 종래의 플라즈마 챔버에 통상적으로 사용되는 용량결합된 또는 유도결합된 RF 소스와 같이, 프로세싱 챔버 내에서 플라즈마 밀도, 형상 및 전기 특성을 발생시키고 및/또는 제어하는데 많은 방법들이 사용되어 왔다. 예를 들어, 플라즈마의 도움을 받는 화학적 기상 증착 프로세스 동안, 프로세싱 가스는 프로세스 키트(kit)에 의해 구획되는(circumscribed) 반도체 기관 위에 배치되는 용량결합된 샤워헤드(showerhead)를 통해 프로세싱 챔버내로 도입된다. 일단 PECVD 챔버에 플라즈마가 형성되면, 플라즈마 및 프로세스 가스(들)는 그 위에 원하는 재료층을 증착하기 위해 기관과 상호작용한다.

[0003] 발생된 플라즈마가 기관 표면 위에 배치되는 종래의 플라즈마 프로세싱 챔버 디자인은 플라즈마에 형성된 전자 및 이온과 기관 표면과의 상호작용으로 인해 기관 표면에 원치않는 스퍼터링 및 손상을 유발시킬 수 있다. 발생된 플라즈마에 노출되는 전기적으로 접지된 부품과 플로팅(floating)은 일반적으로 순전하(net charge)를 축적할 것이다. 형성된 순전하는 플라즈마에 형성된 전자 및/또는 이온이 기관 또는 챔버 부품의 노출된 표면에 충격을 가하여(bombard) 손상을 입힐 수도 있게 한다. 따라서, 일부 적용예에 있어서, 챔버 부품 또는 기관의 표면에 활동적으로(energetically) 충격을 가하지 않으면서, 기관 표면 또는 챔버 부품의 표면과 용이하게 반응하여 반응 속도를 향상시키기에 충분한 에너지를 갖는 가스 라디칼(radical)을 형성하는 것이 바람직한데, 그 이유는 이온화되지 않은 가스 라디칼이 기관 또는 부품 표면에 형성된 전하에 의해 영향을 받지 않기 때문이다.

[0004] 따라서, 기관 및 챔버 부품과의 플라즈마 상호작용을 방지하거나 최소화하기 위해, 원격 플라즈마 소스(RPS) 디자인이 사용되어 왔다. 전형적인 원격 플라즈마 소스 디자인은 기관이 배치되는 프로세싱 챔버의 프로세싱 영역으로부터 원격으로 배치되는 플라즈마 발생 영역을 포함한다. 이 방법으로, RPS 디바이스의 플라즈마 발생 영역에 발생된 플라즈마는 일반적으로 기관 표면과 상호작용하지 않을 것이다.

[0005] 그러나, 통용하고 있는 종래의 RPS 디자인은 전형적으로 마이크로파와, 협소한 플라즈마 발생 영역을 갖는 용량결합된 또는 유도결합된 에너지 소스를 활용하고 있으며, 이것은 이들 디바이스로 하여금 원하는 플라즈마 프로세싱 윈도우(window)보다 작은 플라즈마 프로세싱 윈도우를 갖게 할 것이며, 이러한 작은 플라즈마 프로세싱 윈도우는 종래의 RPS 디바이스의 플라즈마 발생 영역에 형성되는 형성된 가스 라디칼 및 가스 이온의 에너지의 범위를 제한한다. 발행된 미국 특허 제6,150,628호의 도 3인 도 1에 도시된 바와 같은 일 예에 있어서, 종래의 RPS 디자인은 일반적으로 제 1 및 제 2 코어(104, 106)로의 에너지의 전달에 의해 플라즈마가 발생하는 금속 플라즈마 챔버(100)의 영역(112, 114)을 포함할 것이다. 본 기술분야의 숙련자라면 플라즈마가 형성되는 종래의 RPS 디자인의 영역으로 전달되는 전자기 에너지가 균일하지 않을 것이며 플라즈마 발생 디바이스(들)(즉, 코일)가 배치되는 영역 "PR"(도 1)에서 높은 활성화도 또는 "핫 스팟(hot spot)"을 가질 것임을 인식할 것이다. 영역(112, 114)의 다른 모든 부분은 플라즈마 유도 요소(예를 들어, 제 1 및 제 2 코어(104, 106))에 대한 그들의 거리 및 위치로 인해, "PR" 영역들의 바깥쪽에 미약한 또는 존재하지 않는 전력 결합(power coupling)을 가질 것이다. 도 1에 개략적으로 도시된 바와 같이, 종래의 RPS 디자인은 전통적으로 플라즈마 발생 영역의 일부를 에워싸는 폐쇄된 투자성(透磁性; magnetically permeable) 코어의 둘레에 감기는(wrapped) 권선을 갖는 폐쇄 루프 RF 소스 구성을 사용한다. 영역 "PR"에 대한 코어(104, 106)의 위치 및 형상에 의해 집중되는 발생된 필드(field)는 상대적으로 작은 면적을 가지며, 종래의 RPS 디바이스를 통해 흐르는 가스에 RF 에너지를 전달하기에는 매우 제한된 시간을 갖는다. 따라서, 작은 플라즈마 발생 영역을 갖는 종래의 RPS 디자인은 형성된 가스 라

디칼 및/또는 가스 이온의 에너지를 발생 및/또는 제어하기에는 매우 제한된 능력을 갖는다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0006] 에너지 결합 효율 문제를 해결하기 위해, 전형적으로 RPS 디바이스 제조자는 일반적으로 발생된 플라즈마를 그 내부에 더욱 용이하게 형성 및 지속시키기 위해, 플라즈마 발생 영역을 통해 음전기(electro-negative) 타입 가스(예를 들어, 암모니아( $\text{NH}_3$ )) 및 양전기(electro-positive) 타입 가스(예를 들어, 아르곤( $\text{Ar}$ ))를 동시에 흐르게 할 것이다. 그러나, 일부 경우에는 프로세싱 속도나 플라즈마 프로세싱 결과를 개선시키기 위해 단지 단일의 음전기 가스 또는 단일의 양전기 가스를 전달하는 것이 바람직하다. 또한, 플라즈마 발생 영역의 압력이 낮은(예를 들어,  $< 200\text{m Torr}$ ) 곳과 같은, 낮은 플라즈마 임피던스를 갖는 체계(regimes) 내에 플라즈마를 형성 및 지속시키는 것이 종종 바람직하다. 플라즈마 에너지를 프로세싱 가스에 비효율적으로 결합하는 종래의 RPS 디자인은 현재 반도체 프로세싱 산업의 요구를 충족시킬 수 없다. 따라서, 전달된 RF 에너지를 프로세싱 가스에 더욱 효과적으로 결합하고, 보다 넓은 프로세스 윈도우를 가지며, 보다 광범위한 플라즈마 임피던스로 작업할 수 있는 RPS 디자인이 요망되고 있다.
- [0007] 또한, RPS 디바이스의 플라즈마 발생 영역에 플라즈마를 형성하기 위해 종래의 RPS 디자인은 전환식(switching) 전력 공급부를 사용하는 것이 전형적이다. 종래의 디자인에서는 전환식 전력 공급부의 사용이 바람직한데, 그 이유는 RPS 디바이스의 플라즈마 발생 영역으로 에너지를 전달하기 위해 전환식 전력 공급부가 라인 절연 회로 또는 임피던스 매칭 네트워크를 요구하지 않기 때문이다. 전환모드의 전력 공급부는 출력 전압이나 전류를 펄스식 또는 듀티사이클(duty cycle) 타입 전달 구성으로 조정함으로써, 전달된 RF 에너지를 조절한다. 그러나, RPS 디자인에서 전환식 전력 공급부의 사용은 전달된 RF 에너지를 플라즈마에 효율적으로 결합하기에는 비효과적인 것으로 밝혀졌다. 따라서, RPS 디바이스를 통해 전달되는 가스에 전달된 RF 에너지를 더욱 효율적으로 결합시키는 것이 요망되고 있다.
- [0008] 또한, 종래의 RPS 디자인은 RPS 디바이스의 플라즈마 발생 영역을 둘러싸기 위해 전형적으로 금속 부품을 사용하고 있다. 그러나, RPS 활성화 가스(RPS energized gas)에 의한 금속 부품의 공격을 방지하기 위해, 플라즈마 및 활동적인 가스에 노출될 표면에 코팅을 증착(deposit)하는 것이 전형적이다. 전형적으로, RPS 플라즈마에 발생된 매우 활동적인 종(species)에 의한 베이스 알루미늄 표면의 공격을 방지하기 위해 알루미늄 부분상에는 양극산화된 알루미늄 코팅이 사용되어 왔다. 그러나, RPS 디바이스의 플라즈마 형성 영역에 코팅을 사용할 때 상당한 프로세스 결과 드리프트(drift)가 발생할 것임이 밝혀졌다. 프로세스 드리프트는 코팅 다공성 또는 균열과 같은 코팅의 결함을 통해 RPS 여기(RPS excited) 가스와 구조적 금속 부품의 표면과의 상호작용에 의해 생성될 수 있다. 코팅 문제는 가장 통상적으로 사용되는 금속 재료를 공격하려는 경향을 갖는 산화 종(oxidizing species) 또는 불화계(fluorinated) 종을 플라즈마가 함유할 때 특히 문제가 될 수 있다. 따라서, RPS 디바이스에서 발생된 플라즈마를 함유하는 요소의 공격으로 인한 입자 형성 및 프로세스 드리프트를 피하는 RPS 디자인이 요망되고 있다.
- [0009] 또한, 본 기술분야에서 프로세싱 비용 또는 하드웨어 비용을 상당히 증가시키지 않고, 플라즈마 균일도를 더욱 효과적으로 발생시키고 제어하며, 보다 큰 프로세싱 윈도우를 갖는 장치 및 프로세스에 대한 필요성이 존재한다.
- ### 과제의 해결 수단
- [0010] 본 발명의 실시예는 일반적으로 프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스를 제공하며, 상기 플라즈마 소스는 제 1 단부와 제 2 단부 및 코어 요소 중심 축선을 갖는 코어 요소와, 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역을 적어도 부분적으로 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 표면을 갖는 제 1 플라즈마 블록과, 그리고 상기 코어 요소의 일부의 위에 배치되는 코일을 포함하며, 상기 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역은 코어 요소의 제 1 부분의 둘레에 배치된다.
- [0011] 또한, 본 발명의 실시예는 프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스를 제공할 수 있으며, 상기 플라즈마 소스는 제 1 단부, 제 2 단부, 및 코어 요소 중심 축선을 갖는 코어 요소와, 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역을 적어도 부분적으로 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 표면을 갖는 제 1 플라즈마 블록과, 환형의 제 2 플라즈마 발생 영역을 적어도 부분적으로 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 표면을 갖는 제 2 플라즈마 블록과, 그리고 상기 코어 요소의 일부의 위에 배치되는 코일을 포함하며; 상기 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역은 코어 요소의 제 1 부분의



둘레에 배치되고 일반적으로 상기 코어 요소 중심 축선과 일치하는 중심 축선을 가지며, 상기 환형의 제 2 플라즈마 발생 영역은 코어 요소의 제 2 부분의 둘레에 배치되고 일반적으로 상기 코어 요소 중심 축선과 일치하는 중심 축선을 갖는다.

[0012] 또한, 본 발명의 실시예는 활동적인 가스 원자를 형성하는 방법을 제공할 수 있으며; 상기 방법은 제 1 플라즈마 블록의 하나 또는 둘 이상의 표면에 의해 적어도 부분적으로 둘러싸이며 코어 요소의 일부의 둘레에 배치되는 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역내로 프로세스 가스를 흐르게 하는 단계와, 그리고 상기 코어 요소의 일부의 둘레에 권취된 코일에 RF 전력을 전달함으로써 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역에 플라즈마를 발생시키는 단계를 포함한다.

[0013] 다른 양태에 있어서, 기판을 플라즈마 프로세싱하기 위한 복수의 플라즈마 제어 디바이스를 갖는 플라즈마 챔버가 제공된다. 복수의 플라즈마 제어 디바이스 각각은 내측링과 외측링 및 상기 내측링과 외측링 사이에 플라즈마 발생 영역을 한정하기 위하여 상기 내측링과 외측링을 결합하는 축관을 갖는 플라즈마 블록과, 상기 외측링의 일부를 통해 형성되며 제 1 외부 가스 소스에 연결되는 가스 입구와, 상기 외측링의 일부를 통해 형성되며 기판이 내부에 배치되는 플라즈마 챔버내의 프로세싱 영역과 유체소통되는 가스 출구와, 그리고 플라즈마 블록 각각의 내측링을 통해 배치되는 투자성 코어를 포함한다.

[0014] 또한, 본 발명의 실시예는 프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스를 제공할 수 있으며; 상기 플라즈마 소스는 제 1 단부와 제 2 단부 및 코어 요소 중심 축선을 갖는 코어 요소와, 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역을 적어도 부분적으로 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 표면을 갖는 제 1 플라즈마 블록과, 상기 코어 요소의 제 1 부분 위에 배치되는 제 1 코일과, 그리고 상기 코어 요소의 제 2 부분 위에 배치되는 제 2 코일을 포함하며; 상기 환형의 제 1 플라즈마 발생 영역은 코어 요소의 제 1 부분의 둘레에 배치되고, 상기 제 1 플라즈마 블록은 코어 요소의 제 1 부분과 코어 요소의 제 2 부분 사이에 배치된다.

[0015] 본 발명의 상술한 특징이 상세히 이해될 수 있도록, 상기에 간단히 요약된 본 발명의 보다 상세한 설명이 실시예를 참조하여 이루어질 수 있으며, 실시예의 일부가 첨부 도면에 도시되어 있다. 그러나, 본 발명이 다른 동등하게 유효한 실시예를 허용할 수 있으므로, 첨부 도면은 단지 본 발명의 전형적인 실시예만을 도시하고 있으며, 그에 따라 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않음에 유의한다.

## 도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 종래의 원격 플라즈마 소스 디바이스의 횡단면도를 도시한다.

도 2a는 본 발명의 일 실시예에 따른 프로세싱 챔버에 결합되는 플라즈마 소스의 등각도이다.

도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 2a에 도시된 플라즈마 소스의 측단면도이다.

도 2c는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 2a에 도시된 플라즈마 블록의 측단면도이다.

도 2d는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 블록의 측단면도이다.

도 2e는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 블록의 등각도이다.

도 2f는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 소스의 플라즈마 발생 영역에 플라즈마를 형성하는데 사용되는 소스 조립체의 개략적인 측단면도이다.

도 2g는 본 발명의 일 실시예에 따른 코어 요소의 둘레에 권취된 둘 또는 셋 이상의 코일을 갖는 플라즈마 소스의 측단면도이다.

도 2h는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 소스에 사용될 수 있는 코어 요소의 단면 형상의 3개의 예를 도시한다.

도 2i는 본 발명의 일 실시예에 따른 소스 조립체의 개략적인 측단면도이다.

도 2j는 본 발명의 일 실시예에 따른 소스 조립체의 개략적인 측단면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 블록의 등각 횡단면도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 발생 영역의 적어도 일부의 둘레에 권취된 코일을 갖는 플라즈마 제어 디바이스의 측단면도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 프로세스 챔버에 결합되는 2개의 플라즈마 제어 디바이스를 갖는 플라즈마 챔버의 개략적인 횡단면도를 도시한다.

도 6a 및 도 6b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 프로세스 챔버에 결합되는 적어도 3개의 플라즈마 제어 디바이스를 갖는 플라즈마 챔버의 개략적인 횡단면도이다.

도 7a는 본 발명의 다른 실시예에 따른 온도제어된 코어 요소를 갖는 플라즈마 챔버의 측단면도이다.

도 7b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 도 7a에 도시된 온도제어된 코어 요소의 일부의 측단면도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 본 발명의 실시예는 일반적으로 전자기 에너지 소스의 사용에 의해 자기 코어 요소의 둘레에 대칭적으로 배치되는 플라즈마 발생 영역에 라디칼 및/또는 가스 이온을 발생시킬 수 있는 플라즈마 소스 장치와, 이를 사용하는 방법을 제공한다. 일반적으로, 플라즈마 발생 영역 및 자기 코어의 배향 및 형상으로 인해 플라즈마 발생 영역에 배치되는 가스로 전달된 전자기 에너지의 효과적이고 균일한 결합이 가능해진다. 여기에 개시되는 플라즈마 소스의 구성으로 인해, 자기 코어로 전달된 전자기 에너지는 현재 시장에서 발견되는 종래의 플라즈마 소스 디자인보다 가스 라디칼 및/또는 가스 이온을 더욱 효율적으로 형성할 수 있고, 가스 라디칼 및/또는 가스 이온을 형성하는데 보다 넓은 프로세스 윈도우를 제공할 수 있으며, 그리고 보다 넓은 범위의 가스 라디칼 에너지 및/또는 이온 밀도를 형성할 수 있는 것으로 여겨진다. 일반적으로, 플라즈마 발생 영역에 형성된 플라즈마의 개선된 특징은 기판 또는 플라즈마 발생 영역의 하부에 배치되는 프로세싱 챔버의 일부상에서 수행되는 증착, 에칭 및/또는 세정 프로세스를 개선시킬 수 있다.
- [0018] 도 2a는 플라즈마 소스(1000)에서 발견되는 플라즈마 제어 디바이스(1072)의 플라즈마 발생 영역(1118)(도 2b)에 형성된 가스 라디칼 및/또는 가스 이온이 프로세스 챔버(1020)의 프로세싱 영역(1128)(도 2b)으로 전달될 수 있도록, 프로세스 챔버(1020)에 결합되는 플라즈마 소스(1000)의 일 실시예의 등각도이다. 플라즈마 발생 영역(1118)에 형성된 가스 라디칼 및/또는 가스 이온은 그 후 프로세스 챔버 부품 및/또는 그 내부에 배치된 기판상에서 수행되는 증착, 에칭 및/또는 세정 프로세스(들)를 향상시키는데 사용된다. 도 2b는 코어 요소(1130)의 중심 축선(1130S)을 통과하는 X-Y 평면(도 2a)을 따라 플라즈마 소스(1000)를 절단함으로써 형성되는 도 2a에 도시된 플라즈마 소스(1000)의 횡단면도이다. 이 구성에 있어서, 플라즈마 소스(1000)는 여기에 서술되는 하나 또는 둘 이상의 실시예를 실행하는데 유용한 플라즈마 제어 디바이스(1072) 및 프로세스 챔버(1020)를 포함한다. 일부의 플라즈마 소스 구성에 있어서, 프로세스 챔버(1020)의 프로세싱 영역(1128)에 배치되는 기판 또는 챔버 부품에 대한 플라즈마 발생 영역(1118)의 구성 및/또는 위치조정(positioning)으로 인해, 플라즈마 발생 영역(1118)(예를 들어, 도 2b 내지 도 2d의 참조번호 "A")으로부터 확산되는 하전된 종(예를 들어, 이온, 전자)의 양은 프로세싱 중에 기판 또는 챔버 부품에 바람직하게 최소한으로만 도달하여 그와 상호작용할 것이다. 또한, 플라즈마 발생 영역(1118)으로부터 프로세싱 영역(1128)으로의 가스 라디칼 및/또는 가스 이온의 확산 또는 플럭스(flux)는 가스 소스(1124)로부터 플라즈마 발생 영역(1118)을 통해 프로세싱 압력 및/또는 가스 원자의 흐름을 조정함으로써 제어될 수 있다. 그러나, 일부 경우에 있어서 플라즈마 소스(1000)는 에칭 또는 CVD 타입 증착 프로세스를 더욱 촉진시키기 위해 프로세스 챔버(1020)의 프로세싱 영역(1128)에 배치되는 기판의 표면과 소량의 하전된 종과의 상호작용이 발생하도록 형성된다.
- [0019] 도 2b에 도시된 바와 같이, 프로세스 챔버(1020)는 챔버 측벽(1005) 및 챔버 뚜껑(1010)과 같은 프로세싱 영역(1128)을 밀봉가능하게 둘러싸는 하나 또는 둘 이상의 벽을 갖는 챔버 본체(1021)를 포함할 수 있다. 일부 구성에 있어서, 기판(1030)을 지지하는데 사용되는 기판 받침대(1015)는 챔버 뚜껑(1010)에 형성되는 입구(1011)에 인접하여 배치된다. 일반적으로, 입구(1011)는 플라즈마 소스(1000)의 플라즈마 발생 영역(1118)과 유체소통된다. 일부 실시예에서, 샤워헤드 조립체(1027)는 샤워헤드 조립체(1027)에 형성된 구멍(1026)을 통해 기판(1030)의 표면(1031)으로 전달될 플라즈마 발생 영역에 형성된 가스 라디칼 및/또는 가스 이온의 균일한 분포를 제공하기 위해, 입구(1011)와 기판 받침대(1015) 사이에 배치된다. 샤워헤드 조립체(1027)는 전기적으로 접지되거나 플로팅될 수 있으며, 구멍(1026)의 크기 및 밀도는 프로세싱 영역(1128)에 들어가는 가스 라디칼 및/또는 가스 이온의 양 및 균일도를 조정하도록 선택될 수 있다. 온도제어된 기판 받침대(1015)와 기판(1030) 사이의 열전도를 개선시키기 위해 기판(1030)의 후면과 기판 받침대(1015) 사이에 형성된 간극(도시되지 않음)에 아르곤 또는 헬륨과 같은 가스를 공급하도록 후면 가스 공급부(1016)가 또한 제공될 수 있다. 프로세스 가스를 프로세싱 영역(1128) 내로 공급하는 프로세스 가스 공급부(1025)가 사용될 수 있다. 터보 펌프, 러프(rough) 펌프 및/또는 다른 유사한 디바이스를 포함하는 진공 펌프 시스템(1035)은 프로세스 챔버(1020) 및/또는 플라즈

마 소스(1000) 내의 압력을 제어한다. 일 예에 있어서, 프로세싱 중에 프로세싱 영역(1128) 및/또는 플라즈마 발생 영역(1118) 내의 압력은 약 0.5 milliTorr(mT) 내지 약 1 Torr와 같은 진공 압력으로 유지된다. 일부 실시예에서, 플라즈마 제어 디바이스(1072)를 수용하기 위해 실드(shield)(1129)가 챔버 뚜껑(1010) 상에 직접적으로 또는 간접적으로 장착된다. 실드(1129)의 상부는 가스 입구(1120)의 위치에 대응하는 개구(도시되지 않음)를 구비한다. 실드(1129)는 플라즈마 제어 디바이스(1072)에 의해 생성되는 필드의 효과를 감소시키도록 설계되며, 바람직하게는 높은 뮤(Mu) 재료로 제조되어서, 발생한 모든 필드는 실드(1129)의 내부 영역에 유지된다.

[0020] 본 발명의 일부 실시예에서, 플라즈마 제어 디바이스(1072)는 프로세스 챔버(1020)의 챔버 뚜껑(1010) 상에 부착되거나 장착되며, 가스 라디칼 및/또는 이온화된 가스 원자를 발생시켜 프로세스 챔버(1020)의 프로세싱 영역(1128) 내로 도입하도록 구성된다. 플라즈마 제어 디바이스(1072)는 유전 재료(예를 들어, 세라믹 재료)로 제조되는 절연판(1145)에 의해 프로세스 챔버(1020) 내의 부품들로부터 이격되어 있으며 이들로부터 전기적으로 절연될 수 있다. 플라즈마 제어 디바이스(1072)는 일반적으로 자기 코어, 또는 이후로는 코어 요소(1130)와, 상기 코어 요소(1130)에 결합되는 소스 조립체(1038)와, 그리고 프로세싱 영역 조립체(1073)를 포함한다. 일반적으로 코어 요소(1130)의 둘레에 대칭적으로 분포되는 플라즈마 발생 영역(1118)은 프로세싱 영역 조립체(1073)에서 발견되는 하나 또는 둘 이상의 부품에 의해 둘러싸일 수 있다. 일 실시예에서, 프로세싱 영역 조립체(1073)는 플라즈마 발생 영역(1118)을 둘러싸는 돔(dome) 부분(1110), 플라즈마 블록(1116), 냉각판(1134), 및 측부 커버(1140)를 포함한다.

[0021] 플라즈마 소스(1000)의 작동중, 기관(1030)은 프로세싱을 위해 프로세스 챔버(1020) 내의 기관 받침대(1015) 상에 배치된다. 그 후, 플라즈마 소스(1000)의 플라즈마 발생 영역(1118)은 진공 펌프 시스템(1035)에 의해 미리 결정된 압력/진공으로 당겨질 수 있다. 일단 미리 결정된 압력이 달성되면, 진공 펌프 시스템(1035)이 플라즈마 소스(1000)를 계속 펌핑하는 동안, 증착, 예칭, 또는 세정 가스(들)가 가스 입구(1120)를 통해 플라즈마 제어 디바이스(1072) 내로 도입되어, 가스 확산기 본체(1122)로부터 플라즈마 발생 영역(1118)을 통해 흐를 수 있으며, 그에 따라 평형 프로세싱 압력이 얻어진다. 프로세싱 압력은 예를 들어 플라즈마 소스(1000)에 대한 진공 시스템의 소통의 교착(throttling)을 통해, 또는 가스 입구(1120)를 통해 플라즈마 소스(1000) 내로 도입되는 프로세스 가스 또는 세정 가스의 유량(flow rate)의 조절을 통해 조절될 수 있다. 일단 압력 및 가스 흐름이 설정되면, 전력 소스가 작동된다. 소스 조립체(1038)와 같은 RF 전력 소스가 코일(1132)에 전기적으로 연결된다. 코일(1132)에 의해 발생한 필드는 가스를 플라즈마 상태로 여자하기 위해 플라즈마 발생 영역(1118)에 배치된 가스에 전달된 에너지를 유도결합시키는 코어 요소(1130) 내의 자기장을 유도적으로 형성한다. 일 실시예에서, 형성된 플라즈마의 라디칼 농도 및 이온 밀도는 코일(1132)에 공급된 전력의 조절을 통해 또는 플라즈마 소스(1000)의 프로세싱 압력의 조절을 통해 증가되거나 감소될 수 있다.

[0022] 도 2b, 2d 및 2e에 도시된 바와 같이, 플라즈마 블록(1116)은 그 내부에 형성된 환형 플라즈마 발생 영역(1118)의 적어도 일부를 갖는 부품을 포함한다. 환형 플라즈마 발생 영역(1118)은 일반적으로 코어 요소(1130) 둘레에 형성된다. 일 실시예에서, 도 2b에 도시된 바와 같이, 환형 플라즈마 발생 영역(1118)은 직사각형 형상의 단면을 갖는다. 그러나, 플라즈마 발생 영역(1118)의 횡단면의 형상은 원형, 타원형 또는 다른 유용한 형상과 같은 임의의 원하는 형상일 수 있으며, 따라서 직사각형 형상의 플라즈마 발생 영역이 여기에 서술된 본 발명의 범위에 관해 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 일 구성에 있어서, 플라즈마 발생 영역(1118)은 플라즈마 블록(1116)에 형성된 내벽(1150), 외벽(1156), 및 측벽(1158)(도 2b)에 의해 적어도 부분적으로 둘러싸인다. 일 실시예에서, 플라즈마 발생 영역(1118)은 종래의 파스너(도시되지 않음)의 사용에 의해 플라즈마 블록(1116)의 벽(1150, 1156, 1158) 및 플라즈마 블록(1116)에 부착된 측부 커버(1140)에 의해 완전히 둘러싸인다. 일 구성에 있어서, 도 2e에 도시된 바와 같이, 환형 플라즈마 발생 영역(1118)이 중심 축선(1116S) 둘레에 형성되는 체적을 포함한다. 일 구성에 있어서, 환형 플라즈마 발생 영역(1118)의 체적은, 출구 포트(1126) 및 입구 포트(1127) 영역의 추가된 체적을 무시하고, 일반적으로 중심 축선(1116S)을 중심으로 회전된 플라즈마 발생 영역의 횡단면(예를 들어, 직사각형 단면)의 영역(area)과 동일하다. 일부 실시예에서, 환형 플라즈마 발생 영역(1118)은 중심 축선(1116S)을 중심으로 완전히 대칭적이거나 또는 실질적으로 대칭적일 수 있다.

[0023] 도 2b에 도시된 바와 같이, 코어 요소(1130)는 일반적으로 플라즈마 블록(1116)의 내벽(1150)의 인접한 표면(1150A) 근처에서 플라즈마 블록(1116)의 일부를 통해 배치된다. 일 양태에 있어서, 코어 요소(1130)는 예를 들어 페라이트 로드와 같은 투자율이 높은 로드나 튜브를 포함하지만, 결합 구조에 따라 다른 자성 재료일 수 있다. 코어 요소(1130)가 형성되는 자성 재료는 일반적으로 다음의 특징들: 1) 높은 인가 주파수에서의 낮은 코어 손실 밀도를 갖고, 2) 높은 퀴리(Curie) 온도를 가지며, 그리고 3) 높은 벌크 비저항(bulk resistivity)을

가질 것이다. 일반적으로, 코어 요소(1130)는 소스 조립체(1038)에서 발견되는 하나 또는 둘 이상의 코일(예를 들어, 코일(1132))을 통한 RF 전류의 흐름에 의해 생성되는 발생된 필드(예를 들어, 자기장)가 우선적으로 흐름 경로를 제공하는데 사용할 수 있는 임의의 재료로 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 코어 요소(1130)는 페라이트 함유 요소를 포함한다. 본 발명에서는 "페라이트 요소" 및 "페라이트 재료"라는 용어가 사용되고 있지만, 이들 용어는 여기에 서술된 본 발명의 범위에 대해 한정하는 것으로 의도되지 않는다. 또한, 일 실시예에서 코어 요소(1130)는 도 2b에 도시된 X 축선과 일치하는 중심 축선(1130S)과 같은 중심 축선을 중심으로 정렬되는 소직경의 실린더 또는 로드의 다발(bundle)을 포함한다.

[0024]

도 2c는 코어 요소(1130)에 자기장(즉, B-필드 "B")을 유도하는 소스 조립체(1038)로부터 에너지를 전달함으로써 플라즈마 발생 영역(1118)에 유도결합된 플라즈마 "P"가 형성되는 본 발명의 일 실시예를 일반적으로 개략적으로 도시하는 도 2b에 도시된 플라즈마 제어 디바이스(1072)의 확대된 횡단면도이다. 따라서, 유도된 자기장은 가스 라디칼 및/또는 이온을 포함할 플라즈마를 형성하기 위해 그 내부에 배치된 가스 원자를 여기된 상태로 여기시키는데 사용되는 플라즈마 발생 영역(1118)에 전기장을 생성한다. 플라즈마 프로세싱 중에, 프로세싱 가스는 플라즈마 블록(1116)의 외벽(1156)에 형성된 입구 포트(1127)를 통해 플라즈마 발생 영역(1118) 내로 전달되며, 여기된 가스 원자는 플라즈마 블록(1116)의 외벽(1156)에 또한 형성되는 출구 포트(1126)를 통해 플라즈마 발생 영역(1118)을 빠져나간다. 따라서, 출구 포트(1126)는 프로세스 챔버(1020)의 프로세싱 영역(1128)에 플라즈마 발생 영역(1118)을 유체결합시킨다. 따라서, 프로세스 챔버(1020)의 프로세싱 영역(1128)에 전달된 가스의 화학 작용은 프로세스 가스 공급부(1124)에 의해 제어될 수 있으며, 가스 원자의 에너지는 (예를 들어, 유량에 비례하는) 플라즈마 발생 영역(1118)에서의 가스 원자 잔류 시간과, 전달된 RF 전력과, 플라즈마 발생 영역(1118)의 가스의 조성물과, 그리고 플라즈마 발생 영역(1118)의 압력에 의해 제어될 수 있다.

[0025]

플라즈마 프로세싱 중에, RF 전류( $I_1$ )(도 2c)는 코어 요소(1130)의 일부의 둘레에 권취되는 코일(1132)을 통해 전달되며, 이는 플라즈마 발생 영역(1118)("+" 및 "-" 참조)을 통과하고 그 내부에 배치된 가스 원자로 하여금 플라즈마 "P"를 형성하게 하는 전기장을 생성하는 코어 요소(1130)를 통해 흐르는 자기장 "B"를 생성한다. 일 실시예에서, 가스가 약 0.5 sccm 내지 약 100 lpm의 유량으로 전달되고 압력이 약 1 mTorr 내지 약 500 Torr에서 유지되는 동안, 코일(1132)에 전달되는 전력은 약 400 kHz의 RF 주파수에서 약 0.1 Watt 내지 약 10 kWatt로 변화할 수 있다. RF 전력 소스에 의해 전달된 전력의 주파수는 약 400 kHz의 주파수로 제한되지 않으며, 적용에 따라 약 10 kHz 내지 40 MHz 초과와 같은 원하는 주파수에서 작동될 수 있는 것이 예상된다. 일부 경우, RF 전력 소스로부터 약 13.56 MHz 미만 또는 그와 동일한 주파수로 RF 전력을 전달하는 것이 바람직하다.

[0026]

여기에 서술된 플라즈마 소스(1000) 구성의 사용에 의해, 종래의 플라즈마 발생 디바이스에 비해 프로세스 윈도우, 활동적인 가스 원자 생성 효율, 및 가스 라디칼 에너지의 범위가 크게 개선될 수 있는 것으로 여겨진다. 투자성 코어 요소(예를 들어, 코어 요소(1130))의 둘레에 대칭적으로 형성되는 둘러싸인 플라즈마 발생 영역(1118)의 사용은 다른 종래의 디자인에 비해 많은 장점을 갖는 것으로 여겨진다. 첫째로, 코어 요소(1130)의 형상과 플라즈마 발생 영역(1118)의 대칭적 배향으로 인해, 도 2c 및 도 2d에 개략적으로 도시된 바와 같이 균일한 밀도를 갖는 플라즈마가 내부에 형성될 수 있다. 대칭적으로 형성된 플라즈마 발생 영역(1118)은 상술한 바와 같이 종래의 RPS 디자인에서 발견되는 공통적인 "핫 스팟" 문제점에 의해 발생하는 효율 문제를 회피하고 RF 에너지를 보다 넓은 영역에 걸쳐 전달함으로써, 전달된 RF 전력의 결합 효율을 개선시키는데 사용된다. 둘째로, 코어 요소(1130) 둘레의 플라즈마 발생 영역(1118)의 대칭적인 형상으로 인해, 정사각형 플라즈마 발생 영역(도 1) 및 국부적인 작은 플라즈마 결합 영역(예를 들어, 도 1의 "PR" 영역)과 같은, 종래의 RPS 디자인에서 발견되는 플라즈마 발생 영역의 상이한 영역들에 불균일한 필드 밀도를 갖는다는 공통적인 문제가 제거된다. 종래의 RPS 디자인에서 발견되는 불균일한 필드 밀도는 라디칼 발생 효율과, 여기된 가스 원자와 플라즈마 발생 영역의 표면의 부분과의 원치않는 상호작용에 영향을 끼칠 수 있다.

[0027]

본 발명의 일부 실시예에 있어서, "개방 루프" 자기장 또는 자기장은 투자성 코어 요소(1130)의 중심 축선 둘레에 총 360°로 균일하게 분포될 수 있으며, 코어 요소(1130)에 대한 코일(1132)의 결합으로 인해 발생된다. 따라서, "개방 루프" 자기장은 플라즈마 발생 영역(1118) 내에 플라즈마 밀도를 균일하게 하는데 도움을 줄 것이다. 일부 실시예에서, 본 발명의 투자성 코어 요소(1130)는 플라즈마가 발생하는 도관을 에워싸는 폐쇄된 투자성 코어의 둘레에 권선 또는 코일 부분이 감기는 종래의 도넛형 플라즈마 챔버 안테나 또는 RPS 디자인에서 전형적으로 보이는 바와 같은 "폐쇄 루프" 디자인 대신에, 플라즈마 블록(1116)을 통해 일반적으로 곧게 연장되는 "개방 루프" 디자인이다. 상술한 바와 같이, 종래의 "폐쇄 루프" 디자인은 폐쇄 루프 코어 요소가 배치되는 도관 둘레의 특정 영역에서만 높은 자기장을 가질 것이다.



[0028] 도 2d는 플라즈마 "P"가 플라즈마 소스(1000)의 부분을 통과하는 필드(B-필드 "B")에 의해 형성되는 플라즈마 블록(1116)에 형성된 플라즈마 발생 영역(1118)의 개략적인 측면면도이다. 도 2d에 도시된 바와 같이, 페이지(page) 내로 흐르는(즉, "-" 표시) 코어 요소(1130)에 형성된 B-필드와 페이지의 외부로 흐르는(즉, "X" 표시) 복귀하는 B-필드는 코어 요소(1130)의 축선을 중심으로 원주방향으로 균일하게 분포된다(예를 들어, 일정한 반경방향 위치에서 360° 균일함). 본 기술분야의 숙련자라면 접지된 챔버 뚜껑(1010)에 대한 플라즈마 제어 디바이스(1072)의 위치 및 플라즈마 발생 영역(1118)에 형성된 플라즈마와 대칭적으로 발생된 필드가 일반적으로 프로세스 챔버(1020)의 프로세싱 영역(1128)의 바깥쪽에 남아 있지만, 발생된 가스 라디칼 및 일부 가스 이온의 프로세싱 영역(1128) 내로의 이동을 허용하여, 이들이 기관 및 프로세스 챔버 부품과 상호작용할 수 있음을 인식할 것이다. 일 실시예에서, 플라즈마 발생 영역(1118)에 발생된 플라즈마가 기관의 표면(1031)과 상호작용하지 않도록 플라즈마 발생 영역(1118)을 기관(1030)으로부터 먼 거리에 배치하는 것이 바람직하며, 이것은 이온 충격 및 손상을 유발시킬 수 있는 상당한 플라즈마 포텐셜 및 플라즈마 시스(sheath)를 기관상에 형성하는 경향이 있을 것이다.

# [0029] 코어 요소 디자인

[0030] 도 2a 내지 도 6b는 일반적으로 둘러싸인 플라즈마 발생 영역에 균일한 플라즈마를 형성하는데 유용한 단일의 코어 요소(1130)를 개략적으로 도시하고 있다. 상술한 바와 같이, 일부 실시예에서 코어 요소(1130)는 단일의 단결정 요소일 필요는 없으며, 발생된 필드(예를 들어, 자기장)가 우선적으로 흐를 것이거나 또는 하기에 서술되는 바와 같이 여러가지 상이한 형상 및 구성으로 형성될 수 있는 경로를 제공하기 위해 함께 다발로 형성되는 일련의 작은 요소들을 포함할 수 있다.

[0031] 일 실시예에서, 도 2a 내지 도 6b에 도시된 바와 같이, 코어 요소(1130)는 플라즈마 블록(1116)을 통해 배치되는 바아(bar) 형상의 요소를 포함한다. 이 구성에 있어서, 코어 요소(1130)는 종래의 디자인에서 통상적으로 발견되는 바와 같이 링, 정사각형, 또는 플라즈마 블록(1116)을 에워싸는 다른 둘러싸인 형상과 대조적으로 바아 형상, 또는 곧은(straight) 길이 형상을 갖는다. 코어 요소의 곧은 바아 형상은 플라즈마 발생 영역(1118)(도 2b)의 이온 밀도를 상당히 개선시키는데, 그 이유는 유도적으로 발생된 필드가 우선적으로 흐르게 될 둘러싸인 코어 요소를 갖지 않기 때문에, 유도적으로 발생된 필드가 전개될 수 있기 때문이다. 따라서, 곧은 바아 형상 코어 요소로부터 발생된 필드는 플라즈마 발생 영역의 작은 영역으로 제한되지 않는다. 따라서, 균일하게 분포된 자기장은 대칭적으로 형성된 플라즈마 발생 영역(1118)을 통해 균일한 플라즈마 밀도를 형성하는 경향이 있을 것이다.

[0032] 일부 구성에 있어서, 코어 요소(1130)는 바아 형상을 취하며, 원형 또는 원통형 횡단면과 같은, 중심 축선(1130S)을 중심으로 규칙적인 또는 대칭적인 횡단면을 갖는다. 일 예에 있어서, 코어 요소(1130)의 횡단면은 원형이며, 약 0.5 인치 내지 약 2 인치의 직경과 약 3 인치 내지 약 20 인치의 길이를 갖는다. 일 예에 있어서, 코어 요소(1130)의 직경(d)에 대한 길이(L)의 비율(L/d)은 약 1.5 내지 약 40, 가령 약 2 내지 약 10이다. 여기에서는 코어 요소(1130)가 원통형으로 서술되어 있지만, 코어 요소(1130)의 횡단면 형상은 정사각형, 6각형, 직사각형과 같은 비 원형 또는 비 원통형일 수 있거나 또는 규칙적이거나 불규칙적인 임의의 다른 원하는 형상일 수 있는 것으로 생각된다. 도 2h는 플라즈마 소스(1000)에 사용될 수 있는 상이한 코어 요소의 3개의 단면 형상의 예를 도시하고 있다. 이 예에서, 코어 요소(1130)는 "횡단면 I"로 도시된 바와 같이 원형의 단면 형상, "횡단면 II"로 도시된 바와 같이 관형의 횡단면 형상, 또는 "횡단면 III"로 도시된 바와 같이 중심 축선을 중심으로 규칙적으로 형성되는 6각형의 횡단면 형상을 가질 수 있다. 다른 예에 있어서, 코어 요소(1130)는 도 7b의 코어 요소(1721)와 같은, 그 내부에 하나 또는 둘 이상의 특징부가 형성된 원형의 횡단면 형상을 가질 수 있다. 일 실시예에 있어서, 바아 형상의 코어 요소(1130)는 코어 요소(1130)의 반대측 단부에 배치되는 2개의 단부(1131A 및 1131B)(도 2b)를 갖는다. 따라서, 곧은 바아 형상의 코어 요소 구성에 있어서, 코어 요소(1130)의 중심 축선(1130S)과 일치하는 직선은 2개의 단부(1131A 및 1131B)를 통과할 것이다.

[0033] 코어 요소의 물리적 또는 전기적 성질의 변화는 플라즈마 소스의 효율, 안정성, 및 신뢰성에 상당한 영향을 끼칠 수 있는 것으로 밝혀졌다. 본 기술분야의 숙련자라면 코어 요소(1130)의 온도가 증가함에 따라 포화 플럭스 밀도 및 투자율이 모두 감소되는 것을 인식할 것이다. 따라서, "와전류" 가열로 인한 플라즈마 프로세싱 중의 코어 요소(1130)의 온도의 상승을 극복하기 위해, 일반적으로 코어 요소(1130)의 능동적인 냉각이 요구된다.

[0034] 도 7a는 온도제어된 코어 요소(1130)를 갖는 플라즈마 소스(1000)의 일 실시예의 측면면도이다. 도 7b는 본 발명의 실시예에 따른 코어 요소(1130)의 측면면도이다. 일 실시예에서, 플라즈마 소스(1000)는 코어 요소(1130) 및 열교환기 조립체(1710)를 포함한다. 일 실시예에서, 플라즈마 소스(1000)의 작동중에 온도제어된 열교환 유

체가 열교환기 조립체(1710)로부터 코어 요소(1130)의 일부를 통해 전달되고, 그 후 열교환기 조립체(1710)로 다시 복귀된다. 일반적으로, 열교환기 조립체(1710)는 유체 재순환 칠러(chiller)와 같은 종래의 유체 열교환 디바이스를 포함한다. 일반적으로, 열교환 유체는 탈이온수(deionized water)와 같은 높은 전기 비저항 및 양호한 열전달 특성을 가질 것이다. 일 실시예에서, 도 7a에 도시된 바와 같이, 코어 요소(1130)는 일반적으로 하우징(1711) 내에 둘러싸이는 투자성 코어 요소(1721)를 포함한다. 이 구성에 있어서, 열교환기 조립체(1710)로부터 전달된 열 교환 유체는 투자성 코어 요소(1721)의 부분의 둘레에서 또한 투자성 코어 요소(1721)의 부분을 통해 하우징(1711) 내로 흘러서, 그 내부에 형성되는 발생된 열을 제거한다. 투자성 코어 요소(1721)는 일반적으로 도 2b 내지 도 2g와 함께 상술한 바와 같이 페라이트 로드와 같은 투자율이 높은 재료를 포함한다.

[0035] 일 실시예에서, 하우징(1711)은 열교환 유체가 코어 요소(1721)의 외면과 하우징(1711)의 내면 사이에 형성된 간극(1723)(도 7b) 내로 통과하게 하는 크기를 갖는다. 코어 요소(1721)는 중심 채널(1722) 및/또는 코어 요소의 표면에 형성되는 홈과 같은 복수의 피처(1724)를 포함할 수 있다. 중심 채널(1722) 및/또는 복수의 피처(1724)는 흐르는 유체와 코어 요소(1721) 사이의 열전달을 개선시키기 위해 일반적으로 흐르는 열교환 유체를 수용하도록 형성된다. 일 구성에 있어서, 코어 요소(1721)는 중심 채널(1722) 또는 피처(1724)와 같은, 코어 요소에 형성된 피처와 결합하는 피처(도시되지 않음)를 지지함으로써 하우징(1711) 및 플라스마 블록(1116) 내에 지지 및 정렬된다. 일부 구성에 있어서, 다공성 판과 같은 유체 흐름 분포 피처(미도시)는 코어 요소(1721)의 둘레에서 그를 통해 열교환 유체의 균일한 흐름을 촉진시키는 것을 돕기 위해 입구 포트(1711B) 및/또는 출구 포트(1711C)에 배치될 수 있다.

[0036] 도 7b를 참조하면, 일 실시예에서, 하우징(1711)은 열교환 유체가 하우징(1711)의 내부 영역(1725)을 통해 전달될 때 하우징(1711)의 외면(1711A)이 눈에 띄게 편향되지 않도록 형성된다. 이 구성에 있어서, 하우징(1711)은 알루미나( $Al_2O_3$ ), 석영, 알루미늄 질화물과 같은 경질의(rigid) 유전체 재료, 복합물 재료 또는 다른 적절한 재료로 형성된다. 대안적인 실시예에서, 하우징(1711)은 내부 영역(1725)을 통해 열교환 유체가 전달될 때 하우징(1711)의 외면(1711A)이 편향되게 구성되도록 형성되며, 그에 따라 외면(1711A)이 팽창되어서 플라스마 블록(1116)의 내면(1150A)의 일부와 하우징(1711)의 외면(1711A) 사이에 접촉이 이루어지게 할 수 있다. 플라스마 블록(1116)의 내면(1150A)과 하우징(1711)의 외면(1711A) 사이에 생성된 접촉은 플라스마 발생 영역(1118)에 발생된 열이 하우징(1711)을 통해 흐르는 열교환 유체로 전달되게 할 것이다. 이 구성에 있어서, 하우징(1711)은 플라스틱 재료와 같은 가요성 유전 재료, 섬유 함침형 수지 재료, 탄성중합체(elastomeric) 재료, 복합물 재료, 또는 가요성이며 원하는 열전도율을 갖는 다른 적절한 재료로 형성된다.

[0037] 하기에 더 서술되는 플라스마 소스(1000)의 일 실시예에 있어서, 액추에이터(1047) 및 시스템 제어기(1001)는 그 내부에 배치된 가스에 대한 RF 결합을 개선시키기 위해 플라스마 발생 영역(1118)에 대해, 하우징(1711) 및 코어 요소(1721)를 포함할 수 있는 코어 요소(1130)의 위치를 조정 및 튜닝하는데(tune) 사용된다. 일 구성에 있어서, 코일(1132)에 에너지를 전달하고 전력 전달 회로의 다른 영역에 부착되거나, 플라스마 발생 영역(1118)과 소통되는 전력 공급부의 센서는 플라스마 발생 영역(1118)에 발생된 플라스마의 상태에 대한 정보를 시스템 제어기(1001)로 피드백하는데 사용되며, 그에 따라 시스템 제어기(1001)에 의해 플라스마에 대한 에너지 결합이 조정될 수 있다. 센서에 의해 측정되고 시스템 제어기(1001)로 복귀되는 정보는 반사된 전력의 양, 챔버 임피던스, 플라스마 밀도, 플라스마의 광학 방출, 또는 플라스마 발생 영역(1118)에 형성된 플라스마의 상태에 대한 다른 유용한 정보를 포함할 수 있다.

## [0038] 플라스마 블록

[0039] 종래의 도넛형 또는 RPS 디자인에서 발견되는 재료 양립성 문제를 피하기 위해, 상술한 바와 같이, 플라스마 블록(1116)은 플라스마 발생 영역(1118)에 형성된 가스 라디칼 또는 이온과 반응하지 않거나 또는 반응성 프로세스 가스와 반응하지 않을 재료로 형성된다. 일반적으로, 플라스마 블록(1116)은 코어 요소(1130) 둘레에 대칭적인 형태로 형성되고, 플라스마의 화학적 성질에 의해 눈에 띄게 공격받지 않을 재료를 포함하며, 플라스마에 의해 발생된 열을 열교환 디바이스로 전달하기 위해 높은 열전도율을 갖는다. 일 실시예에서, 플라스마 블록(1116)은 원하는 대칭적 형상으로 형성되는 높은 열전도율의 유전체 재료를 포함한다. 중실형(solid) 유전 재료를 포함하는 플라스마 블록(1116)이 종래의 디자인에 비해 많은 장점을 갖는데, 그 이유는 종래의 RPS 디자인에서 통상적으로 발견되는 코팅 결합 및 가능한 손상 문제를 피하기 때문이다. 내면상에 코팅을 갖는 2개의 절반부들을 접합함으로써 완전히 둘러싸인 플라스마 프로세싱 영역을 생성하는 것이 일반적으로 어려운데, 그 이유는 절반부들 사이의 접합부의 표면 코팅이 형성 프로세스 중에 손상되지 않은 채 남아 있을 것을 보장하기가 어렵기 때문이다. 또한, 중실형 유전 재료의 사용은 종래의 금속을 함유하는 플라스마로 둘러싸인 영역의 부분

들 사이에 전형적으로 배치되어 이들 금속 함유 영역에 와전류의 형성을 배제하는 절연 블록(예를 들어, 도 1의 참조 번호 108, 110)에 대한 필요성을 배제한다. 일 실시예에서, 플라즈마 블록(1116)은 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ ), 알루미늄 질화물( $AlN$ ), 베릴륨 산화물( $BeO$ ), 붕소 질화물( $BN$ ), 석영, 또는 다른 유사한 재료로 제조된다. 일 예에 있어서, 플라즈마 블록(1116)은 약 2 인치 두께(도 2b의 X 방향)인 알루미늄 질화물 재료로 제조된다. 일 실시예에서, 내벽(1150)의 내면(1150A)은 직경이 약 2 인치 내지 약 5 인치일 수 있으며, 외벽(1156)의 내면은 직경이 약 5 인치 내지 약 10 인치일 수 있고, 그리고 플라즈마 블록(1116)의 둘레는 적용예에 따라 약 10 인치 내지 약 30 인치의 범위에 속할 수 있다.

[0040] 다시 도 2b를 참조하면, 프로세싱 중에 플라즈마 블록(1116) 및 관련 부품이 냉각 상태로 유지되는 것을 추가로 보장하기 위한 노력으로, 일반적으로 냉각판(1134)이 플라즈마 블록의 측벽(1158)에 부착된다. 따라서, 냉각판(1134)은 임의의 밀봉부 또는 연결된 부품들이 프로세싱 중에 손상되게 되는 것을 방지하기 위해 프로세싱 중에 발생된 열을 제거하도록 구성된다. 일 실시예에서, 냉각판(1134)은 열 교환 소스(1139)로부터 전달된 물과 같은 냉각 매체를 수용 및 순환시키기 위해 그 내부에 매립되는 실질적으로 원형인 냉각 채널(1138)을 갖는다. 도 2a에는 단 하나의 냉각판 및 채널(1134, 1138)이 도시되었지만, 본 발명의 일 실시예에서는 유사한 냉각 채널을 갖는 제 2 냉각판(1146)(도 2b)이 측부 커버(1140)에 부착되는, 냉각 채널(1133)의 측벽(1158)의 반대측에 배열될 수 있다. 일 실시예에서, 온도제어된 냉각 매체는 냉각제 입구(1143)(도 2a)로 전달되고, 열교환 소스(1139)의 사용에 의해 제 1 및 제 2 냉각판(1134, 1146)에 형성된 냉각제 출구(1144)(도 2a)로부터 복귀된다.

#### [0041] 플라즈마 형성 및 전력 전달

[0042] 상술한 바와 같이, 코어 요소(1130)는 일반적으로 플라즈마 발생 영역(1118)에 플라즈마를 생성하기 위해 소스 조립체(1038)에서 발견되는 하나 또는 둘 이상의 코일(예를 들어, 코일(1132))을 통한 RF 전류의 유동에 의해 생성되는 발생된 필드(예를 들어, 자기장)가 우선적으로 흐를 경로를 제공한다. 일 구성에 있어서, 코일(1132)은 코어 요소(1130)에 코일을 유도결합시키기 위해 코어 요소(1130)의 외측 부분의 둘레에 감긴다. 일 실시예에서, 코일(1132)은 소스 조립체(1038)에 연결되는 구리 스트립 또는 와이어와 같은 도전성 재료의 복수의 감김(turn)을 포함한다. 일 예에 있어서, 코일(1132)은 코일의 약 1회 내지 20회 감김, 가령 약 3회 내지 5회 감김을 포함한다.

[0043] 소스 조립체(1038)는 RF 전력을 코일(1132)에 효율적으로 전달하기 위해 하나 또는 둘 이상의 다이내믹 임피던스 매칭 요소를 사용할 수 있다. 일 구성에 있어서, 소스 조립체(1038)는 반사된 전력을 최소화하고 RF 에너지를 코일(1132) 및 플라즈마 발생 영역(1118)에 효율적으로 전달하기 위해 주파수 튜닝 요소, 임피던스 매칭 네트워크 튜닝, 또는 순방향 전력 서보잉(servicing)과의 주파수 튜닝을 사용할 수 있다. 일 실시예에서, 소스 조립체(1038)는 임피던스 매칭 요소(1037) 및 RF 전력 소스(1039)를 포함한다. 플라즈마 제어 디바이스(1072)의 외부에 있을 수 있는 RF 전력 소스(1039)는 임피던스 매칭 요소(1037)를 통해 코일(1132)에 전기적으로 결합되고, 코일(1132)에 RF 에너지를 제공한다.

[0044] 플라즈마 소스(1000)의 일 실시예에서, 점화 촉진 전극을 사용하여 플라즈마 발생 영역(1118)의 일부에 RF 전력을 전달하기 위해 제 2 RF 전력 소스 조립체(1042)가 추가로 제공될 수 있으며, 그에 따라 그 내부에서 플라즈마가 더욱 용이하게 점화될 수 있다. 일 실시예에서, 제 2 RF 전력 소스 조립체(1042)는 임피던스 매칭 요소(1041) 및 RF 전력 소스(1043)를 포함한다. 플라즈마 제어 디바이스(1072)의 외부에 있을 수 있는 RF 전력 소스(1043)는 전극에 전달된 에너지를 플라즈마 발생 영역(1118)에 배치된 가스 원자에 용량결합시키기 위해, 제 1 냉각판(1134) 및/또는 제 2 냉각판(1146)(도 2b)과 같은 점화 촉진 전극에 전기적으로 결합된다. 일 예에 있어서, 도 2b에 도시된 바와 같이 RF 전력 소스(1043)는 플라즈마 발생 영역(1118)의 플라즈마를 점화시키기 위해 약 200 볼트 내지 약 10 킬로볼트와 같은, RF 바이어스(bias)를 제 2 냉각판(1146)에 제공하도록 구성된다. 제 1 및 제 2 냉각판(1134, 1146)은 플라즈마 발생 영역(1118)에 인접하여 병렬로 배치되는 도전성 재료(예를 들어, 금속)로 형성될 수 있다. 코어 요소(1130)의 적어도 일부는 환형의 제 1 및 제 2 냉각판(1134, 1146)의 중심을 통과할 수 있다. 일 구성에 있어서, 제 1 및 제 2 냉각판(1134, 1146) 각각은 프로세싱 중에 코어 요소(1130)에 의해 발생된 필드로 인해 환형 요소에서의 와전류의 형성을 억제하는 반경방향 "절단부" 또는 "파단부"(예를 들어, 도 2a의 참조번호 1146A)를 갖는다. 일반적으로, 플라즈마 제어 디바이스(1072)와 챔버 뚜껑(1010) 사이에 배치되는 절연판(1145)은 플라즈마 점화 및 프로세싱 중에 플라즈마 발생 영역(1118)에 배치된 가스에 대한 용량결합을 개선시키기 위해 RF "핫"(RF "hot")인 넓은 표면적을 갖는 점화 촉진 전극(들)의 사용을 가능하게 한다. 절연판(1145)은 프로세싱 챔버(1020)에서 발견되는 접지된 부품을 통해 전극이 지면에 단락되는 것을 방지한다.



- [0045] 다른 구성에 있어서, RF 전력 소스(1043)는 전극(1142)에 전달된 에너지를 플라스마 발생 영역(1118)에 배치된 가스 원자에 용량결합시키기 위해 측부 커버(1140) 내에 매립되는 전극(1142)(도 2b)에 전기적으로 결합된다. 전극(1142)은 플라스마 발생 영역(1118)에 인접하여 병렬로 배치되는 표면(1142A)을 갖는 도전성 환형판(예를 들어, 금속)일 수 있다. 코어 요소(1130)의 적어도 일부는 환형 전극(1142)의 중심을 통과할 수 있다. 일 구성에 있어서, 전극(1142)은 유전 재료에 의해 플라스마 발생 영역(1118)에 형성된 플라스마로부터 분리되고 물리적으로 절연되며, 또한 프로세싱 중에 코어 요소(1130)에 의해 발생된 필드로 인해 환형 요소에 와전류의 형성을 억제하는 반경방향 "절단부" 또는 "파단부"를 포함할 수 있다.
- [0046] 대안적인 실시예에서, 임피던스 매칭은 코어 요소(1130)의 둘레에 권취된 코일(1132)에 부착되는 튜닝 커패시터(1036)의 사용에 의해 달성될 수 있다. 튜닝 커패시터(1036)의 커패시턴스는 RF 전력 소스(1039)로부터 전달된 에너지의 주파수로 코일(1132)을 공진시키도록 선택된다. 일 실시예에서, 튜닝 커패시터(1036)의 구성과 함께 다이내믹 임피던스 매칭이 사용된다. 이 경우, 플라스마 소스(1000)에 전달된 RF 에너지는 전환식 전력 공급부를 사용하는 종래의 전력 전달 체계보다 플라스마 발생 영역에 더욱 효율적으로 전달되는데, 그 이유는 프로세싱 가스로의 전력의 전달을 제어하여 플라스마를 형성하기 위해 전달된 에너지가 듀티 사이클(즉, 시간에 대해 분포된 펄스형 온/오프 전력)의 사용을 요구하지 않기 때문이다. 플라스마로의 전력의 비 간헐적 전달은 플라스마 발생 프로세스의 효율을 개선시키며, 플라스마에 전달된 전력 레벨을 조정하는 능력을 개선시킨다.
- [0047] 도 2f에 도시된 바와 같이, 일부 구성에 있어서 소스 조립체(1038)는 플라스마 발생 영역(1118)에 플라스마를 형성하기 위해 RF 전력 소스(1039)에 의해 구동되는 일련의 고정된 전기 요소를 포함할 수 있다. 능동적인 RF 매치(match)의 사용과 대비하여 전력 전달 회로에 고정된 전기 요소의 사용이 유리한데, 그 이유는 소스 조립체(1038) 및 플라스마 소스(1000)의 복잡성을 감소시킬 수 있기 때문이다. 일 실시예에서, 도 2f에 도시된 바와 같이 커패시터(1033)는 한쪽 단부에서 지면과 결합되고 다른쪽 단부에서 선택적 튜닝 커패시터(1036)를 통해 RF 전력 소스(1039)에 결합된다. RF 전력 소스(1039) 및 선택적 튜닝 커패시터(1036)는 또한 공급 회로(1034) 및 점화 회로(1044)에 결합된다. 이 구성에 있어서, 단일의 RF 전력 소스(1039)는 점화 촉진 전극에 결합되는 점화 회로(1044)를 사용하여 플라스마 발생 영역(1118)에 플라스마를 형성할 수 있으면서, 또한 공급 회로(1034)의 사용을 통해 플라스마 발생 영역(1118)에 플라스마를 지속시킬 수 있다. 공급 회로(1034)는 도 2f에 유도 코일 타입 요소로서 개략적으로 도시된 코일(1132)에 결합된다. 이 경우, 제 1 냉각판(1134), 제 2 냉각판(1146) 및/또는 전극(1142)과 같은 점화 촉진 전극(들)에 대한 점화 회로(1044) 연결의 추가로 인해, 제 2 RF 전력 소스 조립체(1042)가 필요치 않다. 일 예에 있어서, 커패시터(1033) 및 튜닝 커패시터(1036)는 형성된 RF 회로가 니어 공진(near resonance)을 수행하게 하도록 선택되고, 일 예에 있어서 각각은 0.5 내지 300 나노-패럿 커패시터를 포함할 수 있다. 반사된 전력 문제를 피하기 위해, 전력을 코일(1132) 및 플라스마 발생 영역(1118)에 효율적으로 전달하도록 RF 전력 소스(1039)가 주파수 튜닝 모드로 사용될 수 있다.
- [0048] 소스 조립체(1038)로부터 플라스마 발생 영역(1118)으로 전달된 RF 에너지의 결합을 추가로 개선시키기 위해, 플라스마 발생 영역(1118)에 대한 코어 요소(1130)의 위치를 조정 및 튜닝시켜 그 내부에 배치된 가스에 대한 RF 결합을 개선시키도록 액추에이터(1047) 및 시스템 제어기(1001)가 사용된다. 플라스마 발생 영역(1118)에 대해 코어 요소(1130)의 위치를 조정함으로써 전기 특성 및 결합 효율이 조정될 수 있는 것으로 밝혀졌다. 따라서, 일 실시예에 있어서 플라스마 소스(1000)의 초기 셋업 중에는 전력 결합을 최대화 하기 위해 플라스마 발생 영역(1118)에 대한 코어 요소(1130)의 위치를 조정할 수 있고 그 후 이 위치로 코어 요소(1130)를 고정할 수 있다.
- [0049] 대안적으로, 코어 요소(1130)의 위치는 액추에이터(1047) 및 시스템 제어기(1001)의 사용에 의해 프로세스 챔버(1020)에서 수행된 기판 프로세싱 시퀀스 중 하나 또는 둘 이상의 단계 동안 플라스마 발생 영역(1118)에 대해 조정될 수 있다. 일 구성에 있어서, 액추에이터(1047)는 액추에이터(예를 들어, 모터 인코더)에 결합된 센서, 전달된 순방향 RF 전력 및 반사된 RF 전력의 변화를 검출할 수 있는 센서와, 그리고 시스템 제어기(1001)의 사용에 의해,  $^+X$ -방향 또는  $^-X$ -방향(도 2f)으로 코어 요소(1130)의 위치를 조정, 폐쇄 루프 제어, 및/또는 최적화할 수 있는 서보모터 또는 스테퍼 모터이다. 일 실시예에서, 시스템 제어기(1001)는 일반적으로 플라스마 소스(1000) 내에 포함된 모든 부품들을 제어하도록 구성된다. 시스템 제어기(1001)는 일반적으로 여기에 서술된 플라스마 프로세싱 기술의 제어 및 자동화를 용이하게 하도록 설계되며, 전형적으로 중앙처리장치(CPU)(도시되지 않음), 메모리(도시되지 않음), 및 지원 회로(또는 I/O)(도시되지 않음)를 포함할 수 있다. CPU는 다양한 프로세스 및 하드웨어(예를 들어, 모터, 전력 공급부, 챔버 하드웨어)를 제어하기 위한 산업적 환경에 사용되고 프로세스들(예를 들어, 기판 온도, 가스 유량, 코어 요소로 전달된 에너지의 양, 코어 요소의 위치)을 모니터링하는 임의의 형태의 컴퓨터 프로세서 중 하나일 수 있다. 메모리(도시되지 않음)는 CPU에 연결되며, 로컬 또는



원격인 랜덤 액세스 메모리(RAM), 판독 전용 메모리(ROM), 플로피 디스크, 하드 디스크, 또는 임의의 다른 형태의 디지털 저장장치와 같은 용이하게 입수 가능한 메모리 중 하나 또는 둘 이상일 수 있다. 소프트웨어 명령 및 데이터는 CPU에 명령을 내리기 위해 메모리 내에 코딩 및 저장될 수 있다. 또한, 지원 회로(도시되지 않음)는 프로세서를 종래의 방식으로 지원하기 위해 CPU에 연결된다. 지원 회로는 종래의 캐시(cache), 전력 공급부, 클럭 회로, 입력/출력 회로망, 서버 시스템 등을 포함할 수 있다. 시스템 제어기에 의해 판독가능한 프로그램(또는 컴퓨터 명령)은 플라즈마 소스 및 기판상에서 어떤 작업이 수행가능한지를 결정한다.

[0050] 도 2b는 도넛형 플라즈마 소스의 바깥쪽에 배치되는 단일의 유도 코일(1132)만 도시하고 있지만, 이 구성은 본 발명의 범위를 제한하도록 의도되지 않는데, 그 이유는 코일(1132)의 갯수 및 위치가 플라즈마 이온 밀도의 적용 또는 바람직한 상황에 따라 변할 수 있기 때문이다. 일부 실시예에서 도 2g에 개략적으로 도시된 바와 같이, 코일(1132)은 코어 요소(1130)의 중심부의 어느 한 단부(예를 들어, 도 5의 1132B 또는 1132D)에서 코어 요소(1130)의 외측 부분의 둘레에 권취될 수 있거나 또는 한쪽 단부로부터 다른쪽 단부까지 코어 요소(1130)의 둘레에 균일하게 감길 수 있다. 일 실시예에서, 도 2g에 도시된 바와 같이, 만일 다수의 코일이 사용되면, 각각의 코일(1132F, 1132G)은 소스 조립체(1038 및 1058)와 같은 각각의 RF 전력 소스에 별도로 연결될 수 있다. 소스 조립체(1058)는 RF 전력 소스(1059) 및/또는 임피던스 매칭 요소(1057)를 포함할 수 있다. 각각의 RF 코일(1132F, 1132G)에 전달된 각각의 RF 전력 신호의 상(phase) 및 전력 레벨은 플라즈마 발생 영역(1118)의 플라즈마 균일도를 개선시키고 및/또는 RF 전력 결합을 개선시키기 위해 서로에 대해 조정되거나 구성될 수 있다.

[0051] 일부 실시예에서, 코일(1132)은 코어 요소(1130)에 평행한 방향(즉, X-방향)으로 플라즈마 발생 영역(1118)에 균일한 플라즈마를 형성하기 위해, 플라즈마 발생 영역(1118)에 대해 코어 요소(1130) 상에 대칭적으로 배치되는 둘 또는 셋 이상의 코일(예를 들어, 코일(1132F 및 1132G))을 포함할 수 있다. 일 예에 있어서, 도 2i에 개략적으로 도시된 바와 같이, 둘 또는 셋 이상의 코일은 소스 조립체(1038)에 직렬로 연결되며, 플라즈마 발생 영역(1118)의 반대측상에서 코어 요소(1130)의 둘레에 권취된다. 직렬연결된 코일로의 소스 전력의 전달은 프로세싱 장점을 갖는 것으로 여겨진다. 프로세싱 장점은 유사한 감감 횡수를 갖는 코일에 의해 코어 요소(1130)에서의 더욱 대칭적이고 균일한 자기장의 발생을 포함하는데, 그 이유는 동일한 전류가 양쪽의 직렬연결된 코일을 통해 흐르기 때문이다. 코어 요소(1130)에서의 더욱 대칭적이고 균일하게 발생된 필드는 코어 요소(1130)에 평행한 방향(즉, X-방향)으로 플라즈마 발생 영역(1118)에서 플라즈마의 측면 방향 균일도를 개선시키고, 발생된 필드의 코어 요소(1130)에 대한 결합을 개선시키는 것으로 여겨진다. 다른 예에 있어서, 도 2j에 개략적으로 도시된 바와 같이 둘 또는 셋 이상의 코일이 소스 조립체(1038)에 병렬로 연결되며, 플라즈마 발생 영역(1118)의 반대측상에서 코어 요소(1130)의 둘레에 권취된다. 일 구성에 있어서, 코일(1132F 및 1132G)과 같은 대칭적으로 배치된 코일은 동일한 방향으로 코어 요소의 둘레에 권취된다. 일부 경우에 있어서, 발생된 필드의 적어도 부분적인 소거로 인해 전형적으로 선호되지는 않지만, 코일은 코어 요소(1130)의 둘레에 반대 방향으로 권취된다. 고정된 전기 요소 타입 소스 조립체(1038)가 도 2i 및 도 2j에 도시되지만, 이 소스 조립체 구성은 여기에 서술된 본 발명의 범위에 대하여 제한하는 것으로 의도되지 않는다.

#### [0052] 플라즈마 균일도 조정

[0053] 도 2d에 개략적으로 도시된 바와 같이, 코어 요소(1130)를 통한 RF 에너지의 전달에 의해 형성된 자기장의 강도의 반경방향 차이로 인해, 플라즈마 발생 영역(1118)에 형성된 플라즈마는 플라즈마 블록(1116)의 외벽(1156)에 비해 내벽(1150) 근처에서 더 높은 플라즈마 밀도를 가질 것이다. 따라서, 플라즈마 결합을 추가로 개선시키기 위해 및/또는 플라즈마 발생 영역(1118) 내의 플라즈마 균일도를 더욱 균일하게 하기 위해, 다양한 플라즈마 조정 기술이 사용될 수 있다.

[0054] 플라즈마 소스(1000)의 일 실시예에 있어서, 도 3에 도시된 바와 같이, 플라즈마 균일도를 조정하기 위해 영구 자석(1152)과 같은 하나 또는 둘 이상의 필드 성형(shaping) 요소가 플라즈마 발생 영역(1118)의 둘레에 배치된다. 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 블록(1116)의 부분적인 등각 횡단면도이다. 도 3에서는 점선으로 도시된 자기 코어 요소(1130)와 냉각관(1134) 및 측부 커버(1140)가 모두 명확함을 위해 생략되었다. 플라즈마 제어 디바이스(1072)의 일 실시예에 있어서, 플라즈마 발생 영역(1118)에 형성된 플라즈마를 조정하기 위해 복수의 영구 자석(1152)이 플라즈마 블록(1116)의 내벽(1150)의 원주 둘레에 매립된다. 일 양태에 있어서, 플라즈마 블록(1116)의 내벽(1150)은 그 내부에 영구 자석(1152)을 수용하도록 구성된 복수의 개구(1154)를 구비한다. 영구 자석(1152)은 일반적으로 대칭적 패턴으로 이격되어 있으며, 교호하는 극성(즉, 교호하는 북극 "N" 및 남극 "S")으로 배열된다. 내벽(1150)의 원주 둘레에 배치되는 영구 자석(1152)은 플라즈마 발생 영역(1118)에 발생된 플라즈마를 플라즈마 블록(1116)의 내벽(1150)으로부터 원형 영역의 중간을 향해, 또는 외벽(1156)을 향해 "압박"하는 경향이 있을 것이다. 따라서, 필드 성형 요소의 사용은 내벽(1150)과 외벽

(1156) 사이에 형성된 플라즈마 발생 영역(1118)을 통해 플라즈마 밀도를 더욱 균일하게 한다. 필드 성형 요소는 영구 자석, 전자석, 또는 플라즈마 발생 영역(1118)에 형성된 플라즈마 및 발생된 필드를 성형할 수 있는 다른 유사한 디바이스를 포함할 수 있다.

[0055] 일부 경우에 있어서, 필드 성형 요소를 사용하는 대신에, 플라즈마 블록(1116)의 적어도 일부의 둘레에 코일이 권취되며, 그에 따라 이러한 권취된 코일(1432)을 통해 전류를 흐르게 함으로써 발생된 필드가 플라즈마 발생 영역(1118)에 형성된 플라즈마를 재분포시킬 것이다. 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 권취된 코일 구성을 개략적으로 도시하는 플라즈마 제어 디바이스(1072)의 측면면도이다. 이 실시예에서, 하나 또는 둘 이상의 코일(1432)이 플라즈마 블록(1116)의 둘레에 원하는 감김 회수로 감긴다. 일 실시예에서, 전력 소스(1433)에 의해 전류가 코일(1432)을 통과할 때, 플라즈마 발생 영역(1118)에 형성된 플라즈마를 균일하게 분포시키기 위해, 플라즈마 블록(1116)의 내벽(1150), 측벽(1158) 및 외벽(1156)과 측벽(1140)의 둘레로 360° 와 같은, 플라즈마 블록(1116)의 모든 부분의 둘레로 코일(1432)이 권취된다. 일 실시예에서, 플라즈마 발생 영역(1118)에 발생된 플라즈마를 유도결합 및 재분포시키기 위해 코일(1432)에 DC 전력이 전달된다. 보다 구체적으로, 코일(1432)을 통과하는 전류에 의해 생성된 자기장은 일반적으로 내벽(1150)의 중심 근처에서 가장 강한 자기 플럭스 밀도를 가질 것이며, 이것은 화살표로 나타낸 바와 같이 내벽(1150)의 엣지로부터 플라즈마를 끌어내고, 이를 플라즈마 발생 영역(1118)의 중간을 향해 재분포시키는 경향이 있을 것이다. 따라서 코일(1432)을 통한 전류의 전달은 플라즈마 발생 영역(1118)에 플라즈마 밀도를 더욱 균일하게 하는 경향이 있을 것이다. 일 실시예에서, 유도 코일(1432)은 RF 에너지를 전달할 수 있는 전력 소스(1433)의 사용에 의해 플라즈마 발생 영역(1118)에 형성된 플라즈마를 점화시키는데 사용된다. 만일 하나보다 많은 코일(1432)이 사용된다면, 각각의 코일(1432)은 동일한 전력 및 주파수를 사용하여 구동될 수 있거나, 또는 각각의 코일(1432)은 상이한 전력 및/또는 주파수에서 독립적으로 구동될 수 있다.

[0056] 또한, 코일(1432)은 임의의 희망 위치에서 내벽 및 외벽(1150, 1156)의 둘레에 감길 수 있거나, 또는 희망 간격으로 내벽 및 외벽(1150, 1156)의 둘레를 고르게 감쌀 수 있는 것으로 예상된다. 일 실시예에서, 코일(1432)은 냉각판(1134)에 인접하여 코어 요소(1130)의 외측 부분의 둘레에 감긴다. 일 양태에 있어서, 코일(1432)은 냉각판(1134)과 지지 요소(1135) 사이에 배열된다. 지지 요소(1135)는 냉각판(1134)의 측부에 결합되며, 하나 또는 둘 이상의 지지판(예를 들어, 도 2b에 도시된 지지판(1136, 1137))을 포함하여 지지판(1136, 1137)을 연장시키는 코어 요소(1130)를 고정시킬 수 있다. 일 구성에 있어서, 도 4에 도시된 바와 같이, 코일(1432)은 동상(in-phase; 同相)으로 권취되는 것으로 도시되어 있으며, 즉 코일(1432)을 통해 흐르는 전류는 플라즈마 발생 영역(1118)의 둘레에서 동일한 방향으로 흐르도록 플라즈마를 유도한다. 대안적으로, 코일(1432)은 서로 이상(out of phase; 移相)으로 권취될 수 있다.

[0057] 플라즈마 소스(1000)의 일부 구성에 있어서, 플라즈마 블록(1116)의 플라즈마 발생 영역(1118)과 접촉하는 내면들만이 플라즈마의 화학적 성질과 반응하지 않을 용융 실리카 또는 세라믹과 같은 전기 절연체로 제조될 수 있다. 따라서, 일부 구성에 있어서 플라즈마 블록은 주로 유전체 코팅된 알루미늄, 양극산화된 알루미늄 또는 스테인리스 스틸과 같은 금속으로 주로 제조될 수 있다. 내벽(1150), 측벽(1158) 및/또는 외벽(1156)과 같은 플라즈마 블록(1116)의 부분들이 전기적으로 도전성 재료(예를 들어 금속)로 형성되는 구성에 있어서, 코일(1432)로의 전류의 전달에 의해 발생된 필드로 인해 일반적으로 벽(1150, 1156, 1158)에 흐르는 와전류를 파괴 및 억제하기 위해, 절연 스페이서(도시되지 않음) 또는 유전체 파괴(dielectric break)가 제공될 필요가 있다. 도전성 벽들 사이의 절연 스페이서의 추가는 일반적으로 플라즈마 소스(1000) 조립체를 더욱 복잡하고 값비싸게 할 것이면서, 또한 진공 기밀 구성으로 조립하는 것을 더욱 어렵게 한다. 그에 따라 내벽(1150) 또는 외벽(1156) 및 측벽(1158)이 절연 재료 또는 비도전성 재료로 제조되는 경우, 절연 스페이서(들)이 생략될 수 있다.

#### [0058] 가스 전달 하드웨어

[0059] 상술한 바와 같이, 플라즈마 프로세싱 중에, 프로세싱 가스는 가스 공급부(1124)로부터 플라즈마 블록(1116)의 입구 포트(1127)(도 2b)를 통해 플라즈마 발생 영역(1118) 내로 전달되며, 여기서 가스 원자는 플라즈마 블록(1116)에 또한 형성되어 있는 출구 포트(1126)를 통해 플라즈마 발생 영역(1118)을 떠난다. 일 실시예에서, 플라즈마 제어 디바이스(1072)의 돔 부분(1110)은 프로세싱 가스(들)를 플라즈마 블록(1116)의 입구 포트(1127) 및 그 내부에 형성된 플라즈마 발생 영역(1118)에 전달하는데 사용된다. 일 실시예에서, 돔 부분(1110)은 일반적으로 가스 입구(1120)와 가스 확산기 본체(1122)를 포함한다. 가스 확산기 본체(1122)는 일반적으로 플라즈마 블록(1116) 내의 외벽(1156) 내의 입구 포트(1127)를 통해 연장된다. 가스 입구(1120)는 프로세스 가스 또는 세정 가스(들)를 플라즈마 제어 디바이스(1072) 내로 도입하기 위해 외부 가스 소스(들), 예를 들어 프로세스 가스 공급부(1124)에 연결된다. 일 실시예에서, 돔 부분(1110)은 가스 분포 플레넘(plenum)(1123)을 포함하

며, 가스 분포 플레넘(1123)은 가스 확산기 본체(1122) 내에 형성되고 상기 가스 확산기 본체(1122)에 형성된 구멍(1121)을 통해 플라스마 발생 영역(1118) 내로의 가스 전달을 재분포시키고 제어하는데 사용된다. 플라스마 블록(1116)의 외벽(1156)은 플라스마 소스(1000)의 프로세싱 영역(1128)으로 이어지는 가스/플라스마 출구 포트(1126)를 구비한다. 따라서, 가스 분포 플레넘(1123) 및 플라스마 발생 영역(1118)이 유체소통된다.

[0060] 프로세스 가스 또는 세정 가스는  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_2$ 와 같은 산소 함유 또는 질소함유 가스, 또는  $\text{F}_2$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{F}$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$ ,  $\text{SF}_6$ , 또는  $\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$  와 같은 불소 함유 가스, 및 이들의 조합을 포함할 수 있으며, 선택적으로 아르곤, 헬륨, 또는 질소와 같은 캐리어 가스를 포함할 수 있다. 일 양태에 있어서, 프로세스 가스는 본질적으로 아르곤(Ar)을 포함한다. 다른 양태에 있어서, 프로세스 가스는 본질적으로 암모니아( $\text{NH}_3$ )를 포함한다. 다른 양태에 있어서,  $\text{NH}_4\text{F}$  플라스마를 발생시키기 위해 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 및 3불화 질소( $\text{NF}_3$ ) 가스가 플라스마 제어 디바이스(1072) 내로 도입되며, 그 후 플라스마 소스(1000)에 배치된 기관상의 자연 산화물을 제거하는데 사용될 수 있다. 적용예에 따라 TSA, 실란, TEOS와 같은 다른 프로세싱 전구체(precursor) 가스나 또는 다른 유용한 전구체 가스가 사용될 수 있음이 예상된다. 전구체 가스는 약 100 sccm 내지 약 1000 sccm의 유량으로 제공될 수 있다. 프로세싱 중에, 플라스마 소스(1000)에서 프로세싱 영역(1128) 내의 압력은 약 100 mTorr 내지 약 20 Torr로 유지될 수 있다. 일 예에 있어서, 챔버의 압력은 약 100 mTorr 내지 약 1.25 Torr로 유지된다.

[0061] 도 4를 참조하면, 복수의 가스 개구 또는 구멍(1121)은 가스 확산기 본체(1122)의 중심 축선(1121B)에 대해 하나 또는 둘 이상의 각도(1121A)로 형성될 수 있으며, 그에 따라 흐르는 가스가 플라스마 발생 영역(1118) 내로 들어간 후 내벽(1150)의 내부 표면에 충돌하게 하지 않고, 프로세스 가스 또는 세정 가스가 원형 타입의 소용돌이 유동 패턴을 형성하도록 플라스마 발생 영역(1118) 내로 접하는 방식으로 전달되도록 한다. 일 예에 있어서, 구멍(1121)은 가스 확산기 본체(1122)를 양분하고 코어 요소 중심 축선(1130S)을 통해 연장되는 도 4에 도시된 중심 축선(1121B)과 같이, 플라스마 발생 영역(1118)의 반경방향에 대해 각도를 이루어 형성되었다. 일 실시예에 있어서, 미리 결정된 각도는 약  $20^\circ$  내지 약  $70^\circ$ , 가령 약  $45^\circ$ 의 범위에 속할 수 있다. 복수의 개구들 중 각각의 개구는 적용예에 따라, 희망 폭 및 길이를 가질 수 있다. 가스 확산기 본체(1122)는 희망 갯수의 개구, 예를 들어 약 10개의 개구 또는 그 초과인 개구, 가령 약 20개의 개구 또는 그 초과인 개구를 포함할 수 있다.

#### [0062] 복수의 플라스마 소스 구성

[0063] 일부 프로세싱 구성에 있어서, 복수의 플라스마 소스는 변화하는 혼합물 비율 및/또는 에너지를 갖는 활동적인 가스 원자를 프로세스 챔버(1020)의 프로세싱 영역(1128)에 제공하기 위해, 유사하거나 상이한 조성물을 갖는 프로세스 가스가 각각의 플라스마 소스에 전달될 수 있도록, 병렬로 사용될 수 있다. 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 프로세스 챔버(1020)의 챔버 뚜껑(1010)에 결합되는 2개의 플라스마 제어 디바이스(1072A, 1072B)를 갖는 플라스마 챔버의 간략화된 횡단면도를 도시한다. 용이한 도시를 위하여, 플라스마 챔버 부품이 생략되었지만, 그러나 프로세스 챔버(1020)는 챔버가 2개의 플라스마 제어 디바이스(1072A, 1072B)를 수용하도록 구성되는 점을 제외하고는, 도 2b에 도시된 프로세스 챔버와 동일한 모든 부품을 포함하는 것으로 예상된다. 이 실시예에서, 2개의 플라스마 제어 디바이스(1072A, 1072B)는 가스 라디칼 및/또는 이온화된 가스(들)를 샤워헤드 조립체(1027)를 통해 하류의 프로세스 챔버(1020)로 도입하여 생산하기 위해 프로세스 챔버(1020)의 챔버 뚜껑(1010)에 부착 또는 장착된다. 2개의 플라스마 제어 디바이스(1072A, 1072B)는 병렬로 배열되며, 플라스마 블록(1016A, 1016B)의 내벽(1150A, 1150B)을 통해 배치되는 공통의 코어 요소(1130)를 공유한다. 이 구성의 코어 요소(1130)는 플라스마 제어 디바이스(1072A 및 1072B) 양자를 서비스하게 하도록 약간의 추가된 길이를 요구할 수 있는 점을 제외하고, 일반적으로 상술한 부품과 유사하다. 본 발명의 일부 실시예에서, 둘 또는 셋 이상의 플라스마 발생 영역, 예를 들어 플라스마 발생 영역(1118A 및 1118B)은 모두 중복된 부품의 갯수를 감소시키고 둘 또는 셋 이상의 플라스마 발생 영역을 코어 요소(1130)에 대해 정렬시키는 능력을 개선시키기 위해, 플라스마 블록(1016A)과 같은 단일의 플라스마 블록(도시되지 않음)에 형성된다.

[0064] 도 5에 도시된 바와 같이, 코일(1132A)은 코어 요소(1130)의 외측 부분의 둘레에 권취될 수 있다. 코일(1132A)의 감김 횟수는 약 1회 내지 약 10회의 범위로 변화할 수 있다. 일부 경우에 있어서, 코일(1132A)은 10회 또는 그보다 많은 감김을 가질 수 있다. 코일(1132A)은 코어 요소(1130)를 따라 상이한 위치에 배열될 수 있다. 일 실시예에서, 코일(1132A)은 상이한 위치들에 분포되는 복수의 코일을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 코일은 적용예에 따라 또는 플라스마 이온 밀도의 바람직한 상황에 따라, 하기의 방식 중 임의의 방식으로: (1) 코일 위치(1132A 및 1132E)에; (2) 코일 위치(1132B 및 1132D)에; (3) 오직 코일 위치(1132C)에만; (4) 코일 위치(1132A 및 1132C 또는 1132C 및 1132C)에; 그리고 (5) 코일 위치(1132A, 1132B, 1132C, 1132D 및 1132E)에



분포된다. 복수의 코일이 사용될 때, 코일은 각각의 RF 전력 소스 조립체(예를 들어, 도 2의 참조번호 1038, 1058)에 별도로 연결될 수 있음이 또한 예상된다. 각각의 RF 코일에 전달된 RF 전력 신호는 바람직한 플라즈마 균일도, 가스 라디칼 에너지 또는 플라즈마 이온 분포를 달성하기 위해 서로에 대해 조정되거나 구성될 수 있다. 유사하게, 발생된 플라즈마의 균일도는 프로세스 조건(예를 들어, 전력, 압력, 가스 유량, 가스 조성물)이 변화됨에 따라, 플라즈마 제어 디바이스가 배치되는 방식, 플라즈마 내의 기관의 위치 및/또는 플라즈마 제어 디바이스의 고유의 물리적 특성을 변화시킬 수 있다. 일 실시예에서, 2개의 플라즈마 제어 디바이스(1072A, 1072B)의 플라즈마 발생 영역(1118A, 1118B)에 대한 전달된 RF 에너지의 결합을 더욱 개선시키기 위해, 액추에이터(1047) 및 시스템 제어기(1001)가 사용되어, 플라즈마 발생 영역(1118A, 1118B)에 대한 코어 요소(1130)의 위치를 조정 및 튜닝시켜, 그 내부에 배치된 가스에 대한 RF 결합을 개선시킨다. 일부 구성에 있어서, 제 1 플라즈마 제어 디바이스(1072A)에 대한 코어 요소(1130)의 위치가 제어되며, 제 2 플라즈마 제어 디바이스(1072A)에 대한 코어 요소(1130)의 위치는 부차적으로 중요하다(즉, 종속 장치(slave)).

[0065] 일 양태에 있어서, 플라즈마 제어 디바이스(1072A, 1072B)의 가스 입구(1110A, 1110B)는 적용예에 따라서, 플라즈마 제어 디바이스(1072A, 1072B)에 상이한 프로세스 가스 또는 세정 가스를 제공하기 위해 동일하거나 상이한 외부 가스 소스(도시되지 않음)에 각각 연결될 수 있다. 이중(dual) 플라즈마 제어 디바이스 구성은 상이한 플라즈마의 신속한 전환을 가능하게 하며, 이것은 증착 또는 세정 체계를 위해 원격 플라즈마 소스를 사용하는 PEALD(플라즈마 강화 ALD) 또는 CVD 적용예와 같은 특정 적용예에서 유리할 수 있다. 또한, 이중 플라즈마 제어 디바이스 구성은 단일의 플라즈마 제어 디바이스에서 바람직하게 여겨질 수 없는 비양립성 가스로부터 활동적인 가스 종의 동시적인 전달을 허용하는데 유용하다.

[0066] 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일 실시예에 따른 코어 요소(예를 들어, 참조번호 1130A, 1130B)에 결합되는 3개의 플라즈마 제어 디바이스(예를 들어, 참조번호 1072C, 1072D 및 1072E)를 갖는 플라즈마 소스(1000)의 횡단면도를 도시하는 개략적인 도면이다. 용이한 도시를 위하여, 프로세스 챔버(1020)의 부품들이 생략되었으며, 도 6a 및 도 6b에는 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E) 및 투자성 코어 요소(1130A, 1130B)가 개략적으로만 도시된다. 그러나, 이들 부품 각각은 도 2a 내지 도 2g 및 도 5와 관련하여 상술한 하드웨어 부품을 포함할 수 있다. 일 예에 있어서, 도 6a 또는 도 6b에 도시된 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E) 각각은 도 2b와 관련하여 상술한 부품과 동일한 모든 부품들을 포함하고 있다. 도 5와 유사하게, 3개의 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E)는 병렬로 배치되고, 공통의 코어 요소(1130A, 1130B)를 공유하며, 공통의 코어 요소(1130A, 1130B)는 플라즈마 블록(도시되지 않음)의 내측면을 통하여 배치되며, 각각의 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E)의 대향 측면들을 통하여 연장한다.

[0067] 일 구성에 있어서, 코일(1132)은 코어 요소(1130A(도 6a) 또는 1130B(도 6b))의 외측 부분의 둘레에 권취된다. 유사하게, 코일의 감김 횟수 및 위치는 적용예에 따라 또는 플라즈마 이온 밀도의 바람직한 상황에 따라, 도 5와 관련하여 기재된 논의와 유사한 방식으로 조정될 수 있다. 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E) 각각에서 발견되는 가스 입구(도시되지 않음)는 동일하거나 상이한 외부 가스 소스(도시되지 않음)에 각각 연결될 수 있으며, 그에 따라 상술한 바와 같이 동일하거나 상이한 조성물을 갖는 플라즈마를 형성하여 바람직한 가스 라디칼 또는 가스 이온을 형성할 수 있도록 프로세스 가스의 신속한 전환을 가능하게 한다.

[0068] 플라즈마 소스(1000)의 일 실시예에서, 3개의 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E)는 코어 요소의 상이한 부분에 변화하는 직경을 갖는 공통의 코어 요소(예를 들어, 참조번호 1130A 또는 1130B)를 공유한다. 예를 들어, 도 6a에 있어서 제 1 플라즈마 제어 디바이스(1072C)(즉, 가장 좌측에 있는 또는 가장 우측에 있는 디바이스)를 통하여 연장되는 코어 요소(1130A)의 직경은 제 2 및 제 3 플라즈마 제어 디바이스(1072D 및 1072E)를 통하여 연장되는 코어 요소(1130A)의 영역보다 클 수 있다. 대안적으로, 도 6b에 도시된 바와 같이, 제 2 플라즈마 제어 디바이스(1072D)(즉, 중간에 있는 디바이스)를 통하여 연장되는 코어 요소(1130B)의 직경은 제 1 및 제 3 플라즈마 제어 디바이스(1072C 및 1072E)를 통하여 연장되는 코어 요소(1130B)의 부분들의 직경보다 작을 수 있다. 코어 요소의 외면과 플라즈마 발생 영역 사이의 거리가 발생된 RF 필드의 플라즈마에 대한 플라즈마 결합 효율에 영향을 끼칠 것이기 때문에, 유사하게 구성된 플라즈마 블록에 대해 코어 요소의 직경을 변화시키는 것은 각각의 플라즈마 소스의 플라즈마 밀도 및 결합 효율이 상이하도록 할 것이다. 코어 요소 직경의 상이로 인해 또는 플라즈마 블록에 형성된 플라즈마 발생 영역의 형상이나 직경의 상이로 인해, 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E) 각각에서 발견되는 각각의 플라즈마 발생 영역에 생성된 상이한 플라즈마 특성, 각각의 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E)의 플라즈마 성질은 각각의 플라즈마 제어 디바이스에 전달된 특정한 타입의 프로세스 가스 또는 프로세스 가스 혼합물에 대해 최적화될 수 있다. 코어 요소의 직경에 따라 또는 플라즈마 발생 영역으로부터 코어 요소의 외면이 배치되는 상대 거리에 따라, 상이한 예

너지가 플라즈마 공동으로 결합될 수 있다.

[0069] 따라서, 플라즈마 제어 디바이스(1072C, 1072D 및 1072E)에서의 하드웨어 구성, 가스 조성물, 및/또는 가스 유량의 차이들로 인해, 플라즈마 발생 영역 각각에 생성된 상이한 플라즈마 특성은 상이한 특성을 갖는 가스 라디칼 및/또는 가스 이온을 챔버 뚜껑(1010)의 개구(1011C, 1011D 및 1011E)를 통해 프로세스 챔버(1020)의 프로세스 영역(1128)에 전달하고 발생시키는데 사용될 수 있다.

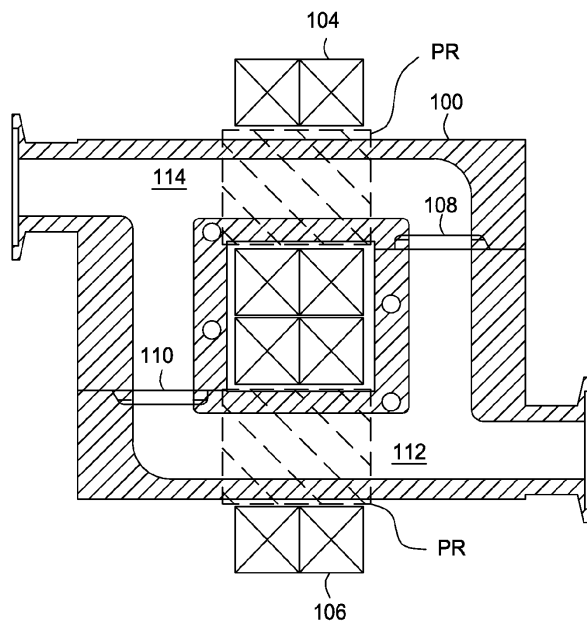
[0070] 상술한 바는 본 발명의 실시예에 관한 것이지만, 본 발명의 기본적인 범위로부터의 일탈없이 본 발명의 다른 실시예 및 추가적인 실시예가 안출될 수 있으며, 본 발명의 범위는 하기의 청구범위에 의해 결정된다.

## 부호의 설명

|        |                  |                    |
|--------|------------------|--------------------|
| [0071] | 1000: 플라즈마 소스    | 1010: 챔버 뚜껑        |
|        | 1020: 프로세스 챔버    | 1027: 샤워헤드 조립체     |
|        | 1030: 기관         | 1072: 플라즈마 제어 디바이스 |
|        | 1118: 플라즈마 발생 영역 |                    |

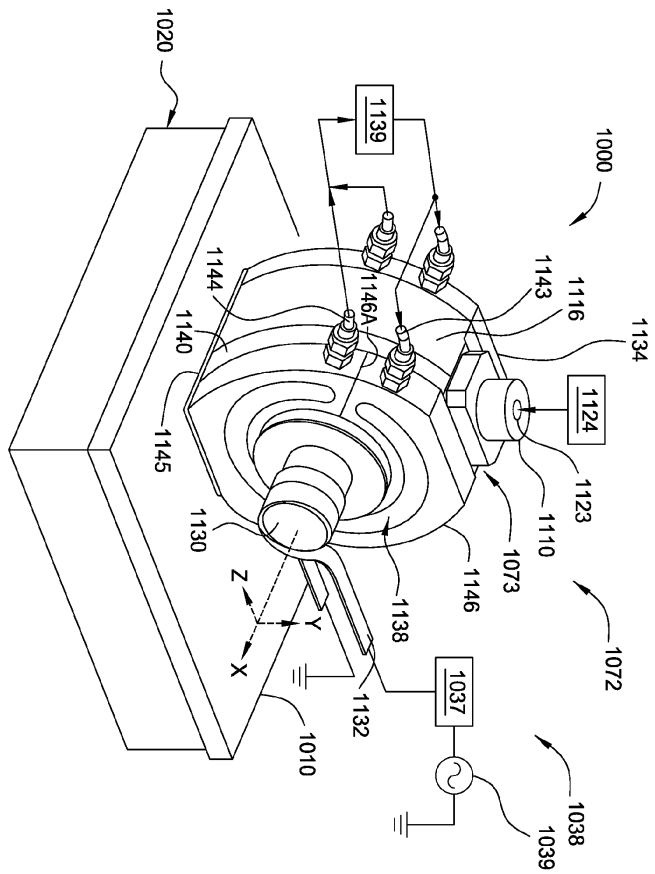
## 도면

도면1

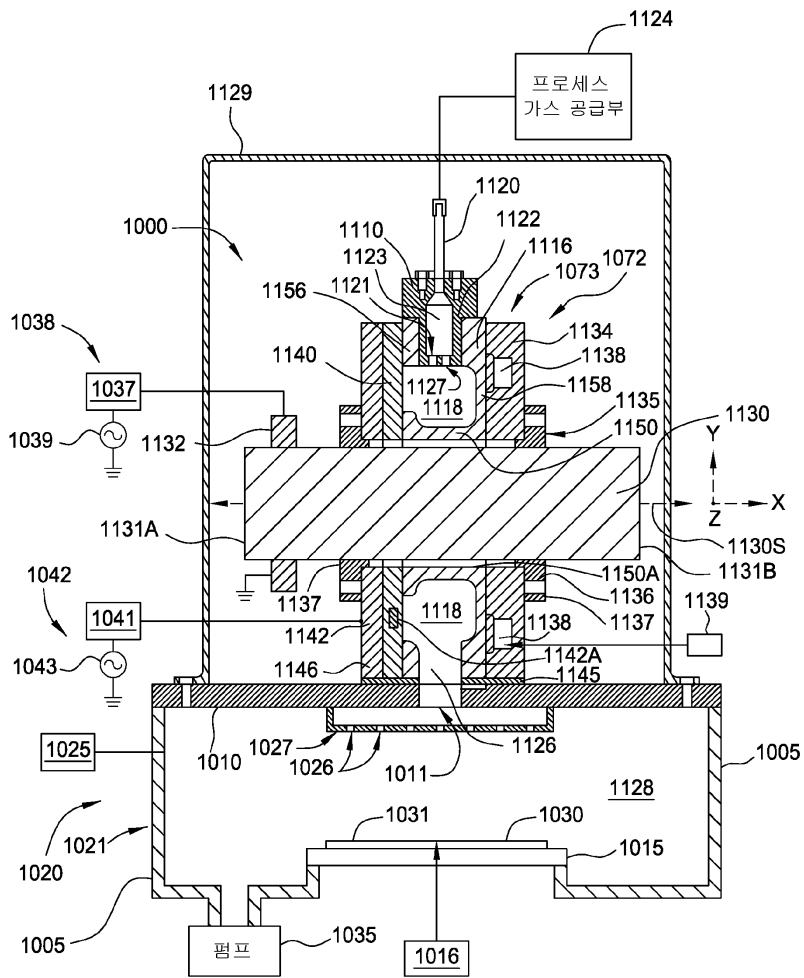


(종래기술)

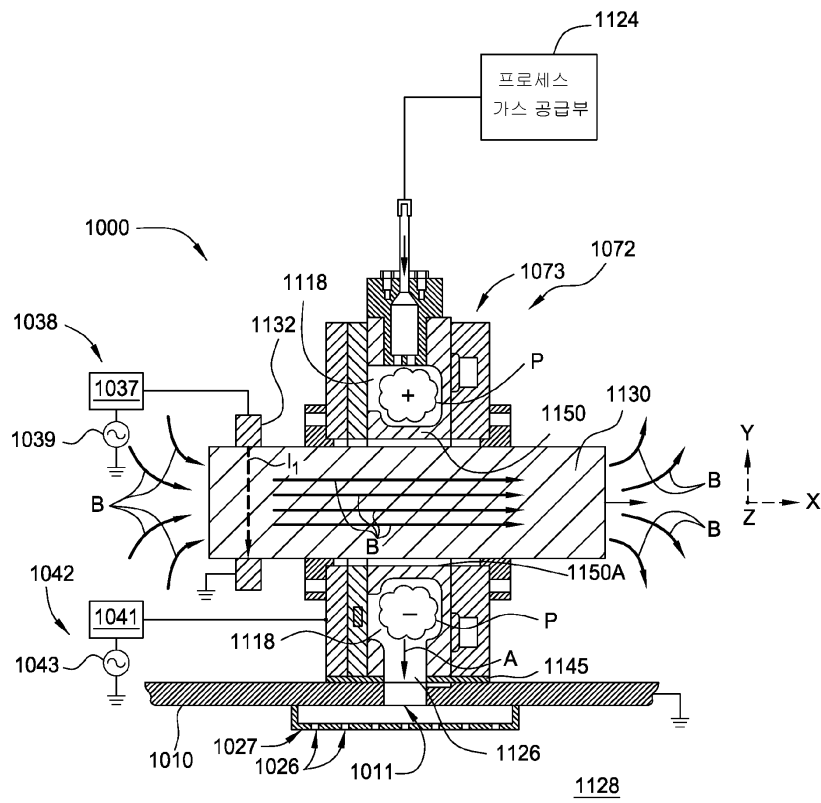
도면2a



도면2b



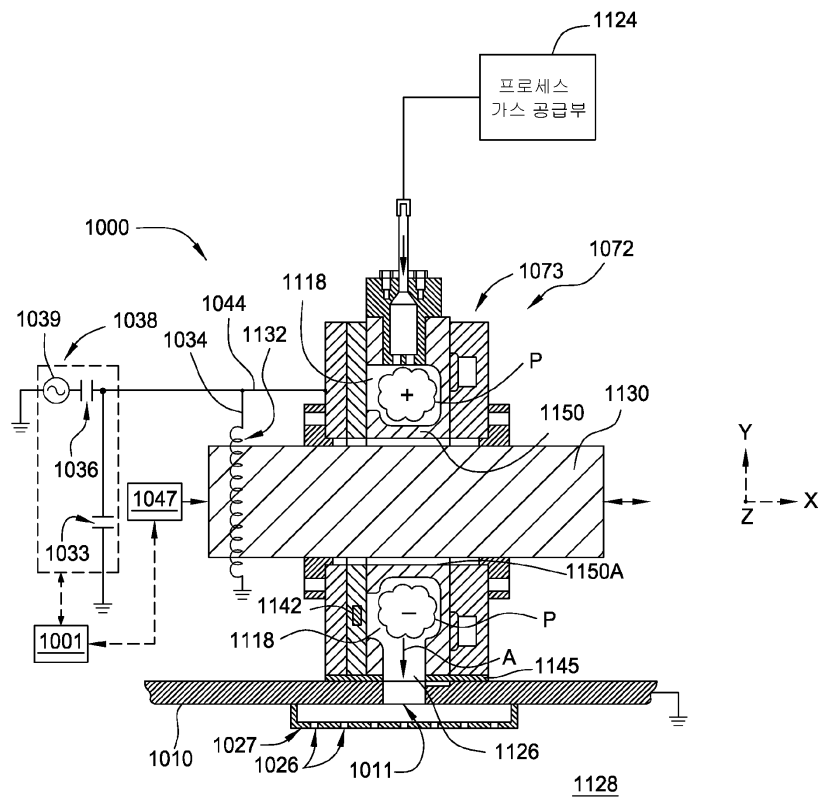
도면2c



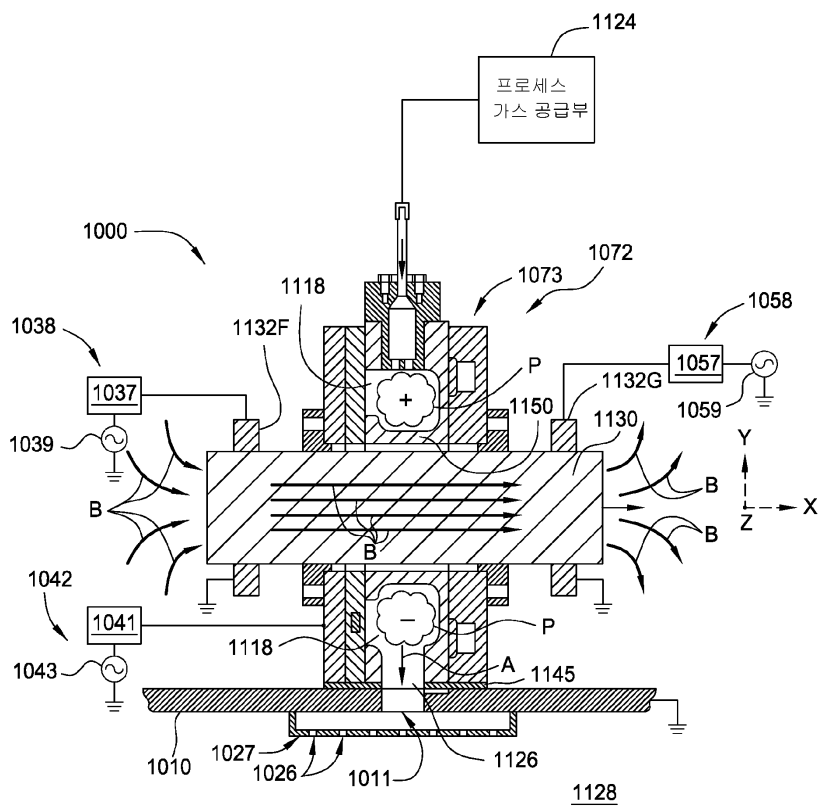




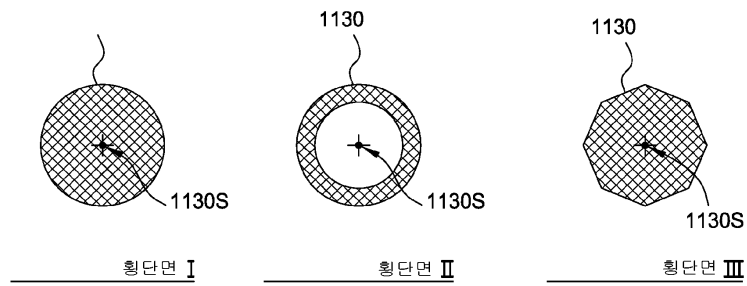
도면2f



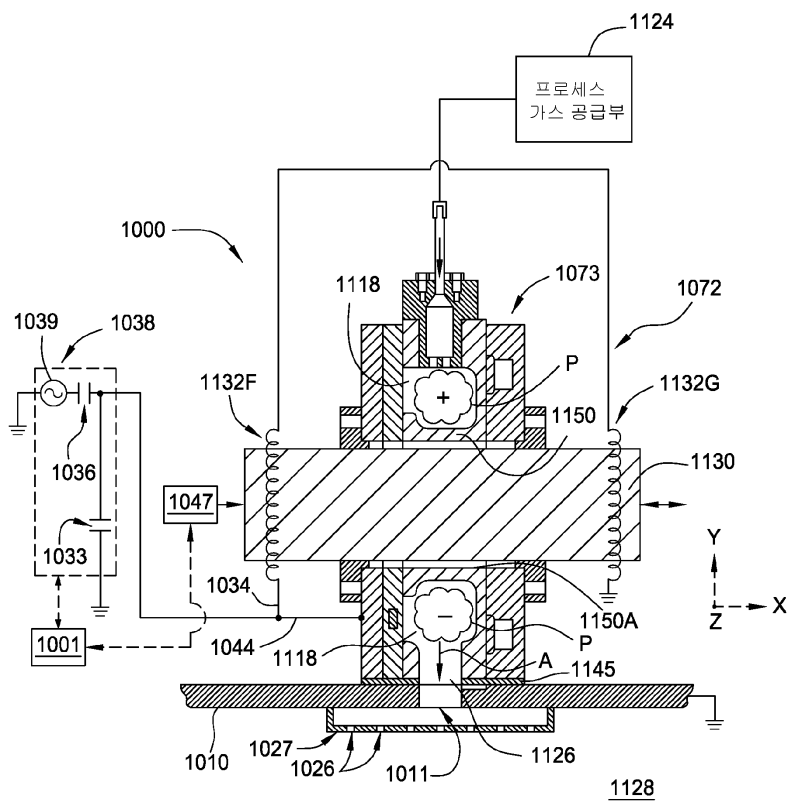
도면2g



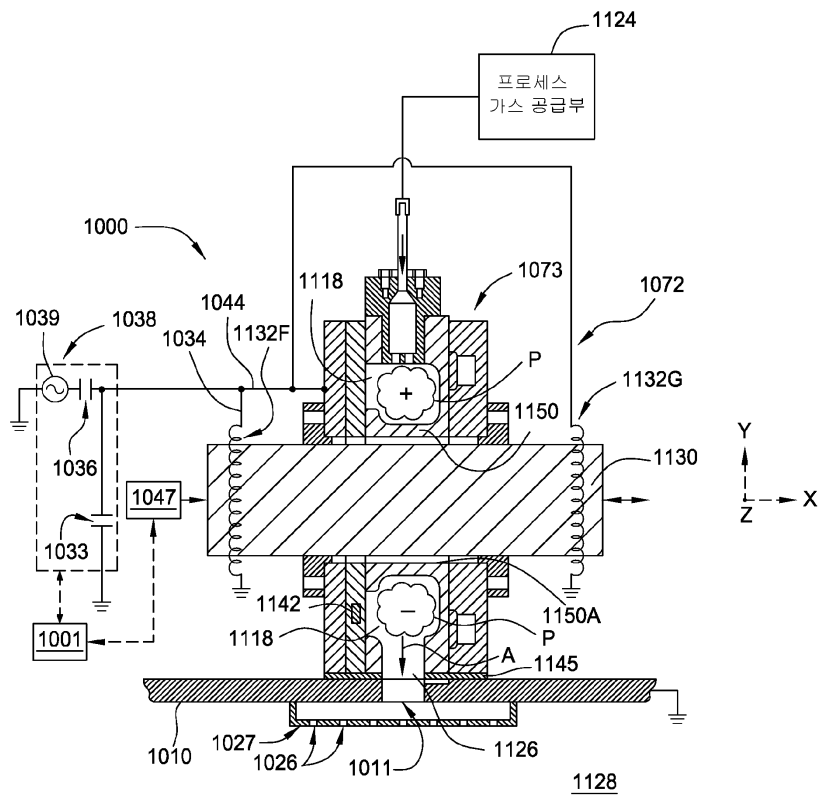
도면2h



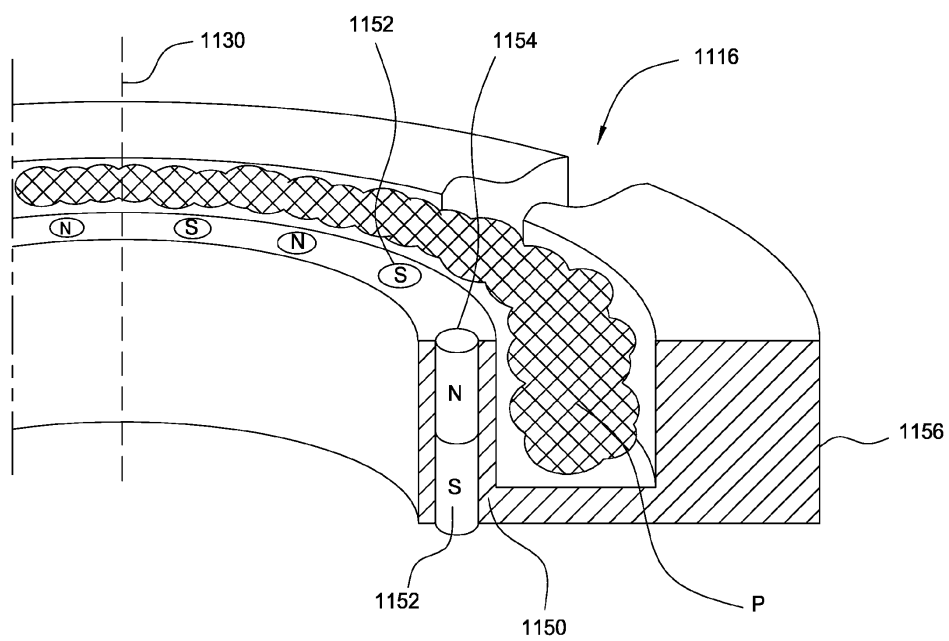
도면2i



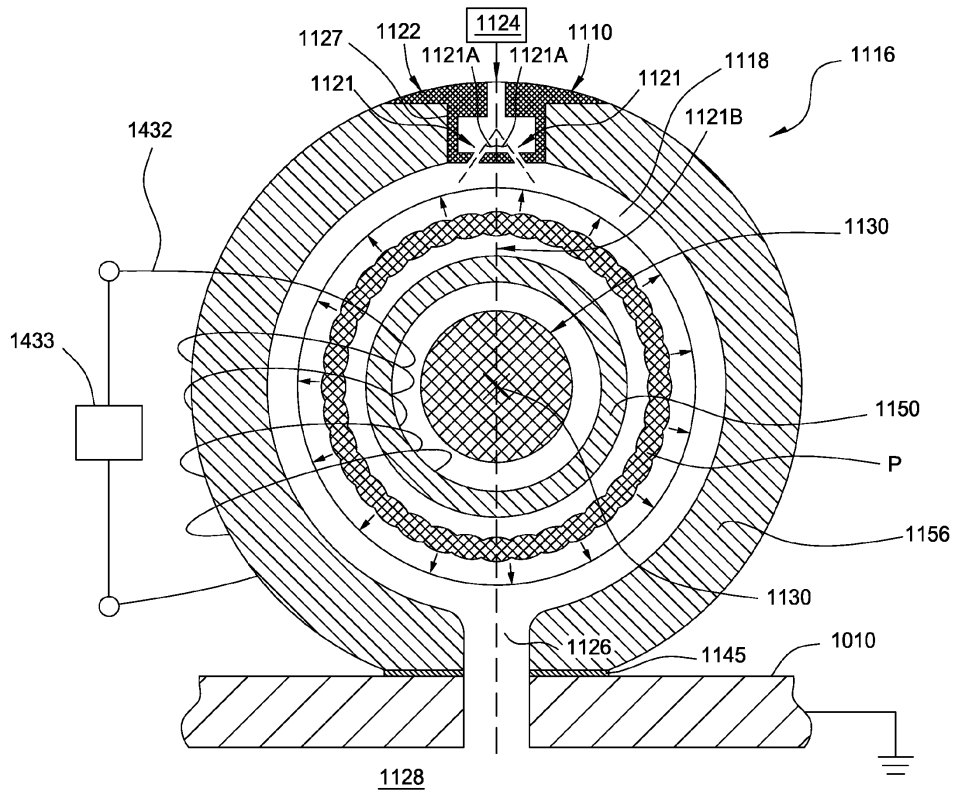
도면2j



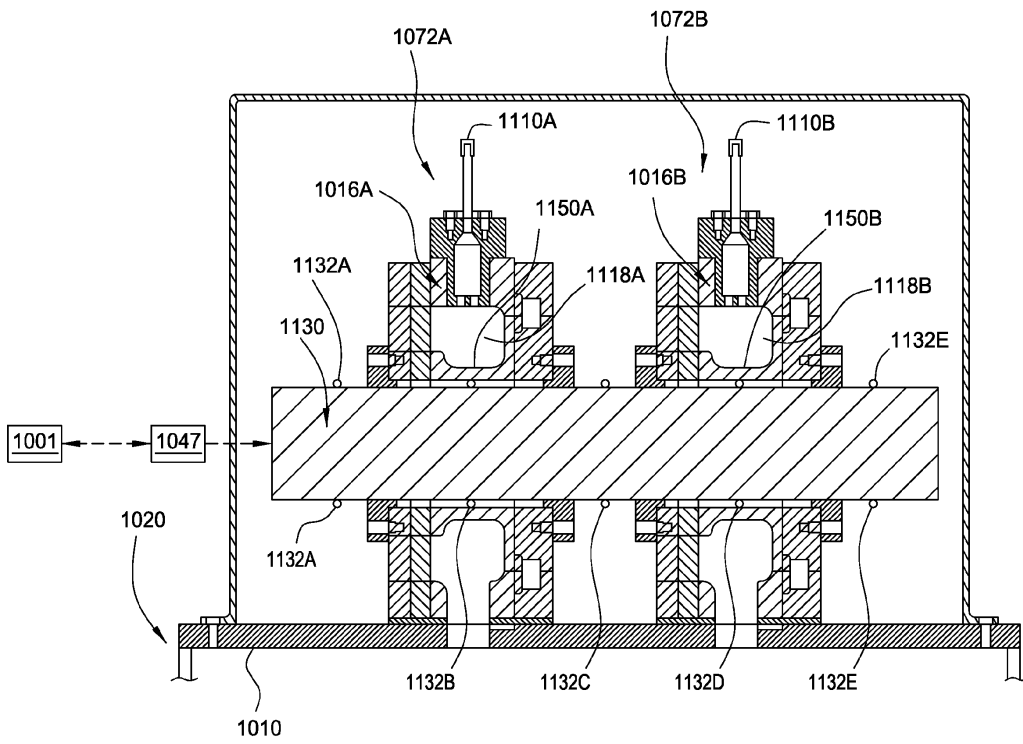
도면3



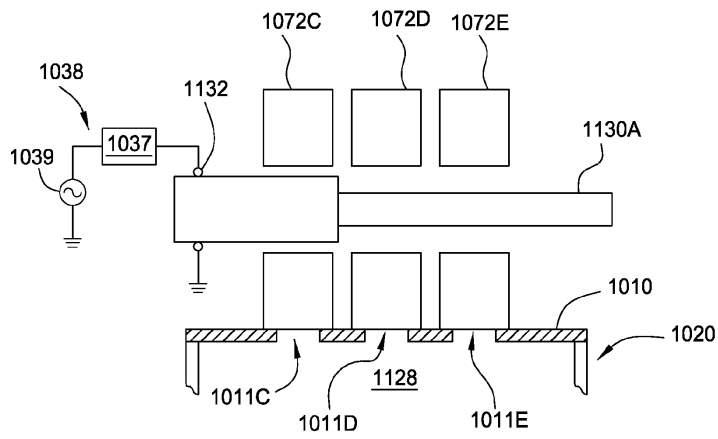
도면4



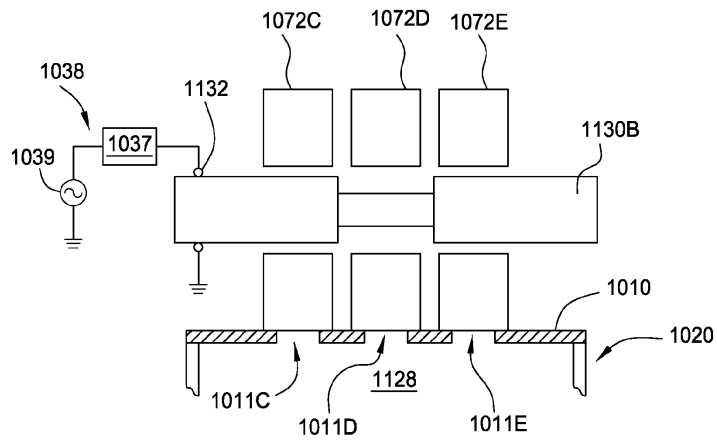
도면5



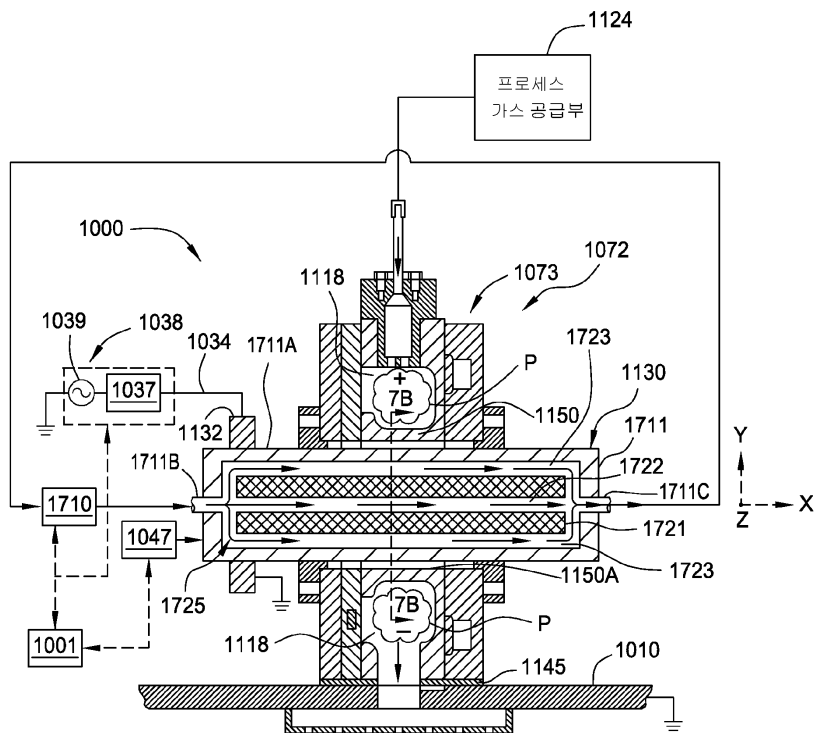
도면6a



도면6b



도면7a



도면 7b

