



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0056842
(43) 공개일자 2012년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/306 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7006016
(22) 출원일자(국제) 2010년08월11일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2012년03월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2010/045124
(87) 국제공개번호 WO 2011/019790
국제공개일자 2011년02월17일
(30) 우선권주장
12/853,771 2010년08월10일 미국(US)
61/233,401 2009년08월12일 미국(US)

(71) 출원인
도쿄엘렉트론가부시키키가이샤
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1고
(72) 발명자
자오 지안펑
미국 78612 텍사스주 휴스턴 에이피티 711 링크
우드 드라이브 4045
첸 리
미국 78612 텍사스주 체더 크릭 콜로라도 드라이브 383
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
신정건, 김태홍

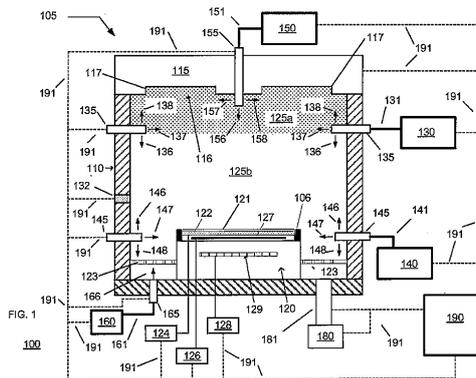
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 중력에 의한 가스 확산 분리(G I G D S) 기술에 의해 제어되는 플라즈마 발생 시스템

(57) 요약

본 발명은, 중력에 의한 가스 확산 분리 기술을 통하여 플라즈마를 발생하는 것을 이용하는 기관 처리 장치 및 기관 처리 방법을 제공할 수 있다. 이러한 기관 처리 장치 및 기관 처리 방법에서는, 중력값(즉, 가스상 성분의 분자량과 기준 분자량간의 비)이 서로 다른 불활성 gas와 프로세스 gas를 포함하는 gas를 추가하고 사용함으로써, 2구역 혹은 다구역 플라즈마가 형성될 수 있고, 이 2구역 혹은 다구역 플라즈마에서는, 중력에 의한 확산이 서로 다르기 때문에, 한 종류의 gas가 플라즈마 발생 영역 부근에 많이 구속될 수 있으며, 다른 종류의 gas가 상기 한 종류의 gas로부터 크게 분리될 수 있고 상기 한 종류의 gas보다 웨이퍼 프로세스 영역에 더 근접하게 구속되어 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

핑크 메리트

미국 78737 텍사스주 오스틴 실버 마운틴 코브
8412

노자와 도시히사

일본 107-6325 도쿄 미나토쿠 아카사카 5초메 3-1
아카사카 비즈 타워

특허청구의 범위

청구항 1

중력에 의한 가스 확산 분리 제어형(GIGDSC) 플라즈마 처리 서브시스템을 사용하여 기판을 처리하는 방법으로서,

GIGDSC 절차를 수행하도록 구성된 프로세스 챔버의 하부에 있는 기판 홀더 상에 기판을 배치하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 가벼운 플라즈마 발생 가스를 이용하여 프로세스 챔버의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간에 제1 가벼운 가스 안정화 플라즈마를 형성하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 제1 가벼운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 제1 가벼운 가스 안정화 값을 제1 안정화 한계에 비교하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 제1 가벼운 가스 안정화 값이 하나 이상의 안정화 한계를 넘어서는 경우, 제1 가벼운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 수정 동작을 수행하는 단계; 및

제1 사전 처리 시간 동안에 제1 가벼운 가스 안정화 값이 하나 이상의 안정화 한계를 넘어서지 않는 경우, 제2 사전 처리 시간 동안에 제2 가벼운 가스 안정화 플라즈마 및 초기 무거운 가스 사전 처리 플라즈마를 형성하는 단계

를 포함하고, 상기 초기 무거운 가스 사전 처리 플라즈마는 하나 이상의 무거운 프로세스 가스를 사용하여 기판 부근의 플라즈마 처리 공간에 형성되는 것인 기판 처리 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 제2 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

제2 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값을 초기 무거운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계;

제2 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값이 하나 이상의 초기 무거운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 초기 무거운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 제2 수정 동작을 수행하는 단계; 및

제2 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값이 하나 이상의 초기 무거운 가스 안정화 한계를 넘어서지 않는 경우, 처리 시간 동안에 새로운 가벼운 가스 안정화 플라즈마 및 새로운 무거운 가스 처리 플라즈마를 형성하는 단계

를 더 포함하고, 처리 시간 동안에 새로운 무거운 가스 처리 플라즈마를 사용하여 기판이 처리되는 것인 기판 처리 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 가벼운 플라즈마 발생 가스는 헬륨(He), 수소(H₂), 네온(Ne), 또는 이들의 임의의 조합을 포함하고, 하나 이상의 무거운 프로세스 가스는 아르곤(Ar), 산소 함유 가스, 불화탄소 가스, 수소화불화탄소 가스, 또는 할로젠 함유 가스, 또는 이들의 임의의 조합을 포함하며, 상기 불화탄소 가스는 C_xF_y의 형태를 갖고, 여기서 x 및 y는 1 이상이며, 상기 수소화불화탄소 가스는 C_xF_yH_z의 형태를 갖고, 여기서 x, y 및 z는 1 이상이며, 상기 할로젠 함유 가스는 Cl, Br 및 F로 이루어진 그룹에서 선택된 할로젠 원자를 갖는 것인 기판 처리 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 가스 공급 요소를 이용하여 프로세스 챔버에 제1 가스 혼합물이 제공되고, 제1 가스 혼합물은, 플라즈마 발생 공간으로 확산되는 하나 이상의 가벼운 가스상 성분과, 플라즈마 처리 공간으로 확산되는 하나 이상의 무거운 가스상 성분을 포함하며, 상기 가벼운 가스상 성분은 가벼운 플라즈마 발생 가스를 포함하고, 상기 무거운 가스상 성분은 하나 이상의 무거운 프로세스 가스를 포함하는 것인 기판 처리 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 프로세스 챔버의 상부에 연결된 제1 가스 공급 요소를 이용하여 프로세스 챔버에 가벼운 플라즈마 발생 가스가 제공되고, 프로세스 챔버의 하부에 연결된 제2 가스 공급 요소를 이용하여 프로세스 챔버에 하나 이상의 무거운 프로세스 가스가 제공되는 것인 기판 처리 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 플라즈마 발생 공간에 플라즈마 소스가 연결되어 있고, 이 플라즈마 소스는, 플라즈마 발생 공간으로 확산되는 가벼운 플라즈마 발생 가스의 하나 이상의 가벼운 가스상 성분을 이용하여 GIGDSC 플라즈마를 발생시키도록 구성되어 있으며, 상기 플라즈마 소스는 프로세스 챔버의 상벽을 형성하도록 구성된 플라즈마 대향면을 포함하고, 이 플라즈마 대향면 내에는 제1 리세스가 마련되어 있는 것인 기판 처리 방법.

청구항 7

중력에 의한 가스 확산 분리 제어형(GIGDSC) 플라즈마 처리 서브시스템을 사용하여 기판을 처리하는 방법으로서,

GIGDSC 절차를 수행하도록 구성된 프로세스 챔버의 하부에 있는 기판 홀더 상에 기판을 배치하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 가벼운 플라즈마 발생 가스를 이용하여 프로세스 챔버의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간에 초기 가벼운 가스 안정화 플라즈마를 형성하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 하나 이상의 무거운 프로세스 가스를 이용하여 프로세스 챔버의 하부에 있는 플라즈마 처리 공간에 초기 무거운 가스 사전 처리 플라즈마를 형성하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값을 초기 무거운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값이 하나 이상의 초기 무거운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 초기 무거운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 수정 동작을 수행하는 단계; 및

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값이 하나 이상의 초기 무거운 가스 안정화 한계를 넘어서지 않는 경우, 처리 시간 동안에 새로운 가벼운 가스 안정화 플라즈마 및 새로운 무거운 가스 처리 플라즈마를 형성하는 단계

를 포함하고, 상기 새로운 무거운 가스 사전 처리 플라즈마는 처리 시간 동안에 하나 이상의 새로운 무거운 프로세스 가스를 사용하여 기판 부근의 플라즈마 처리 공간에 형성되는 것인 기판 처리 방법.

청구항 8

제7항에 있어서, 제1 사전 처리 시간 동안에 초기 가벼운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 가벼운 가스 안정화 값을 초기 가벼운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 가벼운 가스 안정화 값이 하나 이상의 초기 가벼운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 초기 가벼운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 추가적인 수정 동작을 수행하는 단계

를 더 포함하는 것인 기판 처리 방법.

청구항 9

제7항에 있어서, 처리 시간 동안에 새로운 무거운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

처리 시간 동안에 새로운 무거운 가스 안정화 값을 새로운 무거운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계; 및

처리 시간 동안에 새로운 무거운 가스 안정화 값이 하나 이상의 새로운 무거운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 새로운 무거운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 새로운 수정 동작을 수행하는 단계

를 더 포함하는 기판 처리 방법.

청구항 10

제7항에 있어서, 처리 시간 동안에 새로운 가벼운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

처리 시간 동안에 새로운 가벼운 가스 안정화 값을 새로운 가벼운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계; 및

처리 시간 동안에 새로운 가벼운 가스 안정화 값이 하나 이상의 새로운 가벼운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 새로운 가벼운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 새로운 수정 동작을 수행하는 단계

를 더 포함하는 기관 처리 방법.

청구항 11

제7항에 있어서, 가벼운 플라즈마 발생 가스는 헬륨(He), 수소(H₂), 네온(Ne), 또는 이들의 임의의 조합을 포함하고, 하나 이상의 무거운 프로세스 가스는 아르곤(Ar), 산소 함유 가스, 불화탄소 가스, 수소화불화탄소 가스, 또는 할로젠 함유 가스, 또는 이들의 임의의 조합을 포함하며, 상기 불화탄소 가스는 C_xF_y의 형태를 갖고, 여기서 x 및 y는 1 이상이며, 상기 수소화불화탄소 가스는 C_xF_yH_z의 형태를 갖고, 여기서 x, y 및 z는 1 이상이며, 상기 할로젠 함유 가스는 Cl, Br 및 F로 이루어진 그룹에서 선택된 할로젠 원자를 갖는 것인 기관 처리 방법.

청구항 12

제7항에 있어서, 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 가스 공급 요소를 이용하여 프로세스 챔버에 제1 가스 혼합물이 제공되고, 제1 가스 혼합물은, 플라즈마 발생 공간으로 확산되는 하나 이상의 가벼운 가스상 성분과, 플라즈마 처리 공간으로 확산되는 하나 이상의 무거운 가스상 성분을 포함하며, 상기 가벼운 가스상 성분은 가벼운 플라즈마 발생 가스를 포함하고, 상기 무거운 가스상 성분은 하나 이상의 무거운 프로세스 가스를 포함하는 것인 기관 처리 방법.

청구항 13

제7항에 있어서, 프로세스 챔버의 상부에 연결된 제1 가스 공급 요소를 이용하여 프로세스 챔버에 가벼운 플라즈마 발생 가스가 제공되고, 프로세스 챔버의 하부에 연결된 제2 가스 공급 요소를 이용하여 프로세스 챔버에 하나 이상의 무거운 프로세스 가스가 제공되는 것인 기관 처리 방법.

청구항 14

제7항에 있어서, 상기 플라즈마 발생 공간에 플라즈마 소스가 연결되어 있고, 이 플라즈마 소스는, 플라즈마 발생 공간으로 확산되는 가벼운 플라즈마 발생 가스의 하나 이상의 가벼운 가스상 성분을 이용하여 GIGDSC 플라즈마를 발생시키도록 구성되어 있으며, 상기 플라즈마 소스는 프로세스 챔버의 상벽을 형성하도록 구성된 플라즈마 대향면을 포함하고, 이 플라즈마 대향면 내에는 제1 리세스가 마련되어 있는 것인 기관 처리 방법.

청구항 15

중력에 의한 가스 확산 분리 제어형(GIGDSC) 플라즈마 처리 서브시스템을 사용하여 기관을 처리하는 방법으로서,

GIGDSC 절차를 수행하도록 구성된 프로세스 챔버의 상부에 있는 기관 홀더 상에 기관을 배치하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 무거운 플라즈마 발생 가스를 이용하여 프로세스 챔버의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간에 초기 무거운 가스 안정화 플라즈마를 형성하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 하나 이상의 가벼운 프로세스 가스를 이용하여 프로세스 챔버의 상부에 있는 플라즈마 처리 공간에 초기 가벼운 가스 사전 처리 플라즈마를 형성하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 가벼운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 가벼운 가스 안정화 값을 초기 가벼운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 가벼운 가스 안정화 값이 하나 이상의 초기 가벼운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 초기 가벼운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 수정 동작을 수행하는 단계; 및

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 가벼운 가스 안정화 값이 하나 이상의 초기 가벼운 가스 안정화 한계를 넘어

서지 않는 경우, 처리 시간 동안에 새로운 무거운 가스 안정화 플라즈마 및 새로운 가벼운 가스 처리 플라즈마를 형성하는 단계

를 포함하고, 상기 새로운 가벼운 가스 처리 플라즈마는 처리 시간 동안에 하나 이상의 새로운 가벼운 프로세스 가스를 사용하여 기관 부근의 플라즈마 처리 공간에 형성되는 것인 기관 처리 방법.

청구항 16

제15항에 있어서, 제1 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값을 초기 무거운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계; 및

제1 사전 처리 시간 동안에 초기 무거운 가스 안정화 값이 하나 이상의 초기 무거운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 초기 무거운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 추가적인 수정 동작을 수행하는 단계를 더 포함하는 기관 처리 방법.

청구항 17

제15항에 있어서, 처리 시간 동안에 새로운 가벼운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

처리 시간 동안에 새로운 가벼운 가스 안정화 값을 새로운 가벼운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계; 및

처리 시간 동안에 새로운 가벼운 가스 안정화 값이 하나 이상의 새로운 가벼운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 새로운 가벼운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 새로운 수정 동작을 수행하는 단계를

를 더 포함하는 기관 처리 방법.

청구항 18

제15항에 있어서, 처리 시간 동안에 새로운 무거운 가스 안정화 값을 결정하는 단계;

처리 시간 동안에 새로운 무거운 가스 안정화 값을 새로운 무거운 가스 안정화 한계에 비교하는 단계; 및

처리 시간 동안에 새로운 무거운 가스 안정화 값이 하나 이상의 새로운 무거운 가스 안정화 한계를 넘어서는 경우, 새로운 무거운 가스 안정화 값을 개선하기 위해 하나 이상의 새로운 수정 동작을 수행하는 단계를

를 더 포함하는 기관 처리 방법.

청구항 19

제15항에 있어서, 무거운 플라즈마 발생 가스는 크세논(Xe), 또는 크립톤(Kr), 또는 이들의 임의의 조합을 포함하고, 하나 이상의 가벼운 프로세스 가스는 아르곤(Ar), 산소 함유 가스, 불화탄소 가스, 수소화불화탄소 가스, 또는 할로젠 함유 가스, 또는 이들의 임의의 조합을 포함하며, 상기 불화탄소 가스는 C_xF_y 의 형태를 갖고, 여기서 x 및 y는 1 이상이며, 상기 수소화불화탄소 가스는 $C_xF_yH_z$ 의 형태를 갖고, 여기서 x, y 및 z는 1 이상이며, 상기 할로젠 함유 가스는 Cl, Br 및 F로 이루어진 그룹에서 선택된 할로젠 원자를 갖는 것인 기관 처리 방법.

청구항 20

제15항에 있어서, 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 가스 공급 요소를 이용하여 프로세스 챔버에 제1 가스 혼합물이 제공되고, 제1 가스 혼합물은, 플라즈마 처리 공간으로 확산되는 하나 이상의 가벼운 가스상 성분과, 플라즈마 발생 공간으로 확산되는 하나 이상의 무거운 가스상 성분을 포함하며, 상기 가벼운 가스상 성분은 새로운 가벼운 프로세스 가스를 포함하고, 상기 무거운 가스상 성분은 하나 이상의 무거운 플라즈마 발생 가스를 포함하는 것인 기관 처리 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은, 중력에 의한 가스 확산 분리(GIGDS) 기술을 이용하여 제어되는 플라즈마 발생 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 통상적으로, 반도체의 처리 과정에서, 플라즈마 에칭 프로세스는 반도체 기판 상에 패터닝된 비아 또는 컨택트 내에서 혹은 세션(細線)을 따라 재료를 제거 혹은 에칭하는 데 이용된다. 플라즈마 에칭 프로세스는 대개 패터닝된 보호층, 예컨대 포토레지스트층이 덮여 있는 반도체 기판을 프로세스 챔버 내에 배치하는 단계를 포함한다. 또한, 반도체의 처리 과정에서, 플라즈마 강화 화학 증착(PECVD)은 반도체 기판 상에 패터닝된 트렌치, 비아 및/또는 컨택트를 충전(充填)하기 위해 재료를 증착하는 데 이용될 수 있다.

[0003] 예를 들어, 플라즈마 에칭 프로세스에서는, 기판이 일단 챔버 내에 배치되면, 주변의 프로세스 압력을 달성하도록 진공 펌프를 스로틀로 조정하면서, 이온화 가능한 해리성 가스 혼합물을 챔버 내에 소정의 유량으로 도입한다. 그 후, 존재하는 가스 중의 일부가 활성 전자와 충돌한 후에 이온화될 때, 플라즈마가 형성된다. 또한, 가열 전자는 가스 중의 혼합물에 있어서 몇몇 종을 해리하고 노출면 에칭 화학에 적합한 반응물종을 생성하는 역할을 한다. 일단 플라즈마가 형성되면, 기판의 모든 노출면은 플라즈마에 의해 에칭된다. 기판의 노출 영역에서 다양한 특징부(예컨대, 트렌치, 비아, 컨택트 등)를 에칭하기에 바람직한 반응물 및 이온 집단의 적정 밀도를 포함하는 최적의 조건을 달성하도록 프로세스를 조정한다. 에칭을 필요로 하는 기판 재료로는, 예를 들어 이산화규소(SiO₂), 폴리실리콘 및 질화규소 등이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 종래에는, 전술한 바와 같이 반도체 디바이스의 제조 과정에서 기판을 처리하기 위해 가스를 여기하여 플라즈마 상태로 만드는 다양한 기술이 행해지고 있다. 특히, ("평행판") 용량 결합형 플라즈마(CCP) 처리 시스템, 또는 유도 결합형 플라즈마(ICP) 처리 시스템이 플라즈마 여기를 위해 통상 사용되어 오고 있다. 플라즈마 소스의 타입으로는 특히, 마이크로파 플라즈마 소스[전자 사이클로트론 공명(ECR)을 이용하는 것 포함], 표면파 플라즈마(SWP) 소스 및 헬리콘 플라즈마 소스가 있다.

[0005] SWP 소스는, 특히 에칭 프로세스에서, CCP 시스템, ICP 시스템 및 공명 가열 시스템의 플라즈마 처리 성능을 향상시키는 것으로 알려져 있다. SWP 소스는 비교적 낮은 볼츠만 전자 온도(T_e)에서 고도의 이온화를 야기한다. 또한, SWP 소스는, 대개 분자 해리는 감소하면서 전자적으로 여기된 분자종의 밀도는 증가된 플라즈마를 생성한다. 그러나, SWP 소스의 실제 적용에서는, 예를 들어 플라즈마 안정성 및 균일성을 비롯한 몇몇 결함이 여전히 문제시되고 있다.

[0006] 최근의 반도체 프로세스에서는, 에칭, 증착 및 세정 과정에서, 음전기 가스(O₂, NO, N₂O, Cl₂, HBr, F₂, S_xF_y, C_xF_y, C_xF_yH_z, 또는 그 혼합물 등)가 N₂ 또는 불활성 가스(예컨대 Ar) 등의 양전기 가스에 첨가된다. 양전기 이온화(양성 이온 및 전자를 생성)와 음전기 이온화(소량의 전자와 함께 양성 이온 및 음성 이온을 생성)간의 상호 작용으로 인하여, 전자 부착과 전자 이탈간의 밸런스가 지속되지 않을 수 있다. 그 밖의 알려진 혹은 알려지지 않은 이유와 더불어, 음전기 가스와 양전기 가스의 혼합물을 이용한 플라즈마 발생은, 프로세스 제어 및 품질과 관련된 다양한 문제 및 사안을 갖고 있다.

[0007] 플라즈마 소스에 있어서 불안정성이 문제시될 수 있다. 예를 들어, 플라즈마 발생은 불안정할 수 있으며, 이러한 불안정성은 플라즈마 "명멸(明滅)"로서 나타나거나, 혹은 음전기 가스와 양전기 가스의 혼합물을 이용한 경우에는 특정 프로세스 조건에서 플라즈마 소스를 조정할 수 없게 된다. 이 불안정성 문제는, 프로세스 윈도우를 제안하거나, 플라즈마 균일성에 영향을 미치거나, 안정화 시간의 추가로 인해 생산성을 저하시킴으로써, 프로세스 성능에 영향을 미칠 수 있고, 또는 심지어 디바이스 고장 등도 야기할 수 있다.

[0008] 플라즈마 소스에 있어서 전자기(EM) 방사가 문제시될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 음전기 가스가 첨가될 때, 플라즈마에서의 전자 밀도가 낮아진다. 그 결과, EM파는 플라즈마(플라즈마 전자)에 의해 차단(흡수)되지 않고, EM파는 웨이퍼 영역에 전파되거나, 혹은 플라즈마 챔버에 부착된 감응 디바이스를 포함하는 영역에 전파된다. 이러한 EM 방사는 웨이퍼에 손상을 입혀 디바이스 및 프로세스의 고장을 야기하거나, 혹은 플라즈마 챔버에 부착된 감응 디바이스에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서, 플라즈마 프로세스는 예컨대 고압 또는 특정 범위의 압력 등과 같은 전자 과잉 밀도 조건에 한정되어야 하며, 그 결과 프로세스 윈도우가 제한

되고 에너지 비용이 추가된다.

[0009] 플라즈마 소스에 있어서 균일성이 다른 예시적인 문제가 될 수 있다. 몇몇 경우에, 음전기 방전은 전계 강도에 크게 좌우되므로, 전자 밀도 및 이온 밀도가 균일하지 않을 수 있다. 예를 들어, 전자 밀도가 매우 낮은 상태에서는 음전기 방전이 강하게 일어날 수 있고, 혹은 음이온 밀도가 매우 낮은 상태에서는 양전기 방전이 전체적으로 일어날 수 있으며, 혹은 전술한 두 가지 극한의 상태 사이에, 압력, 양전기 가스에 대한 음전기 가스의 분압(또는 유량비), 및 파워에 따라 좌우되는 다른 타입의 방전이 있을 수 있다. 플라즈마 발생 영역에서 전계가 균일하게 분포되어 있지 않다면, 불균일하게 분포된 음전기 방전 영역과 양전기 방전 영역으로 인해 전자 밀도 및 이온 밀도가 불균일해질 수 있다. 이러한 불균일성은 플라즈마 안정성에도 영향을 미칠 수 있다.

[0010] 플라즈마가 플라즈마 유전체 계면 부근에서 발생될 경우, 플라즈마 소스에서 침식 및 오염 문제가 존재할 수 있다. 반응성 및 부식성을 지닌 음전기 가스 또는 다른 프로세스 가스는, 화학 반응 및/또는 물리적 스퍼터링 및 오염에 의한 유전체판 침식을 야기한다. 이로 인해 플라즈마의 발생 및 제어의 문제가 유발될 뿐만 아니라, 유전체판의 수명이 단축되고, 추가적인 판 세정 프로세스 및/또는 교체가 필요해진다. 또한, 이러한 침식 및 오염으로 인해, 디바이스/웨이퍼의 고장을 야기할 수 있는 입자의 밀도가 증가된다.

[0011] 전술한 사항은, 플라즈마 프로세스 챔버에 음전기 가스 또는 그 밖의 프로세스 가스를 추가함으로써 유발되는 문제의 몇몇 예에 불과하다. 상기한 문제는 전술한 예에 국한되지 않고, 마이크로파 플라즈마 소스에 국한되지 않으며, 즉 이들 문제는 임의의 플라즈마 소스 및 프로세스와 결부될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명은, 중력에 의한 가스 확산 분리(GIGDS) 기술을 이용하여 제어되는 플라즈마 발생 시스템에 관한 것이다.

[0013] 기본 개념은, 중력에 의한 가스 확산 분리 기술을 통하여 플라즈마 발생을 제어하는 것이다. 중력값(즉, 가스상 성분의 분자량과 기준 분자량간의 비)이 서로 다른 불활성 가스와 프로세스 가스를 포함하는 가스를 추가하고 사용함으로써, 2구역 혹은 다구역 플라즈마가 형성될 수 있고, 이 2구역 혹은 다구역 플라즈마에서는, 중력에 의한 확산이 서로 다르기 때문에, 한 종류의 가스가 플라즈마 발생 영역 부근에 많이 구속될 수 있으며, 다른 종류의 가스가 상기 한 종류의 가스로부터 크게 분리될 수 있고 상기 한 종류의 가스보다 웨이퍼 프로세스 영역에 더 근접하게 구속되어 있다. 여기서, 한 종류의 가스는 하나의 가스만을 의미하는 것이 아니라 여러 가스의 혼합물도 의미하며, 이 혼합물은 양전기 방전 가스 또는 음전기 방전 가스를 포함할 수 있다. 또한, 이와 같은 의미는 다른 종류의 가스에도 적용된다. 혼합이 일어나는 경우, 동일한 가스가 사용될 수 있고 또는 서로 다른 가스가 사용될 수 있다. 또한, 서로 다른 종류의 가스 사이에는 대개 분명한 경계가 존재하지 않고, 혼합은 하나 이상의 서로 다른 영역에서 일어날 수 있다. 많은 예에서, 양전기 가스는 대부분의 용례에서 플라즈마 발생 영역(전원) 부근에 구속되는 것이 대개 바람직하며, 이러한 플라즈마 발생 영역은 마이크로파 플라즈마 소스에서와 마찬가지로 양전기 플라즈마에서 전자 밀도가 높기 때문에 유효하게 EM 방사를 차단(흡수)할 수 있다.

[0014] 중력에 의한 가스 확산 분리 제어형(GIGDSC) 플라즈마 처리 시스템과 이와 관련된 중력에 의한 가스 확산 분리(GIGDS) 기술은 모든 종류의 플라즈마 발생 방법, 모든 종류의 플라즈마 소스 및 모든 종류의 플라즈마 프로세스에 적용될 수 있다. 예를 들어, GIGDSC 플라즈마 처리 시스템은 몇몇 예로서 고주파(RF) 소스, CCP 소스, ICP 소스, 마이크로파 레이디얼 라인 슬롯 안테나(RLSA) 플라즈마 소스, 표면과 플라즈마 소스, 마이크로파 전자 사이클로트론 공명(ECR) 소스 등을 포함할 수 있다. 이하에서, 하나 이상의 표면과 플라즈마는 본 발명의 신규성 및 개념을 설명하기 위해 주어지 있다. 그러나, 본 발명은 본원에 설명된 방법과 개념을 이용하는 임의의 종류의 플라즈마 소스, 플라즈마 발생 방법 및 플라즈마 프로세스를 포함하는 것이다.

[0015] 중력에 의한 가스 확산 분리 기술에 의해 제어되는 플라즈마 발생을 이용하는 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템은, 본원에서 예시적인 반도체 처리 시스템으로서 주어지 있다. 또한, GIGDS 기술은 임의의 종류의 플라즈마 소스와, 임의의 종류의 플라즈마 발생 방법과, 반도체 프로세스에 사용되는 것을 포함한 임의의 종류의 플라즈마 프로세스에 적용될 수 있으며, 몇몇 예로서 RF CCP, ICP, 마이크로파 RLSA 플라즈마, 표면과 플라즈마, 마이크로파 ECR 플라즈마 등에 적용될 수 있다. 이하에서, 표면과 플라즈마는 본 발명의 신규성 및 개념을 설명하기 위해 기재 및 거론되어 있다. 그러나, 본 발명은 임의의 종류의 플라즈마 소스와, 플라즈마 발생 방법, 그리고 GIGDSC 플라즈마 처리 방법 및 본원에 설명된 방법을 이용하는 플라즈마 프로세스를 포함

할 수 있다. 기본 개념은, 중력에 의한 가스 확산 분리 기술을 통하여 플라즈마 발생을 제어하는 것이다. 중력값이 서로 다른 불활성 기스와 프로세스 가스를 포함하는 가스를 추가하고 사용함으로써, 2구역 혹은 다 구역 플라즈마가 형성될 수 있고, 이 2구역 혹은 다구역 플라즈마에서는, 중력에 의한 확산이 서로 다르기 때문에, 한 종류의 가스가 플라즈마 발생 영역 부근에 많이 구속될 수 있으며, 다른 종류의 가스가 상기 한 종류의 가스로부터 크게 분리되고 상기 한 종류의 가스보다 웨이퍼 프로세스 영역에 더 근접하게 구속되어 있다. 여기서, 한 종류의 가스는 하나의 가스만을 의미하는 것이 아니라 여러 가스의 혼합물도 의미하며, 이 혼합물은 양전기 방전 가스 또는 음전기 방전 가스를 포함할 수 있다. 또한, 이와 같은 의미는 다른 종류의 가스에도 적용된다. 혼합이 일어나는 경우, 동일한 가스가 사용될 수 있고 또는 서로 다른 가스가 사용될 수 있다. 또한, 서로 다른 종류의 가스 사이에는 대개 분명한 경계가 존재하지 않고, 혼합은 하나 이상의 서로 다른 영역에서 일어날 수 있다. 많은 예에서, 양전기 가스는 대부분의 용례에서 플라즈마 발생 영역(전원) 부근에 구속되는 것이 대개 바람직하며, 이러한 플라즈마 발생 영역은 마이크로파 플라즈마 소스에서와 마찬가지로 양전기 플라즈마에서 전자 밀도가 높기 때문에 유효하게 EM 방사를 차단(흡수)할 수 있다.

[0016] 몇몇 실시형태에서는, 표면과 플라즈마(SWP) 소스가 사용된다. SWP 소스는, EM과 발사장치의 플라즈마 대향면 상에 플라즈마에 인접하게 표면과를 발생시킴으로써, 소기의 EM과 모드의 EM 에너지를 플라즈마에 결합하도록 구성된 전자(EM)과 발사장치를 포함한다. EM과 발사장치는 복수의 슬롯을 구비한 슬롯 안테나를 포함한다. 복수의 슬롯은 EM 에너지를 슬롯 안테나 위의 제1 영역으로부터 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합하도록 구성되어 있다. 유전체판 또는 공명체판이 제2 영역에 배치되어 있고, EM과 발사장치의 플라즈마 대향면을 포함하는 하면을 구비한다. 표면과 소스는, 플라즈마 대향면에 형성된 제1 리세스 구조와 플라즈마 대향면에 형성된 제2 리세스 구조를 더 포함하는데, 상기 제1 리세스 구조는 복수의 슬롯에서의 제1 슬롯 배열과 실질적으로 정렬되어 있는 것이고, 상기 제2 리세스 구조는 복수의 슬롯에서의 제2 슬롯 배열과 부분적으로 정렬되어 있거나 혹은 복수의 슬롯에서의 제2 슬롯 배열과 정렬되어 있지 않은 것이다. 전력 결합 시스템이 EM과 발사장치에 결합되어 있고, 플라즈마를 형성하기 위해 EM 에너지를 EM과 발사장치에 제공하도록 구성되어 있다.

[0017] 다른 실시형태에 따르면, 다른 표면과 플라즈마(SWP) 소스가 사용된다. SWP 소스는, EM과 발사장치의 플라즈마 대향면 상에 플라즈마에 인접하게 표면과를 발생시킴으로써, 소기의 EM과 모드의 EM 에너지를 플라즈마에 결합하도록 구성된 전자(EM)과 발사장치를 포함한다. EM과 발사장치는 슬롯 안테나와 공명체판을 포함하는데, 상기 슬롯 안테나는 EM 에너지를 슬롯 안테나 위의 제1 영역으로부터 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합하도록 구성된 복수의 슬롯이 관통 형성되어 있고, 상기 공명체판은 제2 영역에 배치되어 있으며 EM과 발사장치의 플라즈마 대향면을 포함하는 하면을 구비한다. 제1 리세스 구조가 플라즈마 대향면에 형성되며, 상기 제1 리세스 구조는 복수의 슬롯에서의 제1 슬롯 배열과 실질적으로 정렬되어 있는 것이다. 또한, 프로세스 공간 내의 압력을 약 10 mTorr 내지 약 1 Torr 범위로 하기 위한 플라즈마 안정화 수단이 제공되며, 이 플라즈마 안정화 수단은 공명체판의 플라즈마 대향면에 형성된다. 또한, SWP 소스는, EM과 발사장치에 결합되어 있고 플라즈마를 형성하기 위해 EM 에너지를 EM과 발사장치에 제공하도록 구성되어 있는 전력 결합 시스템을 포함한다.

발명의 효과

[0018] GIGDS 분리 기술을 통하여 플라즈마를 발생하는 것을 이용하는 본 발명의 기관 처리 장치 및 기관 처리 방법에서는, 중력값(즉, 가스상 성분의 분자량과 기준 분자량간의 비)이 서로 다른 불활성 기스와 프로세스 가스를 포함하는 가스를 추가하고 사용함으로써, 2구역 혹은 다구역 플라즈마가 형성될 수 있고, 이 2구역 혹은 다구역 플라즈마에서는, 중력에 의한 확산이 서로 다르기 때문에, 한 종류의 가스가 플라즈마 발생 영역 부근에 많이 구속될 수 있으며, 다른 종류의 가스가 상기 한 종류의 가스로부터 크게 분리될 수 있고 상기 한 종류의 가스보다 웨이퍼 프로세스 영역에 더 근접하게 구속되어, 전술한 종래의 문제점을 해소할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 실시형태에 따른 중력에 의한 가스 확산 분리 제어형(GIGDSC) 플라즈마 처리 시스템을 간단히 모식적으로 보여주는 개략도이다.

도 2는 본 발명의 실시형태에 따른 다른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 간단히 모식적으로 보여주는 개략도이다.

도 3은 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템에 사용될 수 있는 표면과 플라즈마(SWP) 소

스를 간단히 모식적으로 보여주는 개략도이다.

도 4는 본 발명의 실시형태에 따른 전자(EM)과 발사장치의 개략적인 단면도이다.

도 5의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM과 발사장치의 저면도이다.

도 5의 (b)는 도 5의 (a)에 도시된 EM과 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다.

도 6의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM과 발사장치의 저면도이다.

도 6의 (b)는 도 6의 (a)에 도시된 EM과 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다.

도 7의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM과 발사장치의 저면도이다.

도 7의 (b)는 도 7의 (a)에 도시된 EM과 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다.

도 8의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM과 발사장치의 저면도이다.

도 8의 (b)는 도 8의 (a)에 도시된 EM과 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다.

도 9의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM과 발사장치의 저면도이다.

도 9의 (b)는 도 9의 (a)에 도시된 EM과 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다.

도 10의 (a)는 본 발명의 추가적인 실시형태에 따른 EM과 발사장치의 저면도이다.

도 10의 (b)는 도 10의 (a)에 도시된 EM과 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다.

도 11의 (a)는 본 발명의 추가적인 실시형태에 따른 EM과 발사장치의 저면도이다.

도 11의 (b)는 도 11의 (a)에 도시된 EM과 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다.

도 12의 (a)는 본 발명의 추가적인 실시형태에 따른 EM과 발사장치의 저면도이다.

도 12의 (b)는 도 12의 (a)에 도시된 EM과 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다.

도 13a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 프로세스 데이터를 보여주는 도면이고, 도 13b는 도 13a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.

도 14a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 명멸 억제 데이터를 보여주는 도면이고, 도 14b는 도 14a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.

도 15a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 안정화 데이터를 보여주는 도면이고, 도 15b는 도 15a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.

도 16a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 안정화 데이터를 추가적으로 보여주는 도면이고, 도 16b는 도 16a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.

도 17a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 안정화 데이터를 추가적으로 보여주는 도면이고, 도 17b는 도 17a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.

도 18a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 명멸 억제 데이터를 추가적으로 보여주는 도면이고, 도 18b는 도 18a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.

도 19a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 블로킹 데이터를 보여주는 도면이고, 도 19b는 도 19a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.

도 20a는 본 발명의 실시형태에 따른 균일성 데이터를 추가적으로 보여주는 도면이고, 도 20b는 도 20a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.

도 21은 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 웨이퍼를 처리하는 방법의 예시적인 흐름도이다.

도 22는 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 웨이퍼를 처리하는 방법의 다른 예시적인 흐름도이다.

도 23은 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 웨이퍼를 처리하는 방법의 다른

예시적인 흐름도이다.

도 24는 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 웨이퍼를 처리하는 방법의 다른 예시적인 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 중력에 의한 가스 확산 분리 제어형(GIGDSC) 플라즈마 처리 시스템과 플라즈마 발생을 제어하는 기술을 여러 실시형태에 개시한다. 그러나, 하나 이상의 구체적인 세부 사항을 갖지 않거나 또는 다른 대체물 및/또는 추가적인 방법, 재료, 또는 구성 요소를 갖는 다양한 실시형태가 실시될 수 있음을 당업자라면 인지할 것이다. 다른 경우에 있어서는, 본 발명의 다양한 실시형태의 양태가 모호해지는 것을 피하기 위해, 공지 구조, 재료, 또는 작업은 상세히 도시 혹은 설명되어 있지 않다.
- [0021] 이와 마찬가지로, 본 발명을 완전하게 이해시키기 위해, 구체적인 수, 재료 및 구성이 설명을 목적으로 기재되어 있다. 그렇지만, 본 발명은 구체적인 세부 사항 없이 실시될 수 있다. 또한, 도면에 도시된 여러 실시형태는 예시적인 대표예이며 일정한 비례로 도시될 필요가 없는 것으로 이해된다.
- [0022] 본 명세서의 전반의 어구 "일 실시형태" 또는 "실시형태" 또는 그 변형에는, 실시형태와 연계되어 설명되는 특징부, 구조, 재료, 또는 특성이 본 발명의 적어도 하나의 실시형태에 포함된다는 것을 의미하지만, 이들이 모든 실시형태에 존재한다는 것을 의미하지는 않는다. 따라서, 본 명세서의 전반의 여러 곳에 나타나 있는 어구 "일 실시형태에서" 또는 "실시형태에서" 등은, 본 발명의 동일한 실시형태를 거론하는 것은 아니다. 또한, 특징부, 구조, 재료, 또는 특성은 하나 이상의 실시형태에서 임의의 적절한 방식으로 조합될 수 있다.
- [0023] 보편적 개념의 진보성을 설명하였지만, 마찬가지로 진보성을 갖는 특징부가 본 명세서 내에 포함되어 있음은 물론이다.
- [0024] 이제 도면을 살펴보면, 이들 도면에서 유사한 도면부호는 몇몇 도면에 걸쳐서 동일하거나 대응하는 부품을 표시하는 것이다. 도 1은 본 발명의 실시형태에 따른 제1 중력에 의한 가스 확산 분리 제어형(GIGDSC) 플라즈마 처리 시스템을 간단히 모식적으로 보여주는 개략도이다. 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100)은 드라이 플라즈마 에칭 시스템 또는 플라즈마 강화 증착 시스템 또는 임의의 다른 플라즈마 처리 시스템을 포함할 수 있다. 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100)은 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)과, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)에 연결된 제1 가스 공급 시스템(130)과, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)에 연결된 제2 가스 공급 시스템(140)과, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)에 연결된 제3 가스 공급 시스템(150)과, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)에 연결된 제4 가스 공급 시스템(160)과, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)에 연결된 제1 펌핑 시스템(180), 그리고 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)에 연결되어 있고 제1 가스 공급 시스템(130)에 연결되어 있으며 제2 가스 공급 시스템(140)에 연결되어 있고 제3 가스 공급 시스템(150)에 연결되어 있으며 제1 펌핑 시스템(180)에 연결되어 있고 제1 압력 제어 시스템(181)에 연결되어 있는 제1 제어 시스템(190)을 포함할 수 있다 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100)에서의 소기의 요소에 제1 제어 시스템(190)을 연결하는 데 제어 버스(191)가 사용될 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 가스 공급 시스템(130, 140, 150 및 160)이 필요하지 않을 수도 있다.
- [0025] 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)은 복수의 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및 125b)을 형성하도록 구성된 제1 프로세스 챔버(110)를 포함할 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및 125b)이 서로 다르게 구성될 수 있고 혹은 필요하지 않을 수도 있다. 제1 프로세스 챔버(110)는 제1 기관(121)을 지지하도록 구성된 제1 기관 홀더(120)를 포함할 수 있다. 제1 프로세스 챔버가 복수의 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및 125b)을 포함하는 경우에, 제1 기관(121)은 플라즈마 처리 공간(125b)의 플라즈마 또는 프로세스 화학에 노출될 수 있다.
- [0026] 몇몇 실시형태에서, 제1 기관 홀더(120)는 접지부에 연결될 수 있다. 예를 들어, 제1 기관(121)이 기관 홀더(120)에 클램핑된 경우, 세라믹 정전 클램핑(ESC) 층이 제1 기관(121)을 접지된 기관 홀더(120)로부터 절연할 수 있다.
- [0027] 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(105)은 제1 기관 홀더(120)에 있는 온도 제어 요소(129)에 연결되어 제1 기관(121)의 온도를 조정 및 제어하도록 구성되어 있는 기관 온도 제어 시스템(128)을 포함할 수 있다. 별법으로서, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(105)은 제1 프로세스 챔버(110)의 하나 이상의 벽에 및/또는 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(105) 내의 임의의 다른 구성 요소에 온도 제어 요소(도시 생략)를 구비할 수 있다

다.

- [0028] 제1 기관(121)과 제1 기관 홀더(120) 사이의 열전달을 향상시키기 위하여, 제1 기관 홀더(120)는 열제어 시스템(124)에 연결될 수 있는 하나 이상의 열전달 요소(122)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 열전달 요소(122)는, 열제어 시스템(124)의 클램핑 서플라이에 연결될 수 있고 제1 기관(121)을 제1 기관 홀더(120)의 상면에 부착하는 데 사용될 수 있는 정전 클램핑(ESC) 전극(도시 생략)을 포함할 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 하나 이상의 열전달 요소(122)는 접지된 상태의 제1 기관 홀더(120)로부터 제1 기관(121)을 분리시키는 데 사용될 수 있다. 또한, 열전달 요소(122)는, 열제어 시스템(124)의 이면 가스 공급 시스템에 연결될 수 있는 이면 가스 요소(도시 생략)를 더 구비할 수 있다. 하나 이상의 열전달 요소(122)는, 제1 기관(121)과 제1 기관 홀더(120) 사이의 가스 갭 열전도를 향상시키기 위해 제1 기관(121)의 이면에 가스를 도입하도록 구성될 수 있고, 제1 기관(121)의 온도 제어는 고온 또는 저온에서 필요하다. 예컨대, 열전달 요소(122)는 2구역(중앙/가장자리) 이면 가스 요소를 포함할 수 있고, 헬륨 가스 갭 압력은 제1 기관(121)의 중앙과 가장자리 사이에서 독립적으로 변경될 수 있다.
- [0029] 몇몇 실시형태에서, 제1 기관 홀더(120)는 전극(127)을 포함할 수 있고, 이 전극을 통해 RF 전력이 플라즈마 처리 공간(125b)의 처리 플라즈마에 결합된다. 예를 들어, 제1 기관 홀더(120)는, RF 전력을 RF 발생기(126)로부터 제1 기관 홀더(120)의 전극(127)에 전송하는 것을 통해, RF 전압으로 전기적으로 바이어스될 수 있다. RF 바이어스가 사용되는 경우, RF 바이어스는 전자를 가열하여 플라즈마 처리 공간(125b)에 처리 플라즈마를 형성 및 유지하는 역할을 할 수 있다. RF 발생기(126)의 작동 주파수는 약 0.1 MHz 내지 약 100 MHz일 수 있다. 플라즈마 처리용 RF 시스템은 당업자에게 잘 알려져 있다. 별법으로서, RF 전력은 다수의 주파수로 기관 홀더의 전극에 인가될 수 있고 또는 필요하지 않을 수 있다. 다른 실시형태에서는, DC 전력이 전극(127)에 제공될 수 있다.
- [0030] 또한, 제1 기관 홀더(120)는, 제1 기관 홀더(120)의 주변 가장자리를 넘어 연장되는 제1 배플 부재(123)에 의해 둘러싸일 수 있다. 제1 배플 부재(123)는, 압력 제어 시스템(181)에 의해 제1 프로세스 챔버(110)의 내부에 전해지는 펌핑 속도를 균등하게 분배하는 역할을 할 수 있다. 제1 배플 부재(123)는 석영 또는 알루미늄 등의 유전체 재료로 제조될 수 있다. 제1 배플 부재(123)는, 제1 프로세스 챔버(110)의 내부의 플라즈마를 위한 접지부에 고 RF 임피던스를 제공할 수 있다.
- [0031] 몇몇 실시형태에서, 제1 도전성 포커스 링(106)이 사용될 수 있으며, 이 제1 도전성 포커스 링(106)은 실리콘 함유 재료를 포함할 수 있고, 제1 기관 홀더(120)의 위에 배치될 수 있다. 몇몇 예에서, 제1 도전성 포커스 링(106)은 기관의 가장자리에서 균일성을 향상시키기 위해 전극(127), 열전달 요소(122) 및 제1 기관(121)을 둘러싸도록 구성될 수 있다. 다른 예에서, 제1 도전성 포커스 링(106)은 제1 기관(121)의 가장자리 온도를 수정하는 데 사용될 수 있는 수정 링부(도시 생략)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 비전도성 포커스 링이 사용될 수 있다.
- [0032] 또한, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)은 제1 프로세스 챔버(110)에 연결된 하나 이상의 제1 프로세스 센서(132)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제1 프로세스 센서(132)의 수와 위치를 다르게 할 수 있다. 여러 실시형태에서, 제1 프로세스 센서(132)는 제1 프로세스 챔버(110)에서의 플라즈마로부터 방출된 광을 모니터링하는 하나 이상의 광학 디바이스를 구비할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 발광 분광(OES) 센서가 사용될 수 있고, OES 데이터는 점화 데이터, 운용 데이터, 또는 중점 데이터로서 사용될 수 있다.
- [0033] 제1 프로세스 센서(132)는 입력 가스, 프로세스 가스, 및/또는 배출 가스를 모니터링 및/또는 제어하기 위한 가스 검지 디바이스를 구비할 수 있다. 또한, 제1 프로세스 센서(132)는 압력 센서, 온도 센서, 전류 및/또는 전압 프로브, 전력계, 스펙트럼 분석기, 또는 RF 임피던스 분석기, 또는 이들의 임의의 조합을 구비할 수 있다. 또한, 제1 프로세스 센서(132)는 헬륨 이면 가스 압력, 헬륨 이면 흐름, 정전 클램핑(ESC) 전압, ESC 전류, 전압 홀더 온도[하부 전극(LEL) 온도], 냉각제 온도, DC 도전성 바이어스 전극 온도, 순방향 RF 전력, 반사 RF 전력, 전극 DC 바이어스, RF 피크 투 피크 전압, 챔버벽 온도, 프로세스 가스 유량, 프로세스 가스 분압, 매칭 회로 세팅, 포커스 링 두께, RF 시간, 포커스 링 RF 시간, 및 이들의 임의의 통계 자료와 관련된 센서를 구비할 수 있다.
- [0034] 또한, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)은 제1 플라즈마 소스(115)를 구비할 수 있고, 이 제1 플라즈마 소스는 제1 프로세스 챔버(110)에 연결되어 있으며, 플라즈마 발생 공간(125a)에 제1 플라즈마를 형성하거나, 플라즈마 처리 공간(125b)에 제2 플라즈마를 형성하거나, 또는 이들의 임의의 조합을 행하도록 구성되어 있다. 제1 플라즈마 소스(115)는 복수의 리세스(117)가 구비되어 있는 플라즈마 대향면(116)을 포함할 수

있다. 제1 플라즈마 소스(115)는 본 실시형태에 도시된 바와 같이 레이디얼 라인 슬롯 안테나(RLSA)를 구비할 수 있는 표면과 플라즈마(SWP) 소스를 포함할 수 있다. 변형예에서는, ICP 플라즈마 소스, CCP 플라즈마 소스, 또는 임의의 다른 플라즈마 소스가 사용될 수 있다.

[0035] 몇몇 실시형태에서, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)은 적어도 하나의 제1 가스 공급 라인(131)을 이용하여 제1 가스 공급 시스템(130)에 연결될 수 있는 하나 이상의 제1 가스 공급 요소(135)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제1 가스 공급 시스템(130), 제1 가스 공급 라인(131), 및/또는 제1 가스 공급 요소(135)는 다르게 구성될 수 있다. 제1 가스 공급 요소(135)는 제1 프로세스 챔버(110)에 연결될 수 있고, 제1 프로세스 가스를 제1 프로세스 챔버(110)에 제1 방향(136), 및/또는 제2 방향(137), 및/또는 제3 방향(138), 또는 이들의 임의의 조합으로 도입하도록 링 구조로 구성될 수 있다. 또한, 제1 가스 공급 요소(135)는 제1 프로세스 가스를 플라즈마 발생 공간(125a) 및/또는 플라즈마 처리 공간(125b)에 도입하도록 구성될 수 있다.

[0036] 다른 실시형태에서, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)은 적어도 하나의 제2 가스 공급 라인(141)을 이용하여 제2 가스 공급 시스템(140)에 연결될 수 있는 하나 이상의 제2 가스 공급 요소(145)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제2 가스 공급 시스템(140), 제2 가스 공급 라인(141), 및/또는 제2 가스 공급 요소(145)는 다르게 구성될 수 있다. 제2 가스 공급 요소(145)는 제1 프로세스 챔버(110)에 연결될 수 있고, 제2 프로세스 가스를 제1 프로세스 챔버(110)에 제1 방향(146), 및/또는 제2 방향(147), 및/또는 제3 방향(148), 또는 이들의 임의의 조합으로 도입하도록 링 구조로 구성될 수 있다. 또한, 제2 가스 공급 요소(145)는 제2 프로세스 가스를 플라즈마 발생 공간(125a) 및/또는 플라즈마 처리 공간(125b)에 도입하도록 구성될 수 있다.

[0037] 추가적인 실시형태에서, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)은 적어도 하나의 제3 가스 공급 라인(151)을 이용하여 제3 가스 공급 시스템(150)에 연결될 수 있는 하나 이상의 제3 가스 공급 요소(155)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제3 가스 공급 시스템(150), 제3 가스 공급 라인(151), 및/또는 제3 가스 공급 요소(155)는 다르게 구성될 수 있다. 제3 가스 공급 요소(155)는 제1 프로세스 챔버(110)에 연결될 수 있고, 제3 프로세스 가스를 제1 프로세스 챔버(110)에 제1 방향(156), 제2 방향(157), 또는 제3 방향(158), 또는 이들의 임의의 조합으로 도입하도록 구성될 수 있다. 또한, 제3 가스 공급 요소(155)는 제3 프로세스 가스를 플라즈마 발생 공간(125a) 및/또는 플라즈마 처리 공간(125b)에 도입하도록 구성될 수 있다.

[0038] 또 다른 추가적인 실시형태에서, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105)은 적어도 하나의 제4 가스 공급 라인(161)을 이용하여 제4 가스 공급 시스템(160)에 연결될 수 있는 하나 이상의 제4 가스 공급 요소(165)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제4 가스 공급 시스템(160), 제4 가스 공급 라인(161), 및/또는 제4 가스 공급 요소(165)는 다르게 구성될 수 있다. 제4 가스 공급 요소(165)는 제1 프로세스 챔버(110)의 바닥에 연결될 수 있고, 제4 프로세스 가스를 제1 프로세스 챔버(110)에 제1 방향(166), 또는 임의의 다른 방향으로 도입하도록 구성될 수 있다. 또한, 제4 가스 공급 요소(165)는 제4 프로세스 가스를 플라즈마 발생 공간(125a), 플라즈마 처리 공간(125b), 또는 이들의 임의의 조합에 도입하도록 구성될 수 있다.

[0039] 드라이 플라즈마 에칭 과정에서, 제1 및/또는 제2 프로세스 가스는 에칭제, 불활성제, 또는 불활성 가스, 또는 이들 중 2 이상의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, 산화규소(SiO_x) 또는 질화규소(Si_xN_y) 등의 유전체 필름을 플라즈마 에칭하는 경우, 플라즈마 에칭 가스 조성물은 대개 불화탄소계 화학 물질(C_xF_y), 예컨대 C_4F_8 , C_5F_8 , C_3F_6 , C_4F_6 , CF_4 등 중의 적어도 하나를 포함하거나, 및/또는 불화탄화수소계의 화학 물질($\text{C}_x\text{H}_y\text{F}_z$), 예컨대 CH_3F , CHF_3 , CH_2F_2 등 중의 적어도 하나를 포함할 수 있고, 불활성 가스, 산소, CO , CO_2 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다. 또한, 예를 들어 다결정 실리콘(폴리실리콘)을 에칭하는 경우, 플라즈마 에칭 가스 조성물은 할로젠 함유 가스, 예컨대 HBr , Cl_2 , NF_3 , 또는 SF_6 , 또는 이들 중 2 이상의 조합 등을 포함하고, 불화탄화수소계의 화학 물질($\text{C}_x\text{H}_y\text{F}_z$), 예컨대 CHF_3 , CH_2F_2 등 중의 적어도 하나와, 불활성 가스, 산소, CO , 또는 CO_2 중의 적어도 하나, 또는 이들 중의 2 이상을 포함할 수 있다. 플라즈마 강화 증착 과정에서, 프로세스 가스는 막 형성 전구체, 환원 가스, 또는 불활성 가스, 또는 이들 중 2 이상의 조합을 포함할 수 있다.

[0040] 또한, 제1 압력 제어 시스템(181)은, 제1 펌핑 시스템(180)을 제1 프로세스 챔버(110)에 연결하는 데 사용될 수 있고, 제1 프로세스 챔버(110)를 진공화할 뿐만 아니라 제1 프로세스 챔버(110) 내의 압력을 제어하도록 구성될 수 있다. 또한, 제1 제어 시스템(190)은 제1 프로세스 챔버(110), 제1 기관 홀더(120) 및 제1 플라즈마 소스(115)에 연결될 수 있다. 제1 제어 시스템(190)은, 하나 이상의 GIGDSC 관련 절차 또는 모델을 이용하여, GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100)에서 에칭 프로세스와 증착 프로세스 중 적어도 하나를 행하기 위한 GIGDSC 관련 프로세스 레시피를 실행하도록 구성될 수 있다.

- [0041] 도 1을 다시 참조해 보면, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100)은 200 mm 기관, 300 mm 기관, 또는 그보다 큰 기관을 처리하도록 구성될 수 있다. 실제로, 당업자라면 이해하듯이, GIGDSC 플라즈마 처리 시스템은 기관, 웨이퍼, 태양 전지판, 비디오 스크린, 또는 LCD를 그 크기와는 상관없이 처리하도록 구성될 수 있는 것으로 고려된다. 따라서, 반도체 기관의 처리와 관련하여 본 발명의 양태를 설명하지만, 본 발명은 이것에만 한정되는 것은 아니다.
- [0042] 전술한 바와 같이, 제1 프로세스 챔버(110)는, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및 125b)에서의 플라즈마의 발생 및 안정화를 조장하고, 플라즈마 처리 공간(125b)에서 제1 기관(121)의 표면 부근에 안정적인 프로세스 화학 플라즈마를 발생시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 에칭 프로세스에서, 프로세스 가스는 기관 표면에서 에칭된 물질과 해리시 반응하는 분자 성분을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 플라즈마가 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b)에 형성되어 있는 경우, 가열 전자가 플라즈마 형성 가스의 분자와 충돌하여, 해리를 초래할 수 있고 에칭 프로세스를 행하는 반응성 라디칼의 형성을 초래할 수 있다.
- [0043] 도 1은 제1 프로세스 챔버(110)의 상부에 있고 플라즈마 발생 공간(125a) 내에 있는 제1 위치에 제1 가스 공급 요소(135)를 도시하고 있지만, 본 발명은 이러한 구성에 한정되는 것이 아니다. 다른 구성에서는, 제1 가스 공급 요소(135)가 플라즈마 발생 공간(125a) 아래에 배치될 수 있다. 예를 들어, 제1 가스 공급 요소(135)는 제1 플라즈마 소스(115)의 플라즈마 대향면(외면)(116)으로부터 200 mm의 범위 내에 위치할 수 있고, 바람직하게는 제1 가스 공급 요소(135)는 제1 플라즈마 소스(115)의 플라즈마 대향면(외면)(116)으로부터 약 10 mm 내지 약 150 mm의 범위 내에 배치될 수 있다.
- [0044] 도 1은 제1 프로세스 챔버(110)의 하부에 있고 플라즈마 처리 공간(125b) 내에 있는 제2 위치에 제2 가스 공급 요소(145)를 도시하고 있지만, 본 발명은 이러한 구성에 한정되는 것이 아니다. 예를 들어, 제2 가스 공급 요소(145)는 제1 프로세스 챔버(110)의 바닥으로부터 200 mm의 범위 내에 위치할 수 있고, 바람직하게는 제2 가스 공급 요소(145)는 제1 프로세스 챔버(110)의 바닥으로부터 약 10 mm 내지 약 150 mm의 범위 내에 배치될 수 있다.
- [0045] 제1 프로세스 챔버(110)가 GIGDS 관련 절차 또는 기술을 이용하도록 구성되어 있는 경우에는, 도 1의 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100)에 도시된 바와 같이, 분리된 플라즈마 발생 공간(125a)과 플라즈마 처리 공간(125b)이, 종래의 플라즈마 처리 시스템에 비해 프로세스 제어 및 안정성 제어를 향상시킬 수 있다. 몇몇 예에서는, 플라즈마 처리 공간(125b)에는 저밀도, 저온의 안정적인 플라즈마를 형성하는 반면에, 플라즈마 발생 공간(125a)에는 고에너지 전자가 많이 존재하는 상태로, 고밀도 플라즈마의 형성을 제어하도록, 하나 이상의 가스 혼합물이 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)에 의해 제공될 수 있다. 가스 혼합물이 적어도 하나의 가벼운 가스와 적어도 하나의 무거운 가스를 포함하는 경우에는, 이들 가스 각각의 분자량의 차, 또는 중력값(즉, 가스상 성분의 분자량과 기준 분자량간의 비)의 차로 인하여, 적어도 하나의 가벼운 가스가 적어도 하나의 무거운 가스로부터 분리될 수 있다. 다른 예에서는, 가벼운 가스와 무거운 가스에 대해 별개의 주입 방안이 사용될 수 있다. 본 실시형태에 기재된 가스 분리 기술은, 서로 다른 영역에 서로 다른 중력값을 갖는 가스를 모음으로써, 플라즈마 발생 영역과 기관 표면 영역 모두에서 프로세스에 대한 제어를 증대시킨다. 이러한 기법을 이용함으로써, 기관 표면에서의 플라즈마 발생(안정성, 균일성 등을 포함), 가스 화학 및 플라즈마 화학이 제어될 수 있다.
- [0046] 또한, 도 1에 도시된 예시적인 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100)의 구성은, 고에너지 플라즈마 종이 플라즈마 처리 공간(125b)을 통과하지 못하게 함으로써, 제1 기관 홀더(120) 등과 같은 챔버 구성 요소에 대한 손상을 줄일 수 있다. 도 1을 다시 참조해 보면, 플라즈마 발생 공간(125a)은 고농도의 하나 이상의 "가벼운 가스"를 포함할 수 있는 "가벼운 가스" 영역으로서 정해질 수 있고; 제2 프로세스 공간 중 제1 부분은 하나 이상의 "가벼운 가스"와 하나 이상의 "무거운 가스"의 조합을 포함할 수 있는 "혼합 가스" 영역으로서 정해질 수 있으며; 제2 프로세스 공간 중 제2 부분은 고농도의 하나 이상의 "무거운 가스"를 포함할 수 있는 "무거운 가스" 영역으로서 정해질 수 있다.
- [0047] 몇몇 예에서, 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물이 SWP 소스에서 플라즈마를 발생시키는 데 사용되는 경우, 안정성 제어가 문제될 수 있다. 안정성 제어가 문제되는 경우, 플라즈마 발생 영역이 상측에 있다면, H₂, He, 또는 Ne 가스 등과 같은 하나 이상의 "가벼운 가스"가 SWP 소스의 플라즈마에 있는 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물에 추가될 수 있다. "가벼운 가스"는 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)를 이용하여 제1 프로세스 챔버(110)의 측면, 바닥, 또는 천장으로부터 제1 프로세스 챔버(110)에 주입될 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)가 필요하지 않을 수도 있다. 가벼운 가스와 무거운 가스는 개

별적으로 주입되거나 또는 혼합물로서 주입될 수 있고, 가벼운 가스는 다른 무거운 가스로부터 신속하게 분리될 수 있으며, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]의 상부 부근에 모일 수 있다. 따라서, 플라즈마 발생은, 양극(陽極) 방전만이 있는 플라즈마 발생 공간(125a)에서 주로 가벼운 가스에 의해 유지되어, 양전기 가스와 음전기 가스의 혼합에 의해 발생된 플라즈마보다 안정적이다. 매우 낮은 압력에서는, 상호 확산으로 인해 가벼운 가스와 무거운 가스간의 구분이 매우 모호할 수 있다. 이러한 경우에는, 중력값의 차이로 인해 가벼운 가스가 상층의 플라즈마 발생 영역 부근에 많이 모이고, 가벼운 가스는 저농도/희박 농도의 프로세스 가스와 공존한다. 단지 예를 들어 Ar/O₂ 등과 같은 통상의 프로세스 가스를 사용하는 것으로 인해 본래 파괴될 수 있는 전자 부착 및 전자 이탈 프로세스의 밸런스를 잡기 위하여, H₂와 같이 쉽게 이온화되는 가벼운 가스나, 혹은 He 또는 Ne와 같이 "쉽게 이온화되지 않는" 가벼운 가스를, 전자 부착과 전자 이탈간의 밸런스에 따라 추가할 수 있다. 기판/웨이퍼 레벨에서, 프로세스 가스 이온화는 상층 플라즈마에서 발생된 플라즈마 전자에 의해 적어도 부분적으로 개시될 수 있다. 이러한 식으로, 2구역 플라즈마가 형성될 수 있다. 상층 양전기 플라즈마 구역[플라즈마 발생 공간(125a)]은 안정성을 제어할 수 있고, 하층 음전기 플라즈마 구역[플라즈마 처리 공간(125b)]은 웨이퍼 프로세스(프로세스 화학)를 제어할 수 있다. H₂, He 및 Ne는 처리 과정에서 유익하게 사용될 수 있는 이온화 퍼텐셜이 서로 다르다는 것은 잘 알려져 있다. 플라즈마를 안정화시키고 프로세스 작동 조건 윈도우를 확장시킬 수 있도록, 쉽게 방전되는 H₂나 혹은 비교적 어렵게 방전되는 He 또는 Ne를, 프로세스 조건과 프로세스 목적에 따라, 프로세스 과정에서 사용 및 혼합할 수 있다. 프로세스에 따라, 무거운 가스에 대한 가벼운 가스의 유량비 또는 분압을 조정할 수 있다. Ar/O₂ 혼합물만이 사용되는 경우, 예를 들어 Ar/O₂ 혼합물은 안정성 문제를 야기할 수 있다. Ar과 O₂는 유사한 분자량을 갖기 때문에, 이들 가스는 예를 들어 제1 프로세스 챔버(110)에서 고르게 혼합될 수 있다. 이러한 경우에, 플라즈마 발생 영역 부근에 음전기 가스가 많이 존재할 수 있고, 이는 안정성 문제를 야기할 수 있다. 또한, 플라즈마가 발생된 후에, 추가 O₂ 분자가 Ar 원자보다 가벼운 O 원자 또는 라디칼로 해리될 수 있고, O 원자는 플라즈마 발생 영역을 향해 보다 쉽게 상방으로 확산되어, 더 심각한 안정성 문제를 야기할 수 있다.

[0048]

다른 예에서, 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물이 SWP 소스에서 플라즈마를 발생시키는 데 사용되는 경우에는, EM 방사가 문제될 수 있으며, 이 문제는 방전 조건에 좌우될 수 있다. EM 방사가 문제되는 경우, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]이 상층에 있다면, H₂, He, 또는 Ne 가스 등과 같은 하나 이상의 "가벼운 가스"가 SWP 소스의 플라즈마에 있는 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물에 추가될 수 있다. "가벼운 가스"는 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)를 이용하여 제1 프로세스 챔버(110)의 측면, 바닥, 또는 천장으로부터 제1 프로세스 챔버(110)에 주입될 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)가 필요하지 않을 수도 있다. 가벼운 가스는 무거운 가스로부터 신속하게 분리되며, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]의 상부 부근에 모인다. 따라서, 플라즈마 발생은, 양극 방전만이 있는 플라즈마 발생 공간(125a)에서 주로 가벼운 가스에 의해 유지되어, 양전기 가스와 음전기 가스의 혼합에 의해 발생된 플라즈마보다 안정적이다. 플라즈마 발생 영역[플라즈마 발생 공간(125a)]에는 주로 H₂, He, 또는 Ne 가스 등과 같이 양전기 방전된 가벼운 가스가 있으므로, 이 영역 부근의 전자 밀도는, 예를 들어 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물만을 사용하여 달성되는 전자 밀도보다 훨씬 높다. 그 결과, EM 방사는 상기 영역[플라즈마 발생 공간(125a)] 부근의 플라즈마 전자에 의해 보다 쉽게 차단되어, 기판/웨이퍼 영역에 보다 청정한 프로세스 공간[플라즈마 처리 공간(125b)]을 제공할 수 있다. 이러한 절차를 입증하기 위해 실험 결과를 첨부하였다.

[0049]

또 다른 예에서, 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물이 SWP 소스에서 플라즈마를 발생시키는 데 사용되는 경우, 프로세스 윈도우의 크기가 문제될 수 있다. 프로세스 윈도우의 크기가 문제되는 경우, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]이 상층에 있다면, H₂, He, 또는 Ne 가스 등과 같은 하나 이상의 "가벼운 가스"가 SWP 소스의 플라즈마에 있는 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물에 추가될 수 있다. "가벼운 가스"는 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145 및 155)를 이용하여 제1 프로세스 챔버(110)의 측면, 바닥, 또는 천장으로부터 제1 프로세스 챔버(110)에 주입될 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145 및 155)이 필요하지 않을 수도 있다. 가벼운 가스는 무거운 가스로부터 신속하게 분리되며, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]의 상부 부근에 모인다. 예를 들어, "가벼운 가스"가 플라즈마를 안정화하는 데 사용되는 경우, 전력 및 압력 등과 같은 더 많은 프로세스 조건이 사용될 수 있다. 또한, "가벼운 가스"를 이용하

여 플라즈마 발생 영역 부근에 형성된 국소 플라즈마에서 달성되는 높은 전자 밀도를 이용해 EM 방사를 차단함으로써, 저밀도 플라즈마 문제가 없어지거나 줄어들 수 있다. 가벼운 가스에 의해 EM 방사를 차단하지 않으면, 저전력 고압 등과 같은 특정의 저밀도 플라즈마 조건이 프로세스 윈도우를 제한할 수 있다. 그러나, EM 방사를 차단하면, EM 방사를 감안하지 않고서, 이러한 저밀도 플라즈마 조건을 사용할 수 있다. 이런 식으로, SWP 소스의 전력 효율이 향상될 수 있다.

[0050] 추가적인 예에서, 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물이 SWP 소스에서 플라즈마를 발생시키는 데 사용되는 경우, 상측 유전체판 및/또는 챔버벽에 대한 오염 및/또는 침식의 양이 문제될 수 있다. 상측 유전체판 및/또는 챔버벽에 대한 오염 및/또는 침식의 양이 문제되는 경우, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]이 상측에 있다면, H₂, He, 또는 Ne 가스 등과 같은 하나 이상의 "가벼운 가스"가 SWP 소스의 플라즈마에 있는 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물에 추가될 수 있다. "가벼운 가스"는 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)를 이용하여 제1 프로세스 챔버(110)의 측면, 바닥, 또는 천장으로부터 제1 프로세스 챔버(110)에 주입될 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)가 필요하지 않을 수도 있다. 가벼운 가스는 무거운 가스로부터 신속하게 분리되며, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]의 상부 부근에 모인다. 예를 들어, "가벼운 가스"가 천장 부근에 모이는 경우, 유전체판에 대한 화학적 침식과 물리적 스퍼터링 모두가 급격히 줄어들게 된다. GIGDSC 기술은 유전체판의 수명을 늘릴 수 있고, 유전체판에 대한 오염을 줄여 유전체판의 세정 부담을 줄일 수 있으며, 플라즈마 공간과 기판/웨이퍼 상에서의 입자 밀도를 줄일 수 있다.

[0051] 몇몇 추가 예에서, 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물이 SWP 소스에서 플라즈마를 발생시키는 데 사용되는 경우, 플라즈마 균일성이 문제될 수 있다. 플라즈마 균일성이 문제되는 경우, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]이 상측에 있다면, H₂, He, 또는 Ne 가스 등과 같은 하나 이상의 "가벼운 가스"가 SWP 소스의 플라즈마에 있는 순수 O₂ 또는 Ar/O₂ 혼합물에 추가될 수 있다. "가벼운 가스"는 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)를 이용하여 제1 프로세스 챔버(110)의 측면, 바닥, 또는 천장으로부터 제1 프로세스 챔버(110)에 주입될 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)가 필요하지 않을 수도 있다. 가벼운 가스는 무거운 가스로부터 신속하게 분리되며, 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)]의 상부 부근에 모인다. 예를 들어, "가벼운 가스"가 플라즈마에 사용되는 경우에는, 실질적으로 순수한 양전기 방전 가스가 프로세스 챔버(110)에서 플라즈마 발생 공간(125a) 부근에 모일 수 있기 때문에, 플라즈마 균일성이 향상될 수 있다. 이로써, 리세스(캐비티)의 설계 및 가공이 간단해질 수 있기 때문에, 유전체판 설계가 간단해질 수 있다. 양전기 가스와 관련된 문제가 줄어들 수 있기 때문에, 보다 간단한 패턴의 리세스(캐비티)를 사용하여 보다 균일한 플라즈마를 얻을 수 있다.

[0052] 플라즈마 균일성 제어에 관한 몇몇 예에서는, 플라즈마 균일성을 제어하기 위해 하나 이상의 "가벼운 가스"를 맥동시키는 데, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)가 사용될 수 있다. 예를 들어, He와 같은 "가벼운 가스"는 약 1 Hz 내지 약 100 Hz의 범위일 수 있는 제1 주파수로 주입될 수 있고, 제1 주파수는 소정 압력에 대한 가스 확산율에 기초하여 정해질 수 있으며, 유전체판 부근에서의 이온화 및 플라즈마 균일성을 제어하기 위해 가변 듀티 사이클(온/오프)이 사용될 수 있다.

[0053] 플라즈마 균일성 제어에 관한 몇몇 추가 예에서는, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)가, 프로세스 챔버(110)의 상부에 구성될 수 있고, He 등과 같은 적어도 하나의 "가벼운 가스"를 제1 플라즈마 소스(115)의 바닥부에 가까운 외부 영역에 주입 및/또는 맥동시키는 데 사용될 수 있으며, 제1 플라즈마 소스(115)의 유전체판에 근접해 있을 수 있다. 이런 식으로, 플라즈마 균일성이 가장자리에서부터 중앙까지 제어될 수 있다.

[0054] 몇몇 다른 예에서, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)는 프로세스 챔버(110)의 천장 및/또는 바닥에 구성될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및 165)는 He 및 H₂ 등과 같은 2 이상의 "가벼운 가스"를 맥동시키는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 가스 중 하나의 이온화 에너지가 낮고(예컨대 H₂, 13.6 eV), 다른 가스의 이온화 에너지가 높은(예컨대, He, 24.6 eV) 경우에, 듀티 사이클은 서로 다른 두 가스에 관한 것일 수 있다. 또한, 주입은 일정 유량으로 유지될 수 있지만, 서로 다른 가스에 대해 서로 다른 듀티 사이클이 사용될 수 있다. 각 가스 펄스의 지속시간은 소정의 챔버 압력에서의 가스 확산율에 기초하여 산출될 수 있다. 예를 들어, 가스 공급 요소(135, 145, 155, 및/또는 165)는 펄스 속도, 유량, 또는 방향, 또는 이들의 임의의 조합이 서로 다를 수 있다.

- [0055] 플라즈마 균일성 제어에 관한 또 다른 예에서는, 제1 프로세스 챔버(110)의 상부에서 플라즈마 밀도를 제어하기 위해, He 및 H₂와 같은 2 이상의 "가벼운 가스"를 맥동시킬 수 있다. 예를 들어, 가스 공급 요소(135, 145, 및/또는 155)는 펄스 속도, 유량, 또는 방향, 또는 이들의 임의의 조합이 서로 다를 수 있다.
- [0056] 오염에 관한 몇몇 예에서, 제1 가스 공급 요소(135)는 프로세스 챔버(110)에 구성될 수 있고, 제1 가스 공급 요소(135)는, 제1 프로세스 챔버(110)의 외부 영역 부근에 플라즈마의 보호벽을 형성하기 위해, He 및 H₂와 같은 하나 이상의 이온화 에너지가 낮은 가벼운 가스를 제1 방향(하방)(136)으로 주입 및/또는 맥동시키는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 이온화 에너지가 낮은 가벼운 가스의 플라즈마의 보호벽은, 제1 프로세스 챔버(110)의 벽에 퇴적된 오염물의 양을 줄이고, 이 벽으로부터 오염물을 제거하는 데 드는 세정 시간을 줄이는 데 사용될 수 있다.
- [0057] 균일성에 관한 몇몇 예에서, 제1 가스 공급 요소(135)와 제2 가스 공급 요소(145)는, 프로세스 챔버(110) 내에 구성될 수 있고, 이들 가스 공급 요소(135 및 145)는, 제1 프로세스 챔버(110)의 외부 영역 부근에 고도로 이온화된 플라즈마의 벽을 형성하기 위해, He 및 H₂와 같은 2 이상의 가벼운 가스를 맥동시키는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 가스 공급 요소(135 및/또는 145)는, 특정 타입의 플라즈마 챔버에서의 제1 기관 홀더(120) 부근에 고도로 이온화된 플라즈마의 벽을 형성하여 중앙 영역과 외부 영역의 플라즈마 밀도의 밸런스를 맞추기 위하여, 하나 이상의 "가벼운 가스"를 제1 방향(136 및/또는 146) 및/또는 제2 방향(137 및/또는 147)으로 도입하도록 구성될 수 있다.
- [0058] 다른 예에서는, 제1 프로세스 챔버(110)가 GIGDSC 기술을 사용하도록 구성되어 있는 경우, 가벼운 양전기 방전 가스가 플라즈마 발생 영역[예컨대, 플라즈마 발생 공간(125a)] 부근에 모이고, 무거운 음전기 방전 가스가 플라즈마 발생 영역 아래에 더 모일 것이다. 음전기 방전 가스가 모여 있는 영역에서 전자가 훨씬 더 아래에 있기 때문에, 통상의 플라즈마 발생 방법에 비해 보다 많은 음이온 및 해리 라디칼이 생성될 수 있다.
- [0059] 다른 플라즈마 제어에 관한 몇몇 예에서, 플라즈마 소스는 용량 결합형 플라즈마 소스, 또는 유도 결합형 플라즈마 소스, 또는 마이크로파 ECR 플라즈마 소스 등과 같은 임의의 다른 타입의 플라즈마 소스를 포함할 수 있다. 기본 개념은 플라즈마 발생을 제어하는 데 중력에 의한 가스 확산 분리 기술을 사용하는 것이며, 이 기술은 상기한 플라즈마 소스에도 적용될 수 있다. 플라즈마 안정성, 플라즈마 균일성, 플라즈마 밀도, 프로세스 윈도우, 오염 및 침식, EM 방사, 가스 플라즈마 화학 및 웨이퍼 플라즈마 화학은, 본 실시형태에 기술된 방법 및 기술을 사용하여 제어될 수 있다.
- [0060] 도 2는 본 발명의 실시형태에 따른 제2 중력에 의한 가스 확산 분리 제어형(GIGDSC) 플라즈마 처리 시스템을 간단히 모식적으로 보여주는 개략도이다. 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)은 드라이 플라즈마 에칭 시스템 또는 플라즈마 강화 증착 시스템 또는 임의의 플라즈마 처리 시스템을 포함할 수 있다. 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)은 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)과, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)에 연결된 제1 가스 공급 시스템(230)과, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)에 연결된 제2 가스 공급 시스템(240)과, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)에 연결된 제3 가스 공급 시스템(250)과, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)에 연결된 제4 가스 공급 시스템(260)과, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)에 연결된 제2 펌핑 시스템(280), 그리고 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)에 연결되어 있고 제1 가스 공급 시스템(230)에 연결되어 있으며 제2 가스 공급 시스템(240)에 연결되어 있고 제3 가스 공급 시스템(250)에 연결되어 있으며 제4 가스 공급 시스템(260)에 연결되어 있고 제2 펌핑 시스템(280)에 연결되어 있으며 제2 압력 제어 시스템(281)에 연결되어 있는 제2 제어기(290)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)에서의 소기의 요소에 제2 제어기(290)를 연결하는 데 제2 제어 버스(291)가 사용될 수 있다.
- [0061] 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)은 복수의 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및 225b)을 형성하도록 구성된 제2 프로세스 챔버(210)를 포함할 수 있다. 제2 프로세스 챔버(210)는 제2 기관(221)을 지지하도록 구성된 제2 기관 홀더(220)를 포함할 수 있다. 제2 프로세스 챔버(210)가 복수의 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및 225b)을 포함하는 경우에, 제2 기관(221)은 플라즈마 처리 공간(225b)의 플라즈마 또는 프로세스 화학에 노출될 수 있다. 또한, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)은 제2 플라즈마 소스(215)를 구비할 수 있고, 이 제2 플라즈마 소스는 제2 프로세스 챔버(210)에 연결되어 있으며, 플라즈마 발생 공간(225a)에 안정화 플라즈마를 형성하거나, 및/또는 플라즈마 처리 공간(225b)에 프로세스 플라즈마를 형성하도록 구성되어 있다. 제2 플라즈마 소스(215)는 복수의 리세스(217)가 구비되어 있는 플라즈마 대향면(216)을 포함할 수 있다. 제2 플라즈마 소스(215)는 후술하는 레이디얼 라인 슬롯 안테나(RLSA)를 구비할 수 있는 표면과 플라

즈마(SWP) 소스를 포함할 수 있다. 변형예에서는, ICP 플라즈마 소스, CCP 플라즈마 소스, 또는 임의의 다른 플라즈마 소스가 사용될 수 있다.

[0062] 몇몇 실시형태에서, 제2 기관 홀더(220)는 접지부에 연결될 수 있다. 별법으로서, 제2 기관 홀더(220)는 접지부로부터 분리될 수 있다. 예를 들어, 제2 기관(221)이 기관 홀더(220)에 클램핑된 경우, 세라믹 정전 클램핑(ESC) 층이 제2 기관(221)을 접지된 기관 홀더(220)로부터 절연할 수 있다.

[0063] 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(205)은 제2 기관 홀더(220)에 있는 온도 제어 요소(229)에 연결되어 제2 기관(221)의 온도를 조정 및 제어하도록 구성되어 있는 기관 온도 제어 시스템(228)을 포함할 수 있다. 별법으로서, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(205)은 제2 프로세스 챔버(210)의 하나 이상의 벽에 및/또는 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(205) 내의 임의의 다른 구성 요소에 온도 제어 요소(도시 생략)를 구비할 수 있다.

[0064] 제2 기관(221)과 제2 기관 홀더(220) 사이의 열전달을 향상시키기 위하여, 제2 기관 홀더(220)는 열제어 시스템(224)에 연결될 수 있는 하나 이상의 열전달 요소(222)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 열전달 요소(222)는, 열제어 시스템(224)의 클램핑 서플라이에 연결될 수 있고 제2 기관(221)을 제2 기관 홀더(220)의 상면에 부착하는 데 사용될 수 있는 정전 클램핑(ESC) 전극(도시 생략)을 포함할 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 하나 이상의 열전달 요소(222)는 접지된 상태의 제2 기관 홀더(220)로부터 제2 기관(221)을 분리시키는 데 사용될 수 있다. 또한, 열전달 요소(222)는, 열제어 시스템(224)의 이면 가스 공급 시스템에 연결될 수 있는 이면 가스 요소(도시 생략)를 더 구비할 수 있다. 하나 이상의 열전달 요소(222)는, 제2 기관(221)과 제2 기관 홀더(220) 사이의 가스 갭 열전도를 향상시키기 위해 제2 기관(221)의 이면에 가스를 도입하도록 구성될 수 있고, 제2 기관(221)의 온도 제어는 고온 또는 저온에서 필요하다. 예컨대, 열전달 요소(222)는 2구역(중앙/가장자리) 이면 가스 요소를 포함할 수 있고, 헬륨 가스 갭 압력은 제2 기관(221)의 중앙과 가장자리 사이에서 독립적으로 변경될 수 있다.

[0065] 몇몇 실시형태에서, 제2 기관 홀더(220)는 전극(227)을 포함할 수 있고, 이 전극을 통해 RF 전력이 플라즈마 처리 공간(225b)의 처리 플라즈마에 결합된다. 예를 들어, 제2 기관 홀더(220)는, RF 전력을 RF 발생기(226)로부터 제2 기관 홀더(220)의 전극(227)에 전송하는 것을 통해, RF 전압으로 전기적으로 바이어스될 수 있다. RF 바이어스가 사용되는 경우, RF 바이어스는 전자를 가열하여 플라즈마 처리 공간(225b)에 처리 플라즈마를 형성 및 유지하는 역할을 할 수 있다. RF 발생기(226)의 작동 주파수는 약 0.1 MHz 내지 약 100 MHz일 수 있다. 플라즈마 처리용 RF 시스템은 당업자에게 잘 알려져 있다. 별법으로서, RF 전력은 다수의 주파수로 기관 홀더의 전극에 인가될 수 있고 또는 필요하지 않을 수 있다. 다른 실시형태에서는, DC 전력이 전극(227)에 제공될 수 있다.

[0066] 또한, 제2 기관 홀더(220)는, 제2 기관 홀더(220)의 주변 가장자리를 넘어 연장되는 제2 배플 부재(123)에 의해 둘러싸일 수 있다. 제2 배플 부재(223)는, 압력 제어 시스템(281)에 의해 제2 프로세스 챔버(210)의 내부에 전해지는 펌핑 속도를 균등하게 분배하는 역할을 할 수 있다. 제2 배플 부재(223)는 석영 또는 알루미늄 등의 유전체 재료로 제조될 수 있다. 제2 배플 부재(223)는, 제2 프로세스 챔버(210)의 내부의 플라즈마를 위한 접지부에 고 RF 임피던스를 제공할 수 있다.

[0067] 몇몇 실시형태에서, 제2 도전성 포커스 링(206)이 사용될 수 있으며, 이 제2 도전성 포커스 링(206)은 실리콘 함유 재료를 포함할 수 있고, 제2 기관 홀더(220)의 위에 배치될 수 있다. 몇몇 예에서, 제2 도전성 포커스 링(206)은 기관의 가장자리에서 균일성을 향상시키기 위해 전극(227), 열전달 요소(222) 및 제2 기관(221)을 둘러싸도록 구성될 수 있다. 다른 예에서, 제2 도전성 포커스 링(206)은 제2 기관(221)의 가장자리 온도를 수정하는 데 사용될 수 있는 수정 링부(도시 생략)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 비전도성 포커스 링이 사용될 수 있다.

[0068] 또한, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)은 제2 프로세스 챔버(210)에 연결된 하나 이상의 제2 프로세스 센서(232)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제2 프로세스 센서(232)의 수와 위치를 다르게 할 수 있다. 여러 실시형태에서, 제2 프로세스 센서(232)는 제2 프로세스 챔버(210)에서의 플라즈마로부터 방출된 광을 모니터링하는 하나 이상의 광학 디바이스를 구비할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 발광 분광(OES) 센서가 사용될 수 있고, OES 데이터는 점화 데이터, 운용 데이터, 또는 중점 데이터로서 사용될 수 있다.

[0069] 제2 프로세스 센서(232)는 입력 가스, 프로세스 가스, 및/또는 배출 가스를 모니터링 및/또는 제어하기 위한 가스 검지 디바이스를 구비할 수 있다. 또한, 제2 프로세스 센서(232)는 압력 센서, 온도 센서, 전류 및/또는 전압 프로브, 전력계, 스펙트럼 분석기, 또는 RF 임피던스 분석기, 또는 이들의 임의의 조합을 구비할 수

있다. 또한, 제2 프로세스 센서(232)는 헬륨 이면 가스 압력, 헬륨 이면 흐름, 정전 클램핑(ESC) 전압, ESC 전류, 전압 홀더 온도[하부 전극(LEL) 온도], 냉각제 온도, DC 도전성 바이어스 전극 온도, 순방향 RF 전력, 반사 RF 전력, 전극 DC 바이어스, RF 피크 투 피크 전압, 챔버벽 온도, 프로세스 가스 유량, 프로세스 가스 분압, 매칭 회로 세팅, 포커스 링 두께, RF 시간, 포커스 링 RF 시간, 및 이들의 임의의 통계 자료와 관련된 센서를 구비할 수 있다.

[0070] 또한, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)은 제2 플라즈마 소스(215)를 구비할 수 있고, 이 제2 플라즈마 소스는 제2 프로세스 챔버(210)에 연결되어 있으며, 플라즈마 발생 공간(225a)에 안정화 플라즈마를 형성하거나, 및/또는 플라즈마 처리 공간(225b)에 프로세스 플라즈마를 형성하도록 구성되어 있다. 제2 플라즈마 소스(215)는 본 실시형태에 도시 및 기재된 바와 같이 레이디얼 라인 슬롯 안테나(RLSA)를 구비할 수 있는 표면과 플라즈마(SWP) 소스를 포함할 수 있다. 별법으로서, 제2 플라즈마 소스(215)는 RF CCP, ICP, 마이크로파 ECR 등과 같은 다른 플라즈마 소스를 포함할 수 있다.

[0071] 몇몇 실시형태에서, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)은 적어도 하나의 제1 가스 공급 라인(231)을 이용하여 제1 가스 공급 시스템(230)에 연결될 수 있는 하나 이상의 제1 가스 공급 요소(235)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제1 가스 공급 시스템(230), 제1 가스 공급 라인(231), 및/또는 제1 가스 공급 요소(235)는 다르게 구성될 수 있다. 제1 가스 공급 요소(235)는 제2 프로세스 챔버(210)에 연결될 수 있고, 제1 프로세스 가스를 제2 프로세스 챔버(210)에 제1 방향(236), 및/또는 제2 방향(237), 및/또는 제3 방향(238), 또는 이들의 임의의 조합으로 도입하도록 구성될 수 있다. 또한, 제1 가스 공급 요소(235)는 제1 프로세스 가스를 플라즈마 발생 공간(225a) 및/또는 플라즈마 처리 공간(225b)에 도입하도록 구성될 수 있다.

[0072] 다른 실시형태에서, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)은 적어도 하나의 제2 가스 공급 라인(241)을 이용하여 제2 가스 공급 시스템(240)에 연결될 수 있는 하나 이상의 제2 가스 공급 요소(245)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제2 가스 공급 시스템(240), 제2 가스 공급 라인(241), 및/또는 제2 가스 공급 요소(245)는 다르게 구성될 수 있다. 제2 가스 공급 요소(245)는 제2 프로세스 챔버(210)에 연결될 수 있고, 제2 프로세스 가스를 제2 프로세스 챔버(210)에 제1 방향(246), 및/또는 제2 방향(247), 및/또는 제3 방향(248), 또는 이들의 임의의 조합으로 도입하도록 구성될 수 있다. 또한, 제2 가스 공급 요소(245)는 제2 프로세스 가스를 플라즈마 발생 공간(225a) 및/또는 플라즈마 처리 공간(225b)에 도입하도록 구성될 수 있다.

[0073] 추가적인 실시형태에서, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)은 적어도 하나의 제3 가스 공급 라인(251)을 이용하여 제3 가스 공급 시스템(250)에 연결될 수 있는 하나 이상의 제3 가스 공급 요소(255)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제3 가스 공급 시스템(250), 제3 가스 공급 라인(251), 및/또는 제3 가스 공급 요소(255)는 다르게 구성될 수 있다. 제3 가스 공급 요소(255)는 제2 프로세스 챔버(210)에 연결될 수 있고, 제3 프로세스 가스를 제2 프로세스 챔버(210)에 제1 방향(256), 제2 방향(257), 또는 제3 방향(258), 또는 이들의 임의의 조합으로 도입하도록 구성될 수 있다. 또한, 제3 가스 공급 요소(255)는 제3 프로세스 가스를 플라즈마 발생 공간(225a) 및/또는 플라즈마 처리 공간(225b)에 도입하도록 구성될 수 있다.

[0074] 또 다른 추가적인 실시형태에서, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205)은 적어도 하나의 제4 가스 공급 라인(261)을 이용하여 제4 가스 공급 시스템(260)에 연결될 수 있는 하나 이상의 제4 가스 공급 요소(265)를 구비할 수 있다. 별법으로서, 제4 가스 공급 시스템(260), 제4 가스 공급 라인(261), 및/또는 제4 가스 공급 요소(265)는 다르게 구성될 수 있다. 제4 가스 공급 요소(265)는 제2 프로세스 챔버(210)의 천장에 연결될 수 있고, 제4 프로세스 가스를 제2 프로세스 챔버(210)에 제1 방향(156), 또는 임의의 다른 방향으로 도입하도록 구성될 수 있다. 또한, 제4 가스 공급 요소(265)는 제4 프로세스 가스를 플라즈마 발생 공간(225a) 및/또는 플라즈마 처리 공간(225b)에 도입하도록 구성될 수 있다.

[0075] 플라즈마 에칭 과정에서, 제1 및/또는 제2 프로세스 가스는 에칭제, 불활성제, 또는 불활성 가스, 또는 이들 중 2 이상의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, 산화규소(SiO_x) 또는 질화규소(Si_xN_y) 등의 유전체 필름을 플라즈마 에칭하는 경우, 플라즈마 에칭 가스 조성물은 대개 불화탄소계 화학 물질(C_xF_y), 예컨대 C_4F_8 , C_5F_8 , C_3F_6 , C_4F_6 , CF_4 등 중의 적어도 하나를 포함하거나, 및/또는 불화탄화수소계의 화학 물질($C_xH_yF_z$), 예컨대 CH_3F , CHF_3 , CH_2F_2 등 중의 적어도 하나를 포함할 수 있고, 불활성 가스, 산소, CO, CO_2 중의 적어도 하나를 포함할 수 있다. 또한, 예를 들어 다결정 실리콘(폴리실리콘)을 에칭하는 경우, 플라즈마 에칭 가스 조성물은 할로젠 함유 가스, 예컨대 HBr, Cl_2 , NF_3 , 또는 SF_6 , 또는 이들 중 2 이상의 조합 등을 포함하고, 불화탄화수소계의 화학 물질($C_xH_yF_z$), 예컨대 CHF_3 , CH_2F_2 등 중의 적어도 하나와, 불활성 가스, 산소, CO, 또는 CO_2 중의

적어도 하나, 또는 이들 중의 2 이상을 포함할 수 있다. 플라즈마 강화 증착 과정에서, 프로세스 가스는 막 형성 전구체, 환원 가스, 또는 불활성 가스, 또는 이들 중 2 이상의 조합을 포함할 수 있다.

[0076] 또한, 제2 압력 제어 시스템(281)은, 제2 펌핑 시스템(280)을 제2 프로세스 챔버(210)에 연결하는 데 사용될 수 있고, 제2 프로세스 챔버(210)를 진공화할 뿐만 아니라 제2 프로세스 챔버(210) 내의 압력을 제어하도록 구성될 수 있다. 또한, 제2 제어 시스템(290)은 제2 프로세스 챔버(210), 제2 기관 홀더(220) 및 제2 플라즈마 소스(215)에 연결될 수 있다. 제2 제어 시스템(290)은, GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)에서 에칭 프로세스와 증착 프로세스 중 적어도 하나를 행하기 위한 GIGDSC 관련 프로세스 레시피를 실행하도록 구성될 수 있다.

[0077] 도 2를 다시 참조해 보면, 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)은 200 mm 기관, 300 mm 기관, 또는 그보다 큰 기관을 처리하도록 구성될 수 있다. 실제로, 당업자라면 이해하듯이, GIGDSC 플라즈마 처리 시스템은 기관, 웨이퍼, 태양 전지판, 비디오 스크린, 또는 LCD를 그 크기와는 상관없이 처리하도록 구성될 수 있는 것으로 고려된다. 따라서, 반도체 기관의 처리와 관련하여 본 발명의 양태를 설명하지만, 본 발명은 이것에만 한정되는 것은 아니다.

[0078] 전술한 바와 같이, 제2 프로세스 챔버(210)는, 플라즈마 발생 공간(225a)에서의 플라즈마의 발생 및 안정화를 조장하고, 플라즈마 처리 공간(225b)에서 제2 기관(221)의 표면 부근에 프로세스 화학 플라즈마를 발생시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 에칭 프로세스에서, 프로세스 가스는 기관 표면에서 에칭된 물질과 해리시에 반응하는 분자 성분을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 플라즈마가 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b)에 형성되어 있는 경우, 가열 전자가 플라즈마 형성 가스의 분자와 충돌하여, 해리를 초래할 수 있고 에칭 프로세스를 행하는 반응성 라디칼의 형성을 초래할 수 있다.

[0079] 도 2는 제2 프로세스 챔버(210)의 하부에 있는 제1 위치에 제1 가스 공급 요소(235)를 도시하고 있지만, 본 발명은 이러한 구성에 한정되는 것이 아니다. 예를 들어, 제1 가스 공급 요소(235)는 제2 플라즈마 소스(215)의 플라즈마 대향면(외면)(216)으로부터 200 mm의 범위 내에 위치할 수 있고, 바람직하게는 제1 가스 공급 요소(235)는 제2 플라즈마 소스(215)의 플라즈마 대향면(외면)(216)으로부터 약 10 mm 내지 약 150 mm의 범위 내에 배치될 수 있다.

[0080] 도 2는 제2 프로세스 챔버(210)의 상부에 있고 플라즈마 처리 공간(225b) 내에 있는 제2 위치에 제2 가스 공급 요소(245)를 도시하고 있지만, 본 발명은 이러한 구성에 한정되는 것이 아니다. 예를 들어, 제2 가스 공급 요소(245)는 제2 기관(221)의 상면으로부터 200 mm의 범위 내에 위치할 수 있고, 바람직하게는 제2 가스 공급 요소(245)는 제2 기관(221)의 상면으로부터 약 10 mm 내지 약 150 mm의 범위 내에 배치될 수 있다.

[0081] 제2 프로세스 챔버(210)가 GIGDSC 관련 절차 또는 기술을 행하도록 구성되어 있는 경우에는, 도 2의 예시적인 플라즈마 처리 시스템(200)에 도시된 바와 같이, 분리된 플라즈마 발생 공간(225a)과 플라즈마 처리 공간(225b)이, 종래의 플라즈마 처리 시스템에 비해 프로세스 제어 및 안정성 제어를 향상시킬 수 있다. 몇몇 예에서는, 플라즈마 처리 공간(225b)에는 저밀도, 저온의 안정적인 플라즈마를 형성하는 반면에, 플라즈마 발생 공간(225a)에는 고에너지 전자가 많이 존재하는 상태로, 고밀도 플라즈마의 형성을 제어하도록, 하나 이상의 가스 혼합물이 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및 265)에 의해 제공될 수 있다. 가스 혼합물이 적어도 하나의 가벼운 가스와 적어도 하나의 무거운 가스를 포함하는 경우에는, 분자량 또는 중력값의 차로 인하여, 적어도 하나의 가벼운 가스가 적어도 하나의 무거운 가스로부터 분리된다. 다른 예에서는, 가벼운 가스와 무거운 가스에 대해 별개의 주입 방안이 사용될 수 있다. 본 실시형태에 기재된 가스 분리 기술은, 서로 다른 영역에 서로 다른 중력값을 갖는 가스를 모음으로써, 플라즈마 발생 영역과 기관 표면 영역 모두에서 프로세스에 대한 제어를 증대시킨다. 이러한 기법을 이용함으로써, 기관 표면에서의 플라즈마 발생(안정성, 균일성 등을 포함), 가스 화학 및 플라즈마 화학이 제어될 수 있다.

[0082] 또한, 도 2에 도시된 제2 예시적인 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)은, GIGDSC 관련 절차가 행해질 때, 고에너지 플라즈마 종이 플라즈마 처리 공간(225b)을 통과하지 못하게 함으로써, 제2 기관 홀더(220) 등과 같은 챔버 구성 요소에 대한 손상을 줄일 수 있다.

[0083] 도 2를 다시 참조해 보면, 플라즈마 발생 공간(225a)은 고농도의 하나 이상의 "무거운 가스"를 포함할 수 있는 "무거운 가스" 영역으로서 정해질 수 있고; 플라즈마 처리 공간(225b) 중 제1 부분은 하나 이상의 "무거운 가스"와 하나 이상의 "가벼운 가스"의 조합을 포함할 수 있는 "혼합 가스" 영역으로서 정해질 수 있으며; 플라즈마 처리 공간(225b) 중 제2 부분은 고농도의 하나 이상의 "가벼운 가스"를 포함할 수 있는 "가벼운 가스" 영역으로서 정해질 수 있다.

- [0084] 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)이 사용되는 경우, 추가적인 중력 의존 절차가 행해질 수 있다. 제2 프로세스 챔버(210)에 도시된 바와 같이, 플라즈마 발생 공간(225a)이 플라즈마 처리 공간(225b)(웨이퍼 프로세스 영역) 아래에 있는 경우, Xe 등과 같이 다른 프로세스 가스보다 무거운, 무거운 가스가 사용될 수 있다. 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)은, 제1 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100)과 관련하여 앞서 기술한 것과 동일한 문제를 해결하는 데 사용될 수 있다.
- [0085] 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)에서는, 특정 프로세스 동안에 기관/웨이퍼 프로세스 화학이 제어될 수 있다. 제2 플라즈마 처리 시스템(200)이 사용되는 경우, 가벼운 가스는 웨이퍼 레벨 부근에서 해리된 프로세스 가스와 화학 반응한다. 예를 들어, HBr과 함께 H₂를 사용하는 경우, 해리된 Br 원자가 H 원자와 결합하여 웨이퍼 레벨 부근에서 HBr을 재형성한다.
- [0086] 제2 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(200)이 GIGDSC 기술을 사용하도록 구성되어 있고 Xe 등과 같은 "무거운 가스"를 사용하도록 구성되어 있는 경우, 제2 프로세스 챔버(210)의 바닥부에 있는 "무거운 가스"를 제2 플라즈마 소스(215)의 외면 부근으로 유동시킴으로써, Ar 프로세스 윈도우보다 더 크고 더 넓은 프로세스 윈도우(압력 및 전력 범위)가 얻어질 수 있다. 예를 들어, Ar에 비해 Xe가 이온화 에너지가 낮고 가스 절연 파괴 윈도우의 폭이 넓기 때문에, 프로세스 윈도우의 차이가 존재할 수 있어, Xe를 이용하면 큰 프로세스 윈도우에 걸쳐 안정적인 플라즈마가 형성 및/또는 작동될 수 있다.
- [0087] CVD의 예에서는, GIGDSC 관련 절차 동안에 플라즈마 소스(215)를 제어하고 도 2에 도시된 바와 같이 기관/웨이퍼를 거꾸로 하여 처리를 행하는 경우, Xe 가스가 챔버의 바닥으로 유동할 수 있고, CVD 프로세스 동안 큰 프로세스 윈도우에 걸쳐 작동하는 매우 안정적인 플라즈마를 형성할 수 있으며, 제2 가스 공급 요소(245)는 기관 재료 가스를 바로 아래에 주입하는 데 사용된다.
- [0088] 제2 플라즈마 소스(215)는 플라즈마를 형성하는 데 사용될 수 있고, 제2 플라즈마 소스(215)는 표면과 플라즈마 소스, 마이크로파 ECR 플라즈마 소스, RF CCP 소스, 또는 ICP 소스, 또는 임의의 다른 종류의 플라즈마 소스를 포함할 수 있다. 이 기술은 플라즈마를 이용하는 임의의 프로세스에 적용될 수 있다.
- [0089] 프로세스에서, 상기한 가벼운 가스 또는 무거운 가스는, 다른 프로세스 가스의 이전 또는 이후에, 그리고 플라즈마의 점화 이전 또는 이후에 도입될 수 있다.
- [0090] 중력에 의한 가스 확산 분리 제어형 플라즈마 발생 시스템(100, 200)에서, 가벼운 가스는 H₂, He 및 Ne에 한정되지 않고, 무거운 가스는 Kr, Xe에 한정되지 않는다. 가벼운 가스와 무거운 가스는, 가스 분리를 조장하도록 가스 중력값의 차이(즉, 상대적인 분자량의 차이)를 갖고서 플라즈마 프로세스 챔버에 주입될 수 있는 모든 종류의 가스일 수 있다. 즉, 가볍고 무거운 것은 상대적인 것이고, 가스 확산 분리를 일으키는 것은 중력값의 차이이다.
- [0091] 앞에서 다른 중력에 의한 가스 확산 분리에 의해 제어되는 처리 시스템은, 본 발명의 신규성과 본 발명의 방법을 다루는 예일 뿐이다. 이는, 잠재적인 프로세스 시스템이 앞서 다른 시스템에 한정되지 않는다는 것을 의미한다. 또한, 중력에 의한 가스 확산 분리는, 모든 종류의 플라즈마 발생, 플라즈마 소스 및 플라즈마 프로세스를 제어하는 데 사용될 수 있는 방법 및 기술이다. 이는 또한 프로세스 시스템에 국한되지 않는다는 것을 의미한다.
- [0092] 도 2에 기재된 중력에 의한 가스 확산 분리에 의해 제어되는 플라즈마 발생은, 임의의 종류의 플라즈마 발생 방법과, 임의의 종류의 플라즈마 소스, 그리고 반도체 프로세스에 사용되는 것을 포함한 임의의 종류의 플라즈마 프로세스, 예컨대 몇몇 예인 RF CCP, ICP, 마이크로파 RLSA 플라즈마, 표면과 플라즈마, 마이크로파 ECR 플라즈마 등에 적용될 수 있는 보편적 방법 및 개념의 것이다. 이하에서는, 표면과 플라즈마, 특히 마이크로파 RLSA 플라즈마에 사용될 수 있는 몇몇 예시적인 공명체관 또는 유전체관 구성을 다룰 것이다. 그러나, 본 발명은 앞에서 다른 방법 및 개념을 이용하는 임의의 종류의 플라즈마 소스, 플라즈마 발생 방법 및 플라즈마 프로세스를 포함하는 것이다. 또한, 공명체관 또는 유전체관은 이하의 예에 한정되지 않는다.
- [0093] 이제 도 3을 참조하여, 실시형태에 따른 SWP 소스(330)를 개략적으로 기술한다. SWP 소스(330)는, EM파 발사 장치(332)의 플라즈마 대향면(360) 상에 플라즈마에 인접하게 표면파를 발생시킴으로써, 소기의 EM파 모드의 EM 에너지를 플라즈마에 결합하도록 구성된 전자(EM)파 발사장치를 포함한다. 또한, SWP 소스(330)는, EM파 발사장치(332)에 결합되어 있고 플라즈마를 형성하기 위해 EM 에너지를 EM파 발사장치(332)에 제공하도록 구성되어 있는 전력 결합 시스템(390)을 포함한다.

- [0094] EM과 발사장치(332)는, 마이크로파 전력을 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1 참조) 또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2 참조)에 방사하도록 구성된 마이크로파 발사장치를 포함한다. EM과 발사장치(33)는 동축 급전선(338)을 통해 전력 결합 시스템(390)에 결합될 수 있는데, 상기 동축 급전선을 통해 마이크로파 에너지가 전달된다. 별법으로서, 도파관 급전선이 사용될 수 있다. 전력 결합 시스템(390)은 2.45 GHz 마이크로파 전원 등과 같은 마이크로파 소스(392)를 포함할 수 있다. 마이크로파 소스(392)에 의해 발생된 마이크로파 에너지는, 마이크로파 소스(392)를 향해 반사되는 마이크로파 에너지를 흡수하는 아이솔레이터(396)에 도파관(394)을 통해 안내된다. 별법으로서, 서큘레이터가 사용될 수 있다. 예를 들어, 마이크로파 에너지는 동축 컨버터(398)를 통해 동축 TEM(transverse electromagnetic) 모드로 전환될 수 있다. 별법으로서, 도파관 컨버터를 사용할 수 있다. 임피던스 매칭 및 전력 전달의 향상을 위해 튜너(도시 생략)를 이용할 수 있다. 마이크로파 에너지가 동축 급전선(338)을 통해 EM과 발사장치(332)에 결합되는 경우, 동축 급전선(338)에서 TEM 모드로부터 TM(transverse magnetic) 모드로 모드 전환이 다르게 일어날 수 있다. 동축 급전선(338)과 EM과 발사장치(332)의 디자인과 관련된 다른 세부사항은, "에칭, 애싱 및 성막용 플라즈마 처리 장치(Plasma processing apparatus for etching, ashing, and film-formation)"란 제목의 미국 특허 제5,024,716호에서 확인할 수 있으며; 이 특허의 내용은 그 전체가 본원에 참조로 인용되어 있다.
- [0095] 도 4는 본 발명의 실시형태에 따른 EM과 발사장치(432)의 개략적인 단면도이다. 도 4에 도시된 바와 같이, EM과 발사장치(432)는, 내부 도체(440), 외부 도체(442) 및 절연체(441)를 구비한 동축 급전선(438)과, 복수의 슬롯(448 및 449)을 구비하고 내부 도체(440)와 외부 도체(442)의 사이에 연결되어 있는 슬롯 안테나(446)를 포함할 수 있다. 복수의 슬롯(448 및 449)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(446) 위의 제1 영역으로부터 슬롯 안테나(446) 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다. EM과 발사장치(432)는 지파관(遲波板)(444)과 공명체판(450)을 더 포함할 수 있다.
- [0096] 슬롯(448 및 449)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1 및/또는 225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(446)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는 데 이용될 수 있다.
- [0097] 도 4에 도시된 바와 같이, EM과 발사장치(432)는, EM과 발사장치(432)의 온도 제어를 위한 온도 제어 유체를 유동시키도록 구성되어 있는 유체 채널(443)을 포함할 수 있다. 별법으로서, EM과 발사장치(432)는 또한 프로세스 가스를 플라즈마 대향면(460)을 통해 플라즈마에 도입하도록 구성될 수 있다.
- [0098] 다시 도 4를 참조해 보면, EM과 발사장치(432)는 플라즈마 처리 시스템의 상측 챔버부에 연결될 수 있고, 이 경우 상측 챔버벽(452)과 EM과 발사장치(432)의 사이에는 밀봉 디바이스(454)를 이용하여 진공 밀봉이 형성될 수 있다. 밀봉 디바이스(454)는 엘라스토머 0링을 포함할 수 있지만, 다른 공지의 밀봉 기구가 사용될 수도 있다.
- [0099] 일반적으로, 동축 급전선(438)의 내부 도체(440)와 외부 도체(442)는 금속 등과 같은 도전성 재료를 포함할 수 있는 반면에, 지파관(444) 및 공명체판(450)은 하나 이상의 유전체 재료를 포함할 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 지파관(444) 및 공명체판(450)은 동일한 재료를 포함할 수 있지만, 서로 다른 재료를 이용할 수도 있다. 지파관(444) 및 공명체판(450)의 제조용으로 선정된 재료는, 전반(傳搬) 전자(EM)파의 파장을 대응 자유 공간 파장에 관하여 줄이도록 선택될 수 있고, 지파관(444) 및 공명체판(450)의 치수는, EM 에너지를 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1 및/또는 225a, 도 2)에 방사하는 데 효과적인 정재파의 형성을 보장하도록 선택될 수 있다.
- [0100] 지파관(444) 및 공명체판(450)은 석영(이산화규소) 등과 같은 실리콘 함유 재료 또는 고유전상수(high-k) 재료로 제조될 수 있다. 예를 들어, 고유전상수 재료의 유전상수는 4보다 큰 값을 가질 수 있다. 특히, 플라즈마 처리 시스템이 에칭 프로세스 용례에 이용되는 경우, 에칭 프로세스와의 호환성을 이유로 대개 석영을 선택한다.
- [0101] 예를 들어, 고유전상수 재료는 고유 결정 실리콘, 알루미늄 세라믹, 질화알루미늄 및 사파이어를 포함할 수 있다. 그러나, 그 밖의 고유전상수 유전체 재료를 사용할 수도 있다. 또한, 특정 프로세스의 파라미터에 따라, 유전상수가 매우 높은 재료를 선정할 수도 있다. 예를 들어, 공명체판(450)이 고유 결정 실리콘으로 제조된 경우, 플라즈마 주파수는 45도의 온도에서 2.45 GHz를 초과한다. 따라서, 고유 결정 실리콘은 저온(즉, 45도 미만) 프로세스에 적합하다. 고온 프로세스의 경우, 공명체판(450)은 알루미늄(Al₂O₃) 또는 사파이어로 제조될 수 있다.

- [0102] 본 발명자는, 전술한 바와 같이 플라즈마 안정성 및 균일성이 SWP 소스의 실제 적용에 대한 과제로서 남아 있다는 것을 확인하였다. SWP에서는, 플라즈마 파라미터가 바뀔 때, 공명체판-플라즈마 계면, 즉 플라즈마 대향면(460)에서의 정재파의 모드가 갑자기 바뀌기 쉽다.
- [0103] 여러 실시형태에서, EM파 발생장치(432)는, 플라즈마 대향면(460)에 제1 패턴으로 형성된 복수의 제1 리세스(455)와, 플라즈마 대향면(460)에 제2 패턴으로 형성된 복수의 제2 리세스(465)를 갖도록 제조될 수 있다.
- [0104] 제1 리세스(455) 각각은 플라즈마 대향면(460) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 딩플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 제1 리세스(455)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제1 리세스(455)는 제1 크기[예컨대 가로방향 치수(또는 폭), 및/또는 세로방향 치수(또는 깊이)]인 것을 특징으로 하는 리세스를 포함할 수 있다.
- [0105] 제2 리세스(465) 각각은 플라즈마 대향면(460) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 딩플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 제2 리세스(465)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제2 리세스(465)는 제2 크기[예컨대 가로방향 치수(또는 폭), 및/또는 세로방향 치수(또는 깊이)]인 것을 특징으로 하는 리세스를 포함할 수 있다. 제1 크기는 제2 크기와 동일할 수도 있고 혹은 동일하지 않을 수도 있다. 예를 들어, 제2 크기는 제1 크기보다 작을 수 있다.
- [0106] 리세스(455 및 465)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1 및/또는 225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있다. 따라서, 리세스(455 및 465)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는 데 이용될 수 있다.
- [0107] 도 4에 도시된 바와 같이, 공명체판(450)은 판 두께(451)와 판 반경(451a)을 갖는 유전체판을 포함한다. 또한, 공명체판(450) 상의 플라즈마 대향면(460)은 평면(459)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 복수의 제1 리세스(455) 및 복수의 제2 리세스(465)가 형성된다. 별법으로서, 공명체판(450)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.
- [0108] 공명체판(450)에서의 EM 에너지 전파(傳播)는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(450)에 대한 유전상수에 의해 특징지어질 수 있다. 판 두께는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(451)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(451)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.
- [0109] 예로서, 제1 리세스(455)는 하나 이상의 원통형 리세스를 포함할 수 있고, 각각의 제1 리세스(455)는 제1 깊이(456)와 제1 직경(457)으로 특징지어질 수 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 제2 리세스(465)는 플라즈마 대향면(460)의 내부 영역 부근에 위치할 수 있다.
- [0110] 제1 직경(457)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(451)와 제1 깊이(456) 사이의 제1 차(差)(453)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제1 직경(457)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(451)와 제1 깊이(456) 사이의 제1 차(453)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다. 판 두께(451)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$).
- [0111] 별법으로서, 제1 직경(457)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(451)와 제1 깊이(456) 사이의 제1 차(453)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 제1 직경(457)은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제1 차(453)는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.
- [0112] 제1 리세스(455)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(460) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.
- [0113] 또한, 제2 리세스(465)는 복수의 제2 원통형 리세스를 포함할 수 있고, 복수의 제2 원통형 리세스 각각은 제2 깊이(466)와 제2 직경(467)으로 특징지어지는 것이다. 도 4에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 제2 리세스

(465)는 플라즈마 대향면(460)의 외부 영역 부근에 위치할 수 있다.

- [0114] 제2 직경(467)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(451)와 제2 깊이(466) 사이의 제2 차(463)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제2 직경(467)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있고, 판 두께(451)와 제2 깊이(466) 사이의 제2 차(463)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다.
- [0115] 별법으로서, 제2 직경(467)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(451)와 제2 깊이(466) 사이의 제2 차(463)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 제2 직경(467)은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제2 차(463)는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.
- [0116] 제2 리세스(465)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(460) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.
- [0117] 도 5의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM파 발사장치의 저면도이고, 도 5의 (b)는 도 5의 (a)에 도시된 EM파 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다. 도 5의 (a)는 예시적인 EM파 발사장치(532)의 저면도로서, 공명체판(550)을 투시하여 슬롯 안테나(546)까지 볼 수 있는 것처럼, 슬롯 안테나(546)의 복수의 슬롯(548 및 549)이 도시되어 있다. 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이, 복수의 슬롯(548 및 549)은 쌍을 이루어 배치될 수 있고, 각 슬롯 쌍은 직각을 이루는 제1 슬롯과 제2 슬롯을 포함한다. 그러나, 복수의 슬롯(548 및 549)에서의 슬롯의 배향은 임의로 할 수 있다. 예를 들어, 복수의 슬롯(548 및 549)에서의 슬롯의 배향은 플라즈마 균일성 및/또는 플라즈마 안정성을 위한 소정의 패턴에 따를 수 있다.
- [0118] 공명체판(550)의 평면(561)에는, 제1 리세스(555)와 제2 리세스(565)가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 제1 리세스(555)는 슬롯 안테나(546)의 제1 슬롯(548)과 정렬되거나 혹은 부분적으로 정렬될 수 있고, 혹은 슬롯 안테나(546)의 제1 슬롯(548)과 정렬되지 않을 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 제1 리세스(555)는 슬롯 안테나(546)의 제1 슬롯(548)과 정렬되거나 혹은 부분적으로 정렬될 수 있다. 또한, 하나 이상의 제2 리세스(565)는 슬롯 안테나(546)의 하나 이상의 제2 슬롯(549)과 정렬될 수 있다.
- [0119] 본 발명자는, 하나 이상의 제1 리세스(555)가 하나 이상의 제1 슬롯(548)과 정렬되어 있지 않은 경우에, 제2 리세스(565)를 사용하여 플라즈마 발생 및 플라즈마 안정성을 제어할 수 있다는 것을 확인하였다. 예를 들어, 광학 모니터링을 사용하는 경우, EM파 발사장치(532)에 결합된 전력의 범위와, 플라즈마가 플라즈마 대향면(560) 부근에 형성되어 있는 공간에서의 압력 범위에 걸쳐서, 플라즈마는 상대적으로 "가장 밝은" 불빛을 나타낸다. 또한, 본 발명자는, 복수의 제1 리세스(555)가 가변적으로 플라즈마 발생 및 플라즈마 안정성에 기여하고, 전력 및/또는 압력에 따라 상대적으로 "흐린" 불빛에서 "밝은" 불빛으로 변화한다는 것을 확인하였다. 평면(561) 부근의 영역은 상대적으로 낮은 전력을 받고, 상대적으로 전력이 높을 때를 제외하고는 상대적으로 "어둡게" 유지된다.
- [0120] 또한, 본 발명자는, 하나 이상의 제2 리세스(565)가 슬롯 안테나(546)의 하나 이상의 제2 슬롯(549)과 정렬되어 있을 때, 낮은 전력 레벨에서 안정적인 플라즈마가 달성될 수 있다는 것을 확인하였다. 이러한 (큰) 덩플 부근에서의 이온화를 통해 플라즈마 형성되어, 제2 리세스(565)로부터 제2 리세스(555)로 유동한다[즉, 복수의 제1 슬롯(548)과 정렬되어 있지 않거나/부분적으로 정렬됨]. 그 결과, 제1 리세스(555)가 제2 리세스(565)로부터의 플라즈마의 "오버플로우"를 받아들여 제2 리세스(565) 부근에서의 플라즈마 발생의 변동을 보상하므로, 제2 리세스(565) 부근에 형성된 플라즈마는 넓은 범위의 전력 및 압력에 걸쳐 안정적이다.
- [0121] 플라즈마 균일성의 제어를 향상시키려면, 본 발명자는, 모드 패턴의 발달에 대한 위험이 줄어들도록, 평면(561) 부근의 영역이 "어둡게" 유지되어야 한다는 의견을 갖고 있다. 따라서, 도 5의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 상대적으로 많은 수의 제1 리세스(555)가 슬롯 안테나(546)의 복수의 제1 슬롯(548)과 정렬되지 않고 상대적으로 많은 수의 제2 리세스(565)가 복수의 제2 슬롯(549)과 정렬되지 않도록, 제1 리세스(555)와 제2 리세스(565)가 최적으로 배치될 수 있다. 리세스(555 및 565)의 배열은 플라즈마 균일성을 확보하기 위해 선택될 수 있지만, 플라즈마에 의해 처리되는 기관의 표면에서 균일한 프로세스를 확보하도록 다른 프로세스 파라미터와 협력하는 불균일한 플라즈마를 확보하는 것이 바람직할 수도 있다.

- [0122] 도 5의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 플라즈마 대향면(560)을 갖는 공명체판(550)을 포함할 수 있는 예시적인 EM파 발사장치(532)가 예시되어 있다. EM파 발사장치(532)는 복수의 제1 슬롯(548)과 복수의 제2 슬롯(549)을 구비한 슬롯 안테나(546)를 더 포함한다. 제1 슬롯(548)과 제2 슬롯(549)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(546) 위의 제1 영역으로부터 공명체판(550)이 위치하는 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다.
- [0123] 제1 슬롯(548) 및 제2 슬롯(549)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1 및/또는 225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있는 인자일 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(546)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는 데 이용될 수 있다.
- [0124] 여러 실시형태에서, 제1 리세스(555)는 플라즈마 대향면(560) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 덩플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 리세스(555)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제1 리세스(555)는 제1 깊이(556)와 제1 직경(557)으로 특징지어질 수 있다.
- [0125] 또한, 제2 리세스(565) 각각은 플라즈마 대향면(560) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 덩플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 리세스(565)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제2 리세스(565)는 제2 깊이(566)와 제2 직경(567)으로 특징지어질 수 있다. 제1 리세스(555)의 치수는 제2 리세스(565)의 치수와 동일할 수도 있고 혹은 동일하지 않을 수도 있다. 예를 들어, 제1 리세스(555)는 제2 리세스(565)보다 작을 수 있다.
- [0126] 도 5의 (a) 및 (b)를 더 참조해 보면, 공명체판(550)은 판 두께(551)와 판 직경(552)을 갖는 유전체판을 포함한다. 예를 들어, 공명체판(550) 상의 플라즈마 대향면(560)은 평면(561)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 제1 리세스(555) 및 제2 리세스(565)가 형성될 수 있다. 별법으로서, 공명체판(550)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.
- [0127] 공명체판(550)에서의 EM 에너지 전파는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(550)에 대한 유전상수에 의해 특징지어질 수 있다. 판 두께(551)는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(551)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(551)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.
- [0128] 예로서, 제1 리세스(555)는 제1 깊이(556)와 제1 직경(557)을 갖는 원통형 리세스로서 구성될 수 있고, 제1 리세스는 플라즈마 대향면(560)의 내부 영역 부근에 위치할 수 있다.
- [0129] 제1 직경(557)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(551)와 제1 깊이(556) 사이의 제1 차(553)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제1 직경(557)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(551)와 제1 깊이(556) 사이의 제1 차(553)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다. 판 두께(551)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$).
- [0130] 별법으로서, 제1 직경(557)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(551)와 제1 깊이(556) 사이의 제1 차(553)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 제1 직경은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제1 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.
- [0131] 제1 리세스(555)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(560) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.
- [0132] 또한, 제2 리세스(565)는 제2 깊이(566)와 제2 직경(567)을 갖는 원통형 리세스로서 구성될 수 있고, 제2 리세스는 플라즈마 대향면(560)의 외부 영역 부근에 위치할 수 있다.
- [0133] 제2 직경(567)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배(m

$\lambda/2$ (여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(551)와 제2 깊이(566) 사이의 제2 차(563)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제2 직경(567)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(551)와 제2 깊이(566) 사이의 제2 차(563)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다.

[0134] 별법으로서, 제2 직경(567)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(551)와 제2 깊이(566) 사이의 제2 차(563)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 제2 직경은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제2 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.

[0135] 제2 리세스(565)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(560) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.

[0136] 도 6의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM파 발사장치의 저면도이고, 도 6의 (b)는 도 6의 (a)에 도시된 EM파 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다. 도 6의 (a)는 예시적인 EM파 발사장치(632)의 저면도로서, 공명체판(650)을 투시하여 슬롯 안테나(646)까지 볼 수 있는 것처럼, 슬롯 안테나(646)의 복수의 슬롯(648 및 649)이 도시되어 있다. 도 6의 (a)에 도시된 바와 같이, 복수의 슬롯(648 및 649)은 쌍을 이루어 배치될 수 있고, 각 슬롯 쌍은 직각을 이루는 제1 슬롯과 제2 슬롯을 포함한다. 그러나, 복수의 슬롯(648 및 649)에서의 슬롯의 배향은 임의로 할 수 있다. 예를 들어, 복수의 슬롯(648 및 649)에서의 슬롯의 배향은 플라즈마 균일성 및/또는 플라즈마 안정성을 위한 소정의 패턴에 따를 수 있다.

[0137] 몇몇 실시형태에서, 복수의 제1 리세스(655)는 공명체판(650)에 구성될 수 있고, 하나 이상의 제1 리세스(655)는 슬롯 안테나(646)의 하나 이상의 제1 슬롯(648)과 정렬되어 있지 않다. 별법으로서, 하나 이상의 제1 리세스(655)는 슬롯 안테나(646)의 제1 슬롯(548)과 정렬되지 않을 수 있다. 또한, 선반형 리세스(665)는 공명체판(650)에 구성될 수 있고, 선반형 리세스(665)는 예를 들어 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 선반형 리세스(665)는 선반 깊이(666)와 선반 폭(667)을 가질 수 있다.

[0138] 도 6의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 플라즈마 대향면(660)을 갖는 공명체판(650)을 포함할 수 있는 예시적인 EM파 발사장치(632)가 예시되어 있다. EM파 발사장치(632)는 복수의 제1 슬롯(648)과 복수의 제2 슬롯(649)을 구비한 슬롯 안테나(646)를 더 포함한다. 제1 슬롯(648)과 제2 슬롯(649)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(646) 위의 제1 영역으로부터 공명체판(650)이 위치하는 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다.

[0139] 제1 슬롯(648) 및 제2 슬롯(649)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1) 또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있는 인자일 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(646)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는 데 이용될 수 있다.

[0140] 여러 실시형태에서, 제1 리세스(655)는 플라즈마 대향면(660) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 덩플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 리세스(655)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제1 리세스(655)는 제1 깊이(656)와 제1 직경(657)으로 특징지어질 수 있다.

[0141] 또한, 선반형 리세스(665)는 플라즈마 대향면(660) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 덩플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 선반형 리세스(665)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다.

[0142] 도 6의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 공명체판(650)은 판 두께(651)와 판 직경(652)을 갖는 유전체판을 포함한다. 예를 들어, 공명체판(650) 상의 플라즈마 대향면(660)은 평면(661)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 제1 리세스(655) 및 선반형 리세스(665)가 형성될 수 있다. 별법으로서, 공명체판(650)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.

[0143] 공명체판(650)에서의 EM 에너지 전파는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(650)에

대한 유전상수에 의해 특징지워질 수 있다. 판 두께(651)는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(651)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(651)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.

[0144] 예로서, 제1 리세스(655)는 제1 깊이(656)와 제1 직경(657)을 갖는 원통형 리세스로서 구성될 수 있고, 제1 리세스는 플라즈마 대향면(660)의 내부 영역 부근에 위치할 수 있다.

[0145] 제1 직경(657)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(651)와 제1 깊이(656) 사이의 제1 차(653)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제1 직경(657)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(651)와 제1 깊이(656) 사이의 제1 차(653)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다. 판 두께(651)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$).

[0146] 별법으로서, 제1 직경(657)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(651)와 제1 깊이(656) 사이의 제1 차(653)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 제1 직경은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제1 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.

[0147] 제1 리세스(655)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 릿/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(560) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.

[0148] 또한, 선반형 리세스(665)는 선반 깊이(666)와 선반 폭(667)을 갖는 원통형 링으로서 구성될 수 있고, 선반형 리세스는 플라즈마 대향면(660)의 외부 영역 부근에 위치할 수 있다.

[0149] 선반 폭(667)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(651)와 선반 깊이(666) 사이의 제2 차(663)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 선반 폭(667)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(651)와 선반 깊이(666) 사이의 제2 차(663)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다.

[0150] 별법으로서, 선반 폭(667)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(651)와 선반 깊이(666) 사이의 제2 차(663)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 선반 폭은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제2 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.

[0151] 선반형 리세스(665)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 릿/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(660) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.

[0152] 도 7의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM파 발사장치의 저면도이고, 도 7의 (b)는 도 7의 (a)에 도시된 EM파 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다. 도 7의 (a)는 예시적인 EM파 발사장치(732)의 저면도로서, 공명체판(750)을 투시하여 슬롯 안테나(746)까지 볼 수 있는 것처럼, 슬롯 안테나(746)의 복수의 슬롯(748 및 749)이 도시되어 있다. 도 7의 (a)에 도시된 바와 같이, 복수의 슬롯(748 및 749)은 쌍을 이루어 배치될 수 있고, 각 슬롯 쌍은 직각을 이루는 제1 슬롯과 제2 슬롯을 포함한다. 그러나, 복수의 슬롯(748 및 749)에서의 슬롯의 배향은 임의로 할 수 있다. 예를 들어, 복수의 슬롯(748 및 749)에서의 슬롯의 배향은 플라즈마 균일성 및/또는 플라즈마 안정성을 위한 소정의 패턴에 따를 수 있다.

[0153] 몇몇 실시형태에서, 복수의 제1 리세스(755)는 공명체판(750)에 구성될 수 있고, 하나 이상의 제1 리세스(755)는 실질적으로 슬롯 안테나(746)의 제1 슬롯(648)과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 제1 리세스(755)는 슬롯 안테나(746)의 하나 이상의 제1 슬롯(748)과 정렬되지 않을 수 있다. 또한, 선반형 리세스(765)는 공명체판(750)에 구성될 수 있고, 선반형 리세스(765)는 예를 들어 원통형 기하형상, 구형 기하형상,

비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 선반형 리세스(765)는 선반 깊이(766)와 선반 폭(767)을 가질 수 있다. 예를 들면, 선반형 리세스(765)는 실질적으로 복수의 제2 슬롯(749)과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 선반형 리세스(765)는 복수의 제2 슬롯(749)과 정렬되거나, 부분적으로 정렬되거나, 또는 정렬되지 않을 수 있다.

[0154] 도 7의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 플라즈마 대향면(760)을 갖는 공명체판(750)을 포함할 수 있는 예시적인 EM파 발사장치(732)가 예시되어 있다. EM파 발사장치(732)는 복수의 제1 슬롯(748)과 복수의 제2 슬롯(749)을 구비한 슬롯 안테나(746)를 더 포함한다. 제1 슬롯(748)과 제2 슬롯(749)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(746) 위의 제1 영역으로부터 공명체판(750)이 위치하는 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다.

[0155] 제1 슬롯(748) 및 제2 슬롯(749)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1) 또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있는 인자일 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(746)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는 데 이용될 수 있다.

[0156] 여러 실시형태에서, 제1 리세스(755)는 플라즈마 대향면(760) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 덤플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 리세스(755)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제1 리세스(755)는 제1 깊이(756)와 제1 직경(757)으로 특징지어질 수 있다.

[0157] 또한, 선반형 리세스(665)는 플라즈마 대향면(760) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 덤플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 선반형 리세스(765)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다.

[0158] 도 7의 (a) 및 (b)를 더 참조해 보면, 공명체판(750)은 판 두께(751)와 판 직경(752)을 갖는 유전체판을 포함한다. 예를 들어, 공명체판(750) 상의 플라즈마 대향면(760)은 평면(761)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 제1 리세스(755) 및 선반형 리세스(765)가 형성될 수 있다. 별법으로서, 공명체판(750)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.

[0159] 공명체판(750)에서의 EM 에너지 전파는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(750)에 대한 유전상수에 의해 특징지어질 수 있다. 판 두께(751)는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(751)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(751)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.

[0160] 예로서, 제1 리세스(755)는 제1 깊이(756)와 제1 직경(757)을 갖는 원통형 리세스로서 구성될 수 있고, 제1 리세스는 플라즈마 대향면(760)의 내부 영역 부근에 위치할 수 있다.

[0161] 제1 직경(757)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(751)와 제1 깊이(756) 사이의 제1 차(753)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제1 직경(757)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(751)와 제1 깊이(756) 사이의 제1 차(753)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다. 판 두께(751)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$).

[0162] 별법으로서, 제1 직경(757)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(751)와 제1 깊이(756) 사이의 제1 차(753)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 제1 직경은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제1 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.

[0163] 제1 리세스(755)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(560) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.

[0164] 또한, 선반형 리세스(765)는 선반 깊이(766)와 선반 폭(767)을 갖는 원통형 링으로서 구성될 수 있고, 선반형

리세스는 플라즈마 대향면(760)의 외부 영역 부근에 위치할 수 있다.

- [0165] 선반 폭(767)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(751)와 선반 깊이(766) 사이의 제2 차(763)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 선반 폭(767)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(751)와 선반 깊이(766) 사이의 제2 차(763)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다.
- [0166] 별법으로서, 선반 폭(767)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(751)와 선반 깊이(766) 사이의 제2 차(763)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 선반 폭은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제2 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.
- [0167] 선반형 리세스(765)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(760) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.
- [0168] 도 8의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM파 발사장치의 저면도이고, 도 8의 (b)는 도 8의 (a)에 도시된 EM파 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다. 도 8의 (a)는 예시적인 EM파 발사장치(832)의 저면도로서, 공명체판(850)을 투시하여 슬롯 안테나(846)까지 볼 수 있는 것처럼, 슬롯 안테나(846)의 복수의 슬롯(848 및 849)이 도시되어 있다. 도 8의 (a)에 도시된 바와 같이, 복수의 슬롯(848 및 849)은 쌍을 이루어 배치될 수 있고, 각 슬롯 쌍은 직각을 이루는 제1 슬롯과 제2 슬롯을 포함한다. 그러나, 복수의 슬롯(848 및 849)에서의 슬롯의 배향은 임의로 할 수 있다. 예를 들어, 복수의 슬롯(848 및 849)에서의 슬롯의 배향은 플라즈마 균일성 및/또는 플라즈마 안정성을 위한 소정의 패턴에 따를 수 있다.
- [0169] 몇몇 실시형태에서, 복수의 제1 리세스(855)는 공명체판(850)에 구성될 수 있고, 하나 이상의 제1 리세스(855)는 실질적으로 슬롯 안테나(846)의 제1 슬롯(848)과 정렬되지 않을 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 제1 리세스(855)는 슬롯 안테나(846)의 하나 이상의 제1 슬롯(848)과 정렬되거나 혹은 부분적으로 정렬될 수 있다. 또한, 슬롯형 리세스(865)가 공명체판(850)에 구성될 수 있고, 슬롯형 리세스(865)는 예를 들어 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 슬롯형 리세스(865)는 슬롯 깊이(866)와 슬롯 폭(867)을 가질 수 있다. 예를 들면, 슬롯형 리세스(865)는 실질적으로 복수의 제2 슬롯(849)과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 슬롯형 리세스(865)는 복수의 제2 슬롯(849)과 정렬되거나, 부분적으로 정렬되거나, 또는 정렬되지 않을 수 있다.
- [0170] 도 8의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 플라즈마 대향면(860)을 갖는 공명체판(850)을 포함할 수 있는 예시적인 EM파 발사장치(832)가 예시되어 있다. EM파 발사장치(832)는 복수의 제1 슬롯(848)과 복수의 제2 슬롯(849)을 구비한 슬롯 안테나(846)를 더 포함한다. 제1 슬롯(848)과 제2 슬롯(849)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(846) 위의 제1 영역으로부터 공명체판(850)이 위치하는 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다.
- [0171] 제1 슬롯(848) 및 제2 슬롯(849)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1) 또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있는 인자일 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(846)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는 데 이용될 수 있다.
- [0172] 여러 실시형태에서, 제1 리세스(855)는 플라즈마 대향면(860) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 덩플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 리세스(855)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제1 리세스(855)는 제1 깊이(856)와 제1 직경(857)으로 특징지워질 수 있다.
- [0173] 또한, 슬롯형 리세스(865)는 플라즈마 대향면(860) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 덩플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 슬롯형 리세스(865)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다.

- [0174] 도 8의 (a) 및 (b)를 더 참조해 보면, 공명체판(850)은 판 두께(851)와 판 직경(852)을 갖는 유전체판을 포함한다. 예를 들어, 공명체판(850) 상의 플라즈마 대향면(860)은 평면(861)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 제1 리세스(855) 및 슬롯형 리세스(865)가 형성될 수 있다. 별법으로서, 공명체판(850)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.
- [0175] 공명체판(850)에서의 EM 에너지 전파는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(850)에 대한 유전상수에 의해 특징지워질 수 있다. 판 두께(851)는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(851)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(851)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.
- [0176] 예로서, 제1 리세스(855)는 제1 깊이(856)와 제1 직경(857)을 갖는 원통형 리세스로서 구성될 수 있고, 제1 리세스는 플라즈마 대향면(860)의 내부 영역 부근에 위치할 수 있다.
- [0177] 제1 직경(857)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(851)와 제1 깊이(856) 사이의 제1 차(853)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제1 직경(857)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(851)와 제1 깊이(856) 사이의 제1 차(853)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다. 판 두께(851)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$).
- [0178] 별법으로서, 제1 직경(857)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(851)와 제1 깊이(856) 사이의 제1 차(853)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 제1 직경은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제1 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.
- [0179] 제1 리세스(855)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(560) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.
- [0180] 또한, 슬롯형 리세스(865)는 슬롯 깊이(866)와 슬롯 폭(867)을 갖는 원통형 링으로서 구성될 수 있고, 슬롯형 리세스는 플라즈마 대향면(860)의 외부 영역 부근에 위치할 수 있다.
- [0181] 슬롯 폭(867)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(851)와 슬롯 깊이(866) 사이의 제2 차(863)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 슬롯 폭(867)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(851)와 슬롯 깊이(866) 사이의 제2 차(863)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다.
- [0182] 별법으로서, 슬롯 폭(867)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(851)와 슬롯 깊이(866) 사이의 제2 차(863)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 슬롯 폭은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제2 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.
- [0183] 슬롯형 리세스(865)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(860) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.
- [0184] 도 9의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM파 발사장치의 저면도이고, 도 9의 (b)는 도 9의 (a)에 도시된 EM파 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다. 도 9의 (a)는 예시적인 EM파 발사장치(932)의 저면도로서, 공명체판(950)을 투시하여 슬롯 안테나(946)까지 볼 수 있는 것처럼, 슬롯 안테나(946)의 복수의 슬롯(948 및 949)이 도시되어 있다. 도 9의 (a)에 도시된 바와 같이, 복수의 슬롯(948 및 949)은 쌍을 이루어 배치될 수 있고, 각 슬롯 쌍은 직각을 이루는 제1 슬롯과 제2 슬롯을 포함한다. 그러나, 복수의 슬롯(948 및 949)에서의 슬롯의 배향은 임의로 할 수 있다. 예를 들어, 복수의 슬롯(948 및 949)에서의 슬롯의 배향은 플라즈마

균일성 및/또는 플라즈마 안정성을 위한 소정의 패턴에 따를 수 있다.

- [0185] 몇몇 실시형태에서, 복수의 제1 리세스(955)는 공명체판(950)에 구성될 수 있고, 하나 이상의 제1 리세스(955)는 실질적으로 슬롯 안테나(946)의 제1 슬롯(948)과 정렬되지 않을 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 제1 리세스(855)는 슬롯 안테나(946)의 하나 이상의 제1 슬롯(948)과 정렬되거나 혹은 부분적으로 정렬될 수 있다. 또한, 슬롯형 리세스(965)가 공명체판(950)에 구성될 수 있고, 슬롯형 리세스(965)는 예를 들어 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 슬롯형 리세스(965)는 슬롯 깊이(966)와 슬롯 폭(967)을 가질 수 있다. 예를 들면, 슬롯형 리세스(965)는 실질적으로 복수의 제2 슬롯(949)과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 슬롯형 리세스(965)는 복수의 제2 슬롯(949)과 정렬되거나, 부분적으로 정렬되거나, 또는 정렬되지 않을 수 있다. 또한, 복수의 제2 리세스(975)가 슬롯형 리세스(965)에 구성될 수 있고, 제 리세스(975)는 예를 들어 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 제2 리세스(975)는 제2 깊이(976)와 제2 폭(977)을 가질 수 있다. 예를 들면, 제2 리세스(975)는 실질적으로 복수의 제2 슬롯(949)과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 제2 리세스(975)는 복수의 제2 슬롯(949)과 정렬되거나, 부분적으로 정렬되거나, 또는 정렬되지 않을 수 있다.
- [0186] 도 9의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 플라즈마 대향면(960)을 갖는 공명체판(950)을 포함할 수 있는 예시적인 EM파 발사장치(932)가 예시되어 있다. EM파 발사장치(932)는 복수의 제1 슬롯(948)과 복수의 제2 슬롯(949)을 구비한 슬롯 안테나(946)를 더 포함한다. 제1 슬롯(948)과 제2 슬롯(949)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(946) 위의 제1 영역으로부터 공명체판(950)이 위치하는 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다.
- [0187] 제1 슬롯(948) 및 제2 슬롯(949)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1) 또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있는 인자일 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(946)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는 데 이용될 수 있다.
- [0188] 여러 실시형태에서, 제1 리세스(955)와 제2 리세스(975)는 플라즈마 대향면(960) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 딥플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 리세스(955) 또는 제2 리세스(975)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제1 리세스(955)는 제1 깊이(956)와 제1 직경(957)으로 특징지워질 수 있다. 제2 리세스(975)는 제2 깊이(976)와 제2 직경(977)으로 특징지워질 수 있다.
- [0189] 또한, 슬롯형 리세스(965)는 플라즈마 대향면(960) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 딥플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 슬롯형 리세스(965)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다.
- [0190] 도 9의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 공명체판(950)은 판 두께(951)와 판 직경(952)을 갖는 유전체판을 포함한다. 예를 들어, 공명체판(950) 상의 플라즈마 대향면(960)은 평면(961)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 제1 리세스(955) 및 슬롯형 리세스(965)가 형성될 수 있다. 별법으로서, 공명체판(950)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.
- [0191] 공명체판(950)에서의 EM 에너지 전파는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(950)에 대한 유전상수에 의해 특징지워질 수 있다. 판 두께(951)는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(951)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(951)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.
- [0192] 예로서, 제1 리세스(955)는 제1 깊이(956)와 제1 직경(957)을 갖는 원통형 리세스로서 구성될 수 있고, 제1 리세스는 플라즈마 대향면(960)의 내부 영역 부근에 위치할 수 있다. 또한, 제2 리세스(975)는 제2 깊이(976)와 제2 직경(977)을 갖는 원통형 리세스로서 구성될 수 있고, 제2 리세스(975)는 플라즈마 대향면(960)의 외부 영역 부근에 위치할 수 있다.
- [0193] 제1 직경(957)과 제2 직경(977)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(951)와 제1 깊이(956) 사이의

제1 차(953)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제1 직경(957)과 제2 직경(977)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(951)와 제1 깊이(956) 사이의 제1 차(953)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다. 판 두께(951)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$).

[0194] 별법으로서, 제1 직경(957)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(951)와 제1 깊이(956) 사이의 제1 차(953)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 제1 직경은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제1 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.

[0195] 제1 리세스(955) 및 제2 리세스(975)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(960) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.

[0196] 또한, 슬롯형 리세스(965)는 슬롯 깊이(966)와 슬롯 폭(967)을 갖는 원통형 링으로서 구성될 수 있고, 슬롯형 리세스는 플라즈마 대향면(960)의 외부 영역 부근에 위치할 수 있다.

[0197] 슬롯 폭(967)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(951)와 슬롯 깊이(966) 사이의 제2 차(963)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 슬롯 폭(967)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(951)와 슬롯 깊이(966) 사이의 제2 차(963)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다.

[0198] 별법으로서, 슬롯 폭(967)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(951)와 슬롯 깊이(966) 사이의 제2 차(963)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 슬롯 폭은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제2 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.

[0199] 슬롯형 리세스(965)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(960) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.

[0200] 도 10의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM파 발사장치의 저면도이고, 도 10의 (b)는 도 10의 (a)에 도시된 EM파 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다. 도 10의 (a)는 예시적인 EM파 발사장치(1032)의 저면도로서, 공명체판(1050)을 투시하여 슬롯 안테나(1046)까지 볼 수 있는 것처럼, 슬롯 안테나(1046)의 복수의 슬롯(1048 및 1049)이 도시되어 있다. 도 10의 (a)에 도시된 바와 같이, 복수의 슬롯(1048 및 1049)은 쌍을 이루어 배치될 수 있고, 각 슬롯 쌍은 직각을 이루는 제1 슬롯과 제2 슬롯을 포함한다. 그러나, 복수의 슬롯(1048 및 1049)에서의 슬롯의 배향은 임의로 할 수 있다. 예를 들어, 복수의 슬롯(1048 및 1049)에서의 슬롯의 배향은 플라즈마 균일성 및/또는 플라즈마 안정성을 위한 소정의 패턴에 따를 수 있다.

[0201] 몇몇 실시형태에서, 복수의 제1 리세스(1055)는 공명체판(1050)에 구성될 수 있고, 하나 이상의 제1 리세스(1055)는 실질적으로 슬롯 안테나(1046)의 제1 슬롯(1048)과 정렬되지 않을 수 있다. 별법으로서, 하나 이상의 제1 리세스(1055)는 슬롯 안테나(1046)의 하나 이상의 제1 슬롯(1048)과 정렬되거나 혹은 부분적으로 정렬될 수 있다. 또한, 채널형 리세스(1065)가 공명체판(1050)에 구성될 수 있고, 채널형 리세스(1065)는 예를 들어 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 채널형 리세스(1065)는 채널 깊이(1066)와 슬롯 폭(1067)을 가질 수 있다. 예를 들면, 채널형 리세스(1065)는 실질적으로 복수의 제2 슬롯(1049)과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 채널형 리세스(1065)는 복수의 제2 슬롯(1049)과 정렬되거나, 부분적으로 정렬되거나, 또는 정렬되지 않을 수 있다.

[0202] 몇몇 실시형태에서, 개구(1090)가 개구 깊이(1091)와 개구 폭(1092)을 가질 수 있고, 가스 통로(1095)가 통로 길이(1096)와 통로 폭(1097)을 가질 수 있다. 예를 들어, 개구(1090)와 가스 통로(1095)는 실질적으로 공명체판(1050)의 중심과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 개구(1090)와 가스 통로(1095)는 서로 다르게 정렬될 수

있다.

- [0203] 도 10의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 플라즈마 대향면(1060)을 갖는 공명체판(1050)을 포함할 수 있는 예시적인 EM파 발사장치(1032)가 예시되어 있다. EM파 발사장치(1032)는 복수의 제1 슬롯(1048)과 복수의 제2 슬롯(1049)을 구비한 슬롯 안테나(1046)를 더 포함한다. 제1 슬롯(1048)과 제2 슬롯(1049)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(1046) 위의 제1 영역으로부터 공명체판(1050)이 위치하는 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다.
- [0204] 제1 슬롯(1048) 및 제2 슬롯(1049)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1) 또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있는 인자일 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(1046)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는데 이용될 수 있다.
- [0205] 여러 실시형태에서, 제1 리세스(1055)와 제2 리세스(1065)는 플라즈마 대향면(1060) 내에 형성된 특유의 압입부 또는 딥플을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제1 리세스(1055)는 원통형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상 또는 임의의 형상을 가질 수 있다. 제1 리세스(1055)는 제1 깊이(1056)와 제1 직경(1057)으로 특징지어질 수 있다.
- [0206] 또한, 제2 리세스(1065)는 사다리꼴 또는 절두삼각형 단면을 갖는 채널을 포함할 수 있다. 그러나, 제2 리세스(1065)의 채널은, 예를 들어 원통형 기하형상, 원뿔형 기하형상, 절두원뿔형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상, 피라미드형 기하형상, 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 제2 리세스(1065)는 채널 깊이(1066), 제1 채널 폭(1067) 및 제2 채널 폭(1068)을 가질 수 있다.
- [0207] 도 10의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 공명체판(1050)은 판 두께(1051)와 판 직경(1052)을 갖는 유전체판을 포함한다. 예를 들어, 공명체판(1050) 상의 플라즈마 대향면(1060)은 평면(1061)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 제1 리세스(1055) 및 채널형 리세스(465)가 형성될 수 있다. 별법으로서, 공명체판(1050)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.
- [0208] 공명체판(1050)에서의 EM 에너지 전파는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(1050)에 대한 유전상수에 의해 특징지어질 수 있다. 판 두께(1051)는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(1051)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(1051)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.
- [0209] 예로서, 제1 리세스(1055)는 플라즈마 대향면(1060)의 내부 영역 부근에 위치할 수 있다. 또한, 채널형 리세스(1065)는 플라즈마 대향면(1060)의 외부 영역 부근에 위치할 수 있다.
- [0210] 제1 직경(1057), 제1 채널 폭(1067), 제2 채널 폭(1068), 개구 폭(1092) 및 통로 폭(1097)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(1051)와 제1 깊이(1056) 사이의 제1 차(1053)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제1 직경(1057), 제1 채널 폭(1067), 제2 채널 폭(1068), 개구 폭(1092) 및 통로 폭(1097)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(1051)와 제1 깊이(1056) 사이의 제1 차(1053)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다. 판 두께(1051)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$).
- [0211] 별법으로서, 제1 직경(1057), 제1 채널 폭(1067), 제2 채널 폭(1068), 개구 폭(1092) 및 통로 폭(1097)은 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(1051)와 깊이(1056, 1066, 1091 및 1096) 사이의 제1 차(1053)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다.
- [0212] 제1 리세스(1055), 채널형 리세스(1065), 개구(1090) 및/또는 가스 통로(1095)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(1060) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.

- [0213] 또한, 도 10에 도시된 바와 같이, EM파 발사장치(1032)는 제1 정합 길이(1062a)와 제1 정합 폭을 갖는 정합 요소(1062)를 구비하게 제조될 수 있다. 정합 요소(1062)는, 공명체판(1150)의 주변부에 혹은 그 부근에 위치하는 가장자리 벽 연장부를 포함할 수 있고, 프로세스 챔버 벽과 결합하도록 구성될 수 있다.
- [0214] 또한, EM파 발사장치는 개구(1090) 및 가스 통로(1095)를 포함할 수 있다. 개구(1090)는 가스 라인을 안테나(1046)의 내부를 통해 공명체판(1050)의 가스 통로(1095)에 고정하기 위한 체결 장치를 수용하도록 구성될 수 있다.
- [0215] 하나의 가스 통로만이 도시되어 있지만, 추가적인 가스 통로가 공명체판(1050)에 만들어질 수 있다. 또한, 가스 통로의 형상은 원통형 단면을 지닌 직선 형태이지만, 예를 들어 임의의 단면을 갖는 나선 형태일 수도 있다. 도 10에 기재된 하나 이상의 특징부가, 도 3 내지 도 9에 도시된 실시형태 중 어느 하나에 구현될 수 있다.
- [0216] 채널 폭(1067 및 1068)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(1051)와 채널 깊이(1066) 사이의 제2 차(1063)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 채널 폭(1067 및 1068)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(1051)와 채널 깊이(1066) 사이의 제2 차(1063)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다.
- [0217] 별법으로서, 채널 폭(1067 및 1068)은 약 25 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(1051)와 채널 깊이(1066) 사이의 제2 차(1063)는 약 10 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다. 대안으로서, 채널 폭(1067 및 1068)은 약 30 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 제2 차는 약 10 mm 내지 약 20 mm의 범위일 수 있다.
- [0218] 채널형 리세스(1065)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(1060) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.
- [0219] 도 11의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM파 발사장치의 저면도이고, 도 11의 (b)는 도 11의 (a)에 도시된 EM파 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다. 도 11의 (a)는 예시적인 EM파 발사장치(1132)의 저면도로서, 공명체판(1150)을 투시하여 슬롯 안테나(1146)까지 볼 수 있는 것처럼, 슬롯 안테나(1146)의 복수의 슬롯(1148 및 1149)이 도시되어 있다. 도 11의 (a)에 도시된 바와 같이, 복수의 슬롯(1148 및 1149)은 쌍을 이루어 배치될 수 있고, 각 슬롯 쌍은 직각을 이루는 제1 슬롯과 제2 슬롯을 포함한다. 그러나, 복수의 슬롯(1148 및 1149)에서의 슬롯의 배향은 임의로 할 수 있다. 예를 들어, 복수의 슬롯(1148 및 1149)에서의 슬롯의 배향은 플라즈마 균일성 및/또는 플라즈마 안정성을 위한 소정의 패턴에 따를 수 있다.
- [0220] 몇몇 실시형태에서, 제1 리세스(1155)가 공명체판(1150)에 구성될 수 있고, 제1 리세스(1155)의 외측 가장자리는 실질적으로 슬롯 안테나(1146)의 제2 슬롯(1149)과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 제1 리세스(1155)는 작아질 수 있고, 슬롯 안테나(1146)의 하나 이상의 제1 슬롯(1148)과 정렬되거나 혹은 부분적으로 정렬될 수 있다. 또한, 제1 리세스(1155)는 사다리꼴 또는 절두삼각형 단면을 가질 수 있다. 그러나, 제1 리세스(1155)는, 예를 들어 원통형 기하형상, 원뿔형 기하형상, 절두원뿔형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상, 피라미드형 기하형상, 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 제1 리세스(1155)는 리세스 깊이(1156), 제1 리세스 폭(1157) 및 제2 리세스 폭(1158)을 가질 수 있다.
- [0221] 또한, 도 11의 (b)에 도시된 바와 같이, EM파 발사장치(1132)는 제1 정합 길이(1162a)와 제1 정합 폭을 갖는 정합 요소(1162)를 구비하게 제조될 수 있다. 정합 요소(1162)는, 공명체판(1150)의 주변부에 혹은 그 부근에 위치하는 가장자리 벽 연장부를 포함할 수 있고, 프로세스 챔버 벽과 결합하도록 구성될 수 있다. 또한, EM파 발사장치는 개구(1190) 및 가스 통로(1195)를 포함할 수 있다. 개구(1190)는 가스 라인을 안테나(1146)의 내부를 통해 공명체판(1150)의 가스 통로(1195)에 고정하기 위한 체결 장치를 수용하도록 구성될 수 있다.
- [0222] 하나의 가스 통로만이 도시되어 있지만, 추가적인 가스 통로가 공명체판(1150)에 만들어질 수 있다. 또한, 가스 통로의 형상은 원통형 단면을 지닌 직선 형태이지만, 예를 들어 임의의 단면을 갖는 나선 형태일 수도

있다. 도 11의 (a) 및 (b)에 기재된 하나 이상의 특징부가, 도 3 내지 도 9에 도시된 실시형태 중 어느 하나에 구현될 수 있다.

- [0223] 몇몇 실시형태에서, 개구(1190)가 개구 깊이(1191)와 개구 폭(1192)을 가질 수 있고, 가스 통로(1195)가 통로 길이(1196)와 통로 폭(1197)을 가질 수 있다. 예를 들어, 개구(1190)와 가스 통로(1195)는 실질적으로 공명체판(1150)의 중심과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 개구(1190)와 가스 통로(1195)는 서로 다르게 정렬될 수 있다.
- [0224] 도 11의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 플라즈마 대향면(1160)을 갖는 공명체판(1150)을 포함할 수 있는 예시적인 EM파 발사장치(1132)가 예시되어 있다. EM파 발사장치(1132)는 복수의 제1 슬롯(1148)과 복수의 제2 슬롯(1149)을 구비한 슬롯 안테나(1146)를 더 포함한다. 제1 슬롯(1148)과 제2 슬롯(1149)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(1146) 위의 제1 영역으로부터 공명체판(1150)이 위치하는 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다.
- [0225] 제1 슬롯(1148) 및 제2 슬롯(1149)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1) 또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있는 인자일 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(1146)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는데 이용될 수 있다.
- [0226] 도 11의 (a) 및 (b)를 더 참조해 보면, 공명체판(1150)은 판 두께(1151)와 판 직경(1152)을 갖는 유전체판을 포함한다. 예를 들어, 공명체판(1150) 상의 플라즈마 대향면(1160)은 평면(1161)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 제1 리세스(1155)가 형성될 수 있다. 별법으로서, 공명체판(1150)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.
- [0227] 공명체판(1150)에서의 EM 에너지 전파는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(1150)에 대한 유전상수에 의해 특징지워질 수 있다. 판 두께(1151)는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(1151)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(1151)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.
- [0228] 제1 리세스 폭(1157), 제2 리세스 폭(1158), 개구 폭(1192) 및 가스 통로 폭(1197)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(1151)와 제1 깊이(1156) 사이의 제1 차(1153)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 제1 리세스 폭(1157), 제2 리세스 폭(1158), 개구 폭(1192) 및 가스 통로 폭(1197)은 대략 2분의 1 유효 파장($\lambda/2$)일 수 있고, 판 두께(1151)와 제1 깊이(1156) 사이의 제1 차(1153)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 대략 4분의 1 유효 파장($\lambda/4$)일 수 있다. 판 두께(1151)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$).
- [0229] 별법으로서, 제1 리세스 폭(1157), 제2 리세스 폭(1158), 개구 폭(1192) 및 가스 통로 폭(1197)은 약 2 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(1151)와 깊이(1156, 1191 및 1196) 사이의 제1 차(1153)는 약 2 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다.
- [0230] 제1 리세스(1155), 개구(1190) 및/또는 가스 통로(1195)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행부를 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는, 리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(1160) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.
- [0231] 도 12의 (a)는 본 발명의 실시형태에 따른 EM파 발사장치의 저면도이고, 도 12의 (b)는 도 12의 (a)에 도시된 EM파 발사장치의 일부분의 개략적인 단면도이다. 도 12의 (a)는 예시적인 EM파 발사장치(1232)의 저면도로서, 공명체판(1250)을 투시하여 슬롯 안테나(1246)까지 볼 수 있는 것처럼, 슬롯 안테나(1246)의 복수의 슬롯(1248 및 1249)이 도시되어 있다. 도 12의 (a)에 도시된 바와 같이, 복수의 슬롯(1248 및 1249)은 쌍을 이루어 배치될 수 있고, 각 슬롯 쌍은 직각을 이루는 제1 슬롯과 제2 슬롯을 포함한다. 그러나, 복수의 슬롯(1248 및 1249)에서의 슬롯의 배향은 임의로 할 수 있다. 예를 들어, 복수의 슬롯(1248 및 1249)에서의

슬롯의 배향은 플라즈마 균일성 및/또는 플라즈마 안정성을 위한 소정의 패턴에 따를 수 있다.

- [0232] 몇몇 실시형태에서, 채널형 리세스(1255)가 공명체판(1250)에 구성될 수 있고, 채널형 리세스(1255)는 실질적으로 슬롯 안테나(1246)의 제2 슬롯(1249)과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 채널형 리세스(1255)는 작아질 수 있고, 슬롯 안테나(1246)의 하나 이상의 제1 슬롯(1248)과 정렬되거나 혹은 부분적으로 정렬될 수 있다. 또한, 채널형 리세스(1255)는, 예를 들어 원통형 기하형상, 원뿔형 기하형상, 절두원뿔형 기하형상, 구형 기하형상, 비구형 기하형상, 직사각형 기하형상, 피라미드형 기하형상, 또는 임의의 형상을 비롯한 임의의 기하형상을 가질 수 있다. 채널형 리세스(1255)는 채널 깊이(1256), 제1 채널 폭(1257) 및 제2 채널 폭(1258)을 가질 수 있다.
- [0233] 또한, 도 12의 (b)에 도시된 바와 같이, EM파 발사장치(1232)는 개구(1290) 및 가스 통로(1295)를 구비하게 제조될 수 있다. 개구(1290)는 가스 라인을 안테나(1246)의 내부를 통해 공명체판(1250)의 가스 통로(1295)에 고정하기 위한 체결 장치를 수용하도록 구성될 수 있다.
- [0234] 하나의 가스 통로만이 도시되어 있지만, 추가적인 가스 통로가 공명체판(1250)에 만들어질 수 있다. 또한, 가스 통로의 형상은 원통형 단면을 지닌 직선 형태이지만, 예를 들어 임의의 단면을 갖는 나선 형태일 수도 있다. 도 12의 (a) 및 (b)에 기재된 하나 이상의 특징부가, 도 3 내지 도 9에 도시된 실시형태 중 어느 하나에 구현될 수 있다.
- [0235] 몇몇 실시형태에서, 개구(1290)가 개구 깊이(1291)와 개구 폭(1292)을 가질 수 있고, 가스 통로(1295)가 통로 길이(1296)와 통로 폭(1297)을 가질 수 있다. 예를 들어, 개구(1290)와 가스 통로(1295)는 실질적으로 공명체판(1250)의 중심과 정렬될 수 있다. 별법으로서, 개구(1290)와 가스 통로(1295)는 서로 다르게 정렬될 수 있다.
- [0236] 도 11의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 플라즈마 대향면(1260)을 갖는 공명체판(1250)을 포함할 수 있는 예시적인 EM파 발사장치(1232)가 예시되어 있다. EM파 발사장치(1232)는 복수의 제1 슬롯(1248)과 복수의 제2 슬롯(1249)을 구비한 슬롯 안테나(1246)를 더 포함한다. 제1 슬롯(1248)과 제2 슬롯(1249)은 EM 에너지를 슬롯 안테나(1246) 위의 제1 영역으로부터 공명체판(1250)이 위치하는 슬롯 안테나 아래의 제2 영역으로 결합할 수 있게 한다.
- [0237] 제1 슬롯(1248) 및 제2 슬롯(1249)의 수, 기하형상, 크기 및 분포는, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1) 또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 형성되는 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성에 기여할 수 있는 인자일 수 있다. 따라서, 슬롯 안테나(1246)의 디자인은, 플라즈마 발생/처리 공간(125a 및/또는 125b, 도 1) 또는 플라즈마 발생/처리 공간(225a 및/또는 225b, 도 2)에서의 플라즈마의 공간적 균일성 및 안정성을 제어하는데 이용될 수 있다.
- [0238] 도 11의 (a) 및 (b)를 다시 참조해 보면, 공명체판(1250)은 판 두께(1251)와 판 직경(1252)을 갖는 유전체판을 포함한다. 예를 들어, 공명체판(1250) 상의 플라즈마 대향면(1260)은 평면(1261)을 포함할 수 있고, 이 평면 내에는 채널형 리세스(1255)가 형성될 수 있다. 별법으로서, 공명체판(1250)은 오목면 및/또는 볼록면을 포함하는 임의의 기하형상을 가질 수 있다.
- [0239] 공명체판(1250)에서의 EM 에너지 전파는, 소정 주파수의 EM 에너지에 대한 유효 파장(λ)과, 공명체판(1250)에 대한 유전상수에 의해 특징지워질 수 있다. 판 두께(1251)는 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 판 두께(1251)는 대략 2분의 1 유효 파장이거나($\lambda/2$) 또는 2분의 1 유효 파장보다 클 수 있다($> \lambda/2$). 별법으로서, 판 두께(1251)는 약 25 mm 내지 약 45 mm의 범위일 수 있다.
- [0240] 제1 채널 폭(1257), 제2 채널 폭(1258), 개구 폭(1292) 및 가스 통로 폭(1297)은 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 또한, 판 두께(1251)와 제1 깊이(1256) 사이의 제1 차(1253)는, 4분의 1 파장의 정수배($n \lambda/4$)(여기서 n 은 0보다 큰 정수) 또는 2분의 1 파장의 정수배($m \lambda/2$)(여기서 m 은 0보다 큰 정수)일 수 있다. 예를 들어, 채널 폭, 개구 폭(1292) 및 가스 통로 폭(1297)은 대략 2분의 1 유효 파장일 수 있다($\lambda/2$). 별법으로서, 개구 폭(1292) 및 가스 통로 폭(1297)은 약 2 mm 내지 약 15 mm의 범위일 수 있고, 판 두께(1251)와 깊이(1256, 1291 및 1296) 사이의 제1 차(1253)는 약 1 mm 내지 약 35 mm의 범위일 수 있다.
- [0241] 채널형 리세스(1255), 개구(1290) 및/또는 가스 통로(1295)에서는, 이웃하는 표면 사이에 매끄러운 표면 이행을 구현하기 위해, 라운드 및/또는 필렛(즉, 표면/코너 반경부)을 이용할 수 있다. 원통형 리세스에서는,

리세스의 원통형 측벽과 바닥 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 또한, 원통형 리세스에서는, 원통형 측벽과 플라즈마 대향면(1260) 사이의 코너에 표면 반경부가 배치될 수 있다. 예를 들어, 표면 반경부는 약 1 mm 내지 약 3 mm의 범위일 수 있다.

- [0242] 도 3 내지 도 12에 제공된 실시형태 중 어느 하나에 도시되어 있지는 않지만, 하나 이상의 리세스가 상호 접속될 수 있다. 추가적으로, 하나의 리세스 구조를 갖는 하나 이상의 리세스가 다른 리세스 구조를 갖는 하나 이상의 리세스와 상호 접속될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 리세스는 홈 또는 채널에 의해 상호 접속되거나 연결될 수 있다.
- [0243] 도 13a, 도 13b, 도 14a, 도 14b, 도 15a, 도 15b, 도 16a, 도 16b, 도 17a, 도 17b, 도 18a, 도 18b, 도 19a, 도 19b 및 도 20a, 도 20b에 나타내어진 데이터에 관하여, 전술한 실시형태에서는 후술하는 일반적인 조건이 사용되었다. 레이디얼 라인 슬롯 안테나(RLSA)를 사용하여 마이크로파 표면과 플라즈마를 발생시켰다. 총 플라즈마 챔버 압력은 약 150 mT(mTorr, 밀리 토르)였다. 플라즈마 발생을 위해 사용된 마이크로파 전력은 약 2500 W(와트)였다. 예시적인 라벨에 나타내어진 He/Ar/O₂ : 100/100/600은, 플라즈마 챔버에 주입된 He, Ar 및 O₂ 가스의 sccm(분당 표준 입방 센티미터) 단위의 유량(100 sccm He, 100 sccm Ar 및 600 sccm O₂)에 대응한다. 또한, 전술한 실시형태에서, 가스는 플라즈마 챔버에 주입되기 전에 사전 혼합되었고, 가스는 플라즈마 챔버의 바닥에 위치해 있는 2개의 주입기로부터 주입되었다. 또한, 플라즈마 챔버 바닥에서 측정된 EM 방사 강도는 0.02 mW/cm²(제공센티미터당 밀리와트)이었다. 또한, "조정되지 않은"은 임피던스 정합기가 계속 움직였다는 것을 의미한다.
- [0244] 도 13a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 프로세스 데이터를 보여주는 도면이고, 도 13b는 도 13a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다. 예를 들어, 150 mT 및 2500 W에서 실험을 행한 경우, 프로세스 결과는, 플라즈마를 조정 및 안정화시키기 위해, 헬륨을 추가할 수 있다는 것을 보여주었다. 또한, 헬륨을 Ar/O₂ 혼합물에 추가한 경우, 챔버의 바닥에서의 EM 방사가 줄어든다.
- [0245] 도 14a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 명멸 억제 데이터를 보여주는 도면이고, 도 14b는 도 14a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다. 예를 들어, 80 mT 및 2500 W에서 실험을 행한 경우, 프로세스 결과는, 플라즈마 변동을 억제하기 위해, 헬륨을 추가할 수 있고 헬륨이 플라즈마를 대칭화할 수 있다는 것을 보여주었다.
- [0246] 도 15a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 안정화 데이터를 보여주는 도면이고, 도 15b는 도 15a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다. 예를 들어, 20 mT 및 3500 W에서 실험을 행한 경우, 프로세스 결과는, 저압 및 고전력에서의 플라즈마 변동을 억제하기 위해, 헬륨을 추가할 수 있다는 것을 보여주었다.
- [0247] 도 16a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 안정화 데이터를 추가적으로 보여주는 도면이고, 도 16b는 도 16a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다. 예를 들어, 20 mT 및 2000 W에서 실험을 행한 경우, 프로세스 결과는, 저압 및 중간 전력에서의 플라즈마 변동을 억제하기 위해, 헬륨을 추가할 수 있다는 것을 보여주었다.
- [0248] 도 17a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 안정화 데이터를 추가적으로 보여주는 도면이고, 도 17b는 도 17a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다. 예를 들어, 20 mT 및 1500 W에서 실험을 행한 경우, 프로세스 결과는, 저압 및 저전력에서의 플라즈마 변동을 억제하기 위해, 헬륨을 추가할 수 있다는 것을 보여주었다.
- [0249] 도 18a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 명멸 억제 데이터를 추가적으로 보여주는 도면이고, 도 18b는 도 18a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다. 예를 들어, 10 mT 및 2500 W에서 실험을 행한 경우, 프로세스 결과는, 매우 낮은 압력 및 중간 전력에서의 플라즈마 변동을 억제하기 위해, 헬륨을 추가할 수 있다는 것을 보여주었다.
- [0250] 도 19a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 EM 블로킹 데이터를 보여주는 도면이고, 도 19b는 도 19a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다. 예를 들어, 150 mT 및 1000 W에서 실험을 행한 경우, 프로세스 결과는, 헬륨을 Ar/O₂ 혼합물에 추가하였을 때, 챔버의 바닥에서의 EM 방사가 줄어든다는 것을 보여주었다.
- [0251] 본 발명의 특정 실시예만을 상세히 전술하였지만, 당업자라면 본 발명의 신규한 교시 및 이점에서 실질적으로

벗어나지 않으면서, 상기 특정 실시예에 다양한 변형을 실시할 수 있음을 쉽게 이해할 것이다. 따라서, 이러한 모든 변경은 본 발명의 범위 내에 포함되는 것이다.

- [0252] 도 20a는 본 발명의 실시형태에 따른 예시적인 추가 프로세스 데이터를 보여주는 도면이고, 도 20b는 도 20a와 관련된 프로세스 조건 및 프로세스 결과의 세트를 보여주는 도면이다.
- [0253] 여러 GIGDSC 절차 중에, 플라즈마 소스(115, 도 1 및 215, 도 2)는 전자(EM)과 발사장치(332, 도 3), 또는 EM과 발사장치(432, 도 4), 또는 EM과 발사장치(532, 도 5), 또는 EM과 발사장치(632, 도 6), 또는 EM과 발사장치(732, 도 7), 또는 EM과 발사장치(832, 도 8), 또는 EM과 발사장치(932, 도 9), 또는 EM과 발사장치(1032, 도 10), 또는 EM과 발사장치(1132, 도 11), 또는 EM과 발사장치(1232, 도 12), 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 또한, 플라즈마 소스(115, 도 1 및 215, 도 2)의 플라즈마 대향면(116, 도 1 및 216, 도 2)은 플라즈마 대향면(360, 도 3), 또는 플라즈마 대향면(460, 도 4), 또는 플라즈마 대향면(560, 도 5), 또는 플라즈마 대향면(660, 도 6), 또는 플라즈마 대향면(760, 도 7), 또는 플라즈마 대향면(860, 도 8), 또는 플라즈마 대향면(960, 도 9), 또는 플라즈마 대향면(1060, 도 10), 또는 플라즈마 대향면(1160, 도 11), 또는 플라즈마 대향면(1260, 도 12), 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다. 또한, 플라즈마 대향면(116, 도 1 및 216, 도 2)의 리세스(117, 도 1 및 217, 도 2)는 리세스(455 및/또는 465, 도 4), 또는 리세스(555 및/또는 565, 도 5), 또는 리세스(655 및/또는 665, 도 6), 또는 리세스(755 및/또는 765, 도 7), 또는 리세스(855 및/또는 865, 도 8), 또는 리세스(955 및/또는 965, 도 9), 또는 리세스(1055 및/또는 1065, 도 10), 또는 리세스(1155 및/또는 1165, 도 11), 또는 리세스(1255 및/또는 1265, 도 12), 또는 이들의 임의의 조합을 포함할 수 있다.
- [0254] 도 21은 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 웨이퍼를 처리하는 방법의 예시적인 흐름도이다. 도 21은 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105, 도 1)을 이용하여 기관을 처리하는 절차 2100을 예시한다. 절차 2100은 다수의 처리 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 GIGDSC 절차 동안에, 제1 펌핑 시스템(180, 도 1) 및 제1 압력 제어 시스템(181, 도 1)을 이용하여 서로 다른 챔버 압력을 달성할 수 있다. 예를 들어, 챔버 압력은 약 1 mTorr 내지 약 1000 mTorr일 수 있다. 또한, 기관 온도 제어 시스템(128, 도 1) 및 온도 제어 요소(129, 도 1)를 이용하여 서로 다른 기관 온도를 달성할 수 있다. 예를 들어, 기관 온도는 약 -10°C 내지 약 250°C일 수 있다.
- [0255] 2110에서는, GIGDSC 절차 동안에 GIGDSC 플라즈마를 발생시키도록 구성되어 있는 프로세스 챔버(110, 도 1)에서 기관 홀더(120, 도 1) 상에 기관(121, 도 1)을 배치할 수 있고, GIGDSC 절차를 위한 처리 시간은 약 2초 내지 약 2분일 수 있다. 플라즈마 소스(115, 도 1)가 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장에 연결될 수 있고, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상벽을 형성하며 복수의 리세스(117, 도 1)를 갖는 플라즈마 대향면(116, 도 1)이 플라즈마 소스(115, 도 1)에 마련될 수 있다.
- [0256] 2115에서는, GIGDSC 절차와 연관된 제1 사전 처리 시간 동안에, 제1 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서, GIGDSC 절차와 연관된 제1 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부 및/또는 바닥부에 제1 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 제1 가스 혼합물은 가벼운 플라즈마 발생 가스 및 무거운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 제1 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로 상기 가벼운 플라즈마 발생 가스를 이동(확산)시키는 데에, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및/또는 165, 도 1)가 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및/또는 165, 도 1)가 제1 가스 혼합물을 제공하도록 구성될 수 있으며, 제1 가스 혼합물의 성분, 제1 가스 혼합물의 유량 및 제1 가스 혼합물의 유동 방향을 제어하도록 구성될 수 있다.
- [0257] 다른 실시형태에서는, GIGDSC 절차와 관련된 제1 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로 가벼운 플라즈마 발생 가스를 유입시킬 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 가스 공급 요소(135 및/또는 155, 도 1)가 프로세스 챔버의 천장부 부근에서 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(135 및/또는 155, 도 1)는 제1 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(116, 도 1) 부근의 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에 가벼운 플라즈마 발생 가스를 제공하도록 구성될 수 있다.
- [0258] 또한, 플라즈마 소스(115, 도 1)는 제1 사전 처리 시간 동안에 제1 사전 처리 전력을 플라즈마 대향면(116, 도 1)을 통해 가벼운 플라즈마 발생 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(116, 도 1)에 인접한 플라즈마 발생 공간에 제1 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마를 형성한다.

여러 실시형태에서, 제1 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 제1 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0259] 2120에서는, 제1 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 제1 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제1 사전 처리 시간 동안에 제1 "가벼운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 제1 "가벼운 가스" 안정화 값이 제1 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 제1 질의를 수행할 수 있다. 제1 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 제1 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서는다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2125로 분기되어 계속될 수 있다. 제1 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 제1 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2130으로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 제1 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정하는데 사용될 수 있다 플라즈마에서 발하는 빛의 강도와 간헐성은 플라즈마의 안정성을 평가하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 불안정한 플라즈마는 간헐적인 광학 신호를 발생시킬 수 있다.

[0260] 2125에서는, 제1 "가벼운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 제1 가스 혼합물 성분, 제1 가스 혼합물 유량, 제1 가스 혼합물 방향, 가벼운 가스의 수, 가벼운 가스의 유량, 가벼운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기판 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

[0261] 2130에서는, GIGDSC 절차와 연관된 제2 사전 처리 시간 동안에, 제2 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서는, 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부 및/또는 바닥부에 제1 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 가벼운 플라즈마 발생 가스가 제2 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로 이동(확산)될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 이용될 수 있다.

[0262] 다른 실시형태에서는, GIGDSC 절차와 관련된 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부에 위치한 제1 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로, 가벼운 플라즈마 발생 가스가 계속 유입 및 확산될 수 있다. 예를 들어, 가벼운 플라즈마 발생 가스는, 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 대향면(116, 도 1)의 적어도 하나의 리세스(117, 도 1)로 확산될 수 있다.

[0263] 또한, 플라즈마 소스(115, 도 1)는 제2 사전 처리 시간 동안에 제2 사전 처리 전력을 플라즈마 대향면(116, 도 1)을 통해 플라즈마 대향면(116, 도 1)에 인접한 가벼운 플라즈마 발생 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제2 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면에 인접한 플라즈마 발생 공간에 제2 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마를 형성한다. 다른 실시형태에서, 제2 사전 처리 전력은 제2 사전 처리 시간 동안에 제공되지 않을 수도 있다. 예를 들어, 전술한 GIGDSC 플라즈마 프로세스를 위한 제2 사전 처리 시간은 약 1 밀리초 내지 약 10초의 범위일 수 있다. 여러 실시형태에서, 제2 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 제2 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0264] 2135에서는, GIGDSC 절차와 연관된 제2 사전 처리 시간 동안에, 초기 "무거운 프로세스 가스" 사전 처리 플라즈마가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서, 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부 및/또는 바닥부에 제2 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 제2 가스 혼합물은 제2 가벼운 플라즈마 발생 가스 및 무거운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 예를 들어, 제2 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 하부에 있는 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)으로 상기 무거운 프로세스 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다.

[0265] 다른 실시형태에서는, GIGDSC 절차와 관련된 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 하부에 있는 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)의 적어도 일부분으로, 무거운 프로세스 가스가 유입 및/또는 확산될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(145 및/또는 165, 도 1)가 프로세스 챔버의 하부 부근에서 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(145 및/또는 165, 도 1)는 제2 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)의 적어도 일부분에 무거운 프로세스 가스를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0266] 또한, 플라즈마 소스(115, 도 1)는, 제2 사전 처리 시간 동안에 무거운 프로세스 가스가 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 유입 및/또는 확산될 때, 추가적인 사전 처리 전력을 무거운 프로세스 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제2 사전 처리 시간 동안에 기판(121, 도 1)에 인접한 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 초기 "무거운 가스" 사전 처리 플라즈마를 형성한다. 다른 실시형태에서, 제2 사전 처리 전력은 제2 사

전 처리 시간 동안에 제공되지 않을 수도 있다. 여러 실시형태에서, 추가적인 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 추가적인 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0267] 2140에서는, 제1 "무거운 프로세스 가스" 사전 처리 플라즈마에 대하여 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제2 사전 처리 시간 동안에 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 제2 사전 처리 시간 동안에 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 제2 질의를 수행할 수 있다. 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2145로 분기되어 계속될 수 있다. 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2150으로 분기되어 계속될 수 있다. 예를 들어, 제1 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 확인하기 위해, 하나 이상의 프로세스 센서가 사용될 수 있다. 플라즈마에서 발하는 빛의 강도와 간헐성은 플라즈마의 안정성을 평가하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 불안정한 플라즈마는 간헐적인 광학 신호를 발생시킬 수 있다.

[0268] 그 밖의 GIGDSC 절차에서는, 제2 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 제2 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제2 사전 처리 시간 동안에 제2 "가벼운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 제2 "가벼운 가스" 안정화 값이 제2 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 추가적인 질의를 수행할 수 있다. 제2 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 제2 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2145로 분기되어 계속될 수 있다. 제2 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 제2 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2150으로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 제2 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정하는 데 사용될 수 있다. 플라즈마에서 발하는 빛의 강도와 간헐성은 플라즈마의 안정성을 평가하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 불안정한 플라즈마는 간헐적인 광학 신호를 발생시킬 수 있다.

[0269] 2145에서는, 제2 사전 처리 시간 동안에 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값 및/또는 제2 "가벼운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 제1 가스 혼합물 성분, 제1 가스 혼합물 유량, 제1 가스 혼합물 방향, "무거운 프로세스 가스"의 수, "무거운 프로세스 가스"의 유량, "무거운 프로세스 가스"의 유동 방향, 가벼운 가스의 수, 가벼운 가스의 유량, 가벼운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 제1 및/또는 제2 사전 처리 전력, 또는 기판 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 상기 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

[0270] 2150에서는, GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 새로운 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마와 새로운 무거운 가스 처리 플라즈마가 형성될 수 있다.

[0271] 몇몇 실시형태에서, 상기 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부 및/또는 바닥부에 새로운 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 새로운 가스 혼합물은 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스 및 새로운 무거운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로 상기 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데에, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 하부에 있는 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)으로 상기 새로운 무거운 프로세스 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다.

[0272] 다른 실시형태에서는, 상기 처리 시간 동안에, 상기 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스가 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부에 제공될 수 있고, 상기 새로운 무거운 프로세스 가스가 프로세스 챔버(110, 도 1)의 바닥부에 제공될 수 있다. 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로 및/또는 그 부근으로 상기 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스가 이동될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 하부에 있는 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)으로 및/또는 그 부근으로 상기 새로운 무거운 프로세스 가스가 이동될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다.

[0273] 몇몇 실시형태에서는, 상기 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스가 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에 유입될 때, 제1 처리 전력을 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스에 인가하여, 수행 중인 GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에 새로운 가벼운 가스 안정화 플라즈마를 형성할 수 있다. 여러 실시형태에서, 제1 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에

의해 제공될 수 있고, 제1 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다. 예를 들어, 제1 처리 전력은, 상기 처리 시간 동안에, 적어도 하나의 리세스(117, 도 1) 및/또는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에 새로운 가벼운 가스 안정화 플라즈마를 형성하도록, 플라즈마 대향면(116, 도 1)을 통해 인가될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에, 고에너지 전자 및/또는 이온이 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에서 발생되어 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)으로 이동될 수 있다.

[0274] 상기 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)의 적어도 일부분으로, 새로운 무거운 플라즈마 처리 가스가 유입될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(145 및/또는 165, 도 1)가 프로세스 챔버의 하부 부근에서 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(145 및/또는 165, 도 1)는 수행 중인 GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)의 적어도 일부분에 무거운 플라즈마 처리 가스를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0275] 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에, 인가된 마이크로파 전력 및/또는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에 발생된 고에너지 전자와 무거운 프로세스 가스를 이용하여, 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)의 적어도 일부분에 새로운 무거운 가스 처리 플라즈마를 형성할 수 있다. 또한, 플라즈마 소스(115, 도 1)는, 상기 처리 시간 동안에 무거운 프로세스 가스가 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 유입 및/또는 확산될 때, 추가적인 처리 전력을 무거운 프로세스 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 상기 처리 시간 동안에 기관(121, 도 1)에 인접한 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 새로운 "무거운 가스" 처리 플라즈마를 형성한다. 여러 실시 형태에서, 상기 추가적인 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 추가적인 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0276] 215에서는, 새로운 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 상기 처리 시간 동안에 새로운 "가벼운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값이 새로운 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 새로운 질의를 수행할 수 있다. 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 새로운 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서한다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2160으로 분기되어 계속될 수 있다. 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 새로운 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2165로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 상기 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정하는 데 사용될 수 있다 플라즈마에서 발하는 빛의 강도와 간헐성은 플라즈마의 안정성을 평가하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 불안정한 플라즈마는 간헐적인 광학 신호를 발생시킬 수 있다.

[0277] 또한, 무거운 가스 처리 플라즈마에 대하여 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 상기 처리 시간 동안에 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 상기 처리 시간 동안에 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 새로운 추가적인 질의를 수행할 수 있다. 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서한다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2160으로 분기되어 계속될 수 있다. 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 21에 도시된 바와 같이 절차 2100은 2165로 분기되어 계속될 수 있다. 예를 들어, 제1 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 확인하기 위해, 하나 이상의 프로세스 센서가 사용될 수 있고, 불안정한 플라즈마는 간헐적인 광학 신호를 발생시킬 수 있다.

[0278] 2160에서는, 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값 및/또는 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 새로운 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 새로운 가스 혼합물 성분, 새로운 가스 혼합물 유량, 새로운 가스 혼합물 유동 방향, 새로운 "무거운 프로세스 가스"의 수, 새로운 "무거운 프로세스 가스"의 유량, 새로운 "무거운 프로세스 가스"의 유동 방향, 새로운 가벼운 가스의 수, 새로운 가벼운 가스의 유량, 새로운 가벼운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 처리 전력, 추가적인 처리 전력, 또는 기관 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 새로운 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

[0279] 2165에서는, 상기 처리 시간 동안에, 무거운 가스 처리 플라즈마를 사용하여 기관(121, 도 1)을 처리할 수 있다.

[0280] 도 22는 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 웨이퍼를 처리하는 방법의 예시적인 흐름도이다. 도 22는 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205, 도 2)을 이용하여 기관을 처리하는 절차

2200을 예시한다. 절차 2200은 다수의 처리 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 GIGDSC 절차 동안에, 제2 펌핑 시스템(280, 도 2) 및 제2 압력 제어 시스템(281, 도 2)을 이용하여 서로 다른 챔버 압력을 달성할 수 있다. 예를 들어, 챔버 압력은 약 1 mTorr 내지 약 1000 mTorr일 수 있다. 또한, 제2 기판 온도 제어 시스템(228, 도 2) 및 제2 온도 제어 요소(229, 도 2)를 이용하여 서로 다른 기판 온도를 달성할 수 있다. 예를 들어, 기판 온도는 약 -10°C 내지 약 250°C일 수 있다.

[0281] 2210에서는, 제2 GIGDSC 절차(2200) 동안에 제2 GIGDSC 플라즈마를 발생시키도록 구성되어 있는 제2 프로세스 챔버(210, 도 2)의 상부에 있는 제2 기판 홀더(220, 도 2) 상에 제2 기판(221, 도 2)을 배치할 수 있고, 제2 GIGDSC 절차(2200)를 위한 처리 시간은 약 2초 내지 약 2분일 수 있다. 제2 플라즈마 소스(215, 도 2)가 제2 프로세스 챔버(210, 도 2)의 바닥에 연결될 수 있고, 제2 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하벽을 형성하며 복수의 리세스(217, 도 2)를 갖는 플라즈마 대향면(216, 도 2)이 제2 플라즈마 소스(215, 도 2)에 마련될 수 있다.

[0282] 2215에서는, 제2 GIGDSC 절차(2200)와 연관된 제1 사전 처리 시간 동안에, 제1 "무거운 가스" 안정화 플라즈마가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서, GIGDSC 절차와 연관된 제1 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 천장부 및/또는 바닥부에 제1 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 제1 가스 혼합물은 무거운 플라즈마 발생 가스 및 가벼운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 제1 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 상기 무거운 플라즈마 발생 가스가 이동(확산)될 수 있기 하는 데에, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 제1 가스 혼합물을 제공하도록 구성될 수 있으며, 제1 가스 혼합물의 성분, 제1 가스 혼합물의 유량 및 제1 가스 혼합물의 유동 방향을 제어하도록 구성될 수 있다.

[0283] 다른 실시형태에서는, 제2 GIGDSC 절차와 관련된 제1 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 무거운 플라즈마 안정화 가스가 유입될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 가스 공급 요소(235 및/또는 255, 도 2)가 프로세스 챔버의 바닥부 부근에서 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(235 및/또는 255, 도 2)는 제1 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(216, 도 2) 부근의 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 무거운 플라즈마 안정화 가스를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0284] 몇몇 실시형태에서, 플라즈마 소스(215, 도 2)는 제1 사전 처리 시간 동안에 제1 사전 처리 전력을 플라즈마 대향면(216, 도 2)을 통해 무거운 플라즈마 안정화 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(216, 도 2)에 인접한 플라즈마 발생 공간에 제1 "무거운 가스" 안정화 플라즈마를 형성한다. 여러 실시형태에서, 제1 사전 처리 전력은 표면파 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 제1 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0285] 2220에서는, 제1 "무거운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 제1 "무거운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제1 사전 처리 시간 동안에 제1 "무거운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 제1 "무거운 가스" 안정화 값이 제1 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 제1 질의를 수행할 수 있다. 제1 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 제1 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2225로 분기되어 계속될 수 있다. 제1 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 제1 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2230으로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 제1 "무거운 가스" 안정화 값을 결정하는데 사용될 수 있고, 불안정한 플라즈마는 간헐적인 광학 신호를 발생시킬 수 있다.

[0286] 2225에서는, 제1 "무거운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 제1 가스 혼합물 성분, 제1 가스 혼합물 유량, 제1 가스 혼합물 유동 방향, 무거운 가스의 수, 무거운 가스의 유량, 무거운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기판 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

[0287] 2230에서는, 제2 GIGDSC 절차(2200)와 연관된 제2 사전 처리 시간 동안에, 제2 "무거운 가스" 사전 처리 플라즈마가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서는, 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 천장부 및/또는 바닥부에 제2 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 무거운 플라즈마 발생 가스가 제2 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 이동(확산)될 수 있게

하는 데, 중력 분리 효과가 이용될 수 있다. 또한, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 제2 가스 혼합물을 제공하도록 구성될 수 있으며, 제2 가스 혼합물의 성분, 제2 가스 혼합물의 유량 및 제2 가스 혼합물의 유동 방향을 제어하도록 구성될 수 있다.

[0288] 다른 실시형태에서는, GIGDSC 절차와 관련된 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 바닥부에 위치한 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로, 무거운 플라즈마 발생 가스가 계속 유입 및 확산될 수 있다.

[0289] 몇몇 예에서, 무거운 플라즈마 발생 가스는, 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 대향면(216, 도 2)의 적어도 하나의 리세스(217, 도 2)로 확산될 수 있다. 또한, 플라즈마 소스(215, 도 2)는 제2 사전 처리 시간 동안에 제2 사전 처리 전력을 플라즈마 대향면(216, 도 2)을 통해 플라즈마 대향면(216, 도 2)에 인접한 무거운 플라즈마 발생 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제2 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면에 인접한 플라즈마 발생 공간에 제2 "무거운 가스" 사전 처리 플라즈마를 형성한다. 다른 예에서, 제2 사전 처리 전력은 제2 사전 처리 시간 동안에 제공되지 않을 수도 있다. 예를 들어, 전술한 GIGDSC 플라즈마 프로세스를 위한 제2 사전 처리 시간은 약 1밀리초 내지 약 10초의 범위일 수 있다. 여러 실시형태에서, 제2 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 제2 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0290] 2235에서는, GIGDSC 절차 2200과 연관된 제2 사전 처리 시간 동안에, 초기 "가벼운 프로세스 가스" 사전 처리 플라즈마가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서는, 제2 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 상부에 있는 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)의 적어도 일부분으로, 가벼운 프로세스 가스가 유입 및/또는 확산될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(245 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버의 상부 부근에서 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(245 및/또는 265, 도 2)는 제2 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)의 적어도 일부분에 가벼운 프로세스 가스를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0291] 또한, 플라즈마 소스(215, 도 2)는, 제2 사전 처리 시간 동안에 가벼운 프로세스 가스가 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 유입 및/또는 확산될 때, 추가적인 사전 처리 전력을 가벼운 프로세스 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제2 사전 처리 시간 동안에 기관(221, 도 2)에 인접한 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 초기 "가벼운 가스" 사전 처리 플라즈마를 형성한다. 다른 실시형태에서, 제2 사전 처리 전력은 제2 사전 처리 시간 동안에 제공되지 않을 수도 있다. 여러 실시형태에서, 추가적인 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 추가적인 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0292] 2240에서는, 초기 "가벼운 프로세스 가스" 사전 처리 플라즈마에 대하여 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제2 사전 처리 시간 동안에 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 제2 사전 처리 시간 동안에 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 제2 질의를 수행할 수 있다. 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2245로 분기되어 계속될 수 있다. 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2250으로 분기되어 계속될 수 있다. 예를 들어, 제1 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값을 확인하기 위해, 하나 이상의 프로세스 센서가 사용될 수 있다.

[0293] 그 밖의 GIGDSC 절차에서는, 제2 "무거운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 제2 "무거운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제2 사전 처리 시간 동안에 제2 "무거운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 제2 "무거운 가스" 안정화 값이 제2 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 추가적인 질의를 수행할 수 있다. 제2 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 제2 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2245로 분기되어 계속될 수 있다. 제2 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 제2 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2250으로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 제2 "무거운 가스" 안정화 값을 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0294] 2245에서는, 제1 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값 및/또는 제2 "무거운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해,

적어도 하나의 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 제1 가스 혼합물 성분, 제1 가스 혼합물 유량, 제1 가스 혼합물 유동 방향, "가벼운 프로세스 가스"의 수, "가벼운 프로세스 가스"의 유량, "가벼운 프로세스 가스"의 유동 방향, 무거운 가스의 수, 무거운 가스의 유량, 무거운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기판 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

[0295] 2250에서는, GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 새로운 "무거운 가스" 안정화 플라즈마와 새로운 가벼운 가스 처리 플라즈마가 형성될 수 있다.

[0296] 몇몇 실시형태에서, 상기 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 천장부 및/또는 바닥부에 새로운 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 새로운 가스 혼합물은 새로운 무거운 플라즈마 발생 가스 및 새로운 가벼운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 상기 새로운 무거운 플라즈마 발생 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데에, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 상부에 있는 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)으로 상기 새로운 가벼운 프로세스 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 새로운 가스 혼합물을 제공하도록 구성될 수 있으며, 새로운 가스 혼합물의 성분, 새로운 가스 혼합물의 유량 및 새로운 가스 혼합물의 유동 방향을 제어하도록 구성될 수 있다.

[0297] 다른 실시형태에서는, 상기 처리 시간 동안에, 상기 무거운 플라즈마 발생 가스가 프로세스 챔버(210, 도 2)의 바닥부에 제공될 수 있고, 상기 가벼운 프로세스 가스가 프로세스 챔버(210, 도 2)의 천장부에 제공될 수 있다. 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 및/또는 그 부근으로 상기 무거운 플라즈마 발생 가스가 이동될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)으로 및/또는 그 부근으로 상기 가벼운 프로세스 가스가 이동될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다.

[0298] 2250에서는, 수행 중인 GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 인가된 마이크로파 전력 및/또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 발생된 고에너지 전자와 가벼운 프로세스 가스를 이용하여, 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)의 적어도 일부분에 새로운 가벼운 가스 처리 플라즈마를 형성할 수 있다.

[0299] 몇몇 실시형태에서는, 무거운 플라즈마 발생 가스가 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 유입될 때, 제1 처리 전력을 무거운 플라즈마 발생 가스에 인가하여, 수행 중인 GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 새로운 무거운 가스 안정화 플라즈마를 형성할 수 있다. 여러 실시형태에서, 제1 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 제1 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다. 예를 들어, 제1 처리 전력은, 상기 처리 시간 동안에, 적어도 하나의 리세스(217, 도 2) 및/또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 새로운 무거운 가스 안정화 플라즈마를 형성하도록, 플라즈마 대향면(216, 도 2)을 통해 인가될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에, 고에너지 전자 및/또는 이온이 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에서 발생되어 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)으로 이동될 수 있다.

[0300] 상기 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)의 적어도 일부분으로, 가벼운 플라즈마 처리 가스가 유입될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(245 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버의 상부 부근에서 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(245 및/또는 265, 도 2)는 수행 중인 GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)의 적어도 일부분에 가벼운 플라즈마 처리 가스를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0301] 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에, 인가된 마이크로파 전력 및/또는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 발생된 고에너지 전자와 가벼운 프로세스 가스를 이용하여, 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)의 적어도 일부분에 새로운 가벼운 가스 처리 플라즈마를 형성할 수 있다. 또한, 플라즈마 소스(215, 도 2)는, 상기 처리 시간 동안에 가벼운 프로세스 가스가 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 유입 및/또는 확산될 때, 추가적인 처리 전력을 가벼운 프로세스 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 상기 처리 시간 동안에 기판(221, 도 2)에 인접한 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 가벼운 가스 처리 플라즈마를 형성한다. 여러 실시형태에서, 상기 추가적인 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 추가적인 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

- [0302] 2255에서는, 새로운 "무거운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 새로운 "무거운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 상기 처리 시간 동안에 새로운 "무거운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 새로운 "무거운 가스" 안정화 값이 새로운 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 새로운 질의를 수행할 수 있다. 새로운 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 새로운 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서는다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2260으로 분기되어 계속될 수 있다. 새로운 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 새로운 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2265로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 상기 새로운 "무거운 가스" 안정화 값을 결정하는 데 사용될 수 있다.
- [0303] 또한, 새로운 가벼운 가스 처리 플라즈마에 대하여 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 상기 처리 시간 동안에 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 상기 처리 시간 동안에 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 새로운 추가적인 질의를 수행할 수 있다. 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2260으로 분기되어 계속될 수 있다. 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 22에 도시된 바와 같이 절차 2200은 2265로 분기되어 계속될 수 있다. 예를 들어, 제1 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값을 확인하기 위해, 하나 이상의 프로세스 센서가 사용될 수 있다.
- [0304] 2260에서는, 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값 및/또는 새로운 "무거운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 새로운 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 새로운 가스 혼합물 성분, 새로운 가스 혼합물 유량, 새로운 가스 혼합물 유동 방향, 새로운 "가벼운 프로세스 가스"의 수, 새로운 "가벼운 프로세스 가스"의 유량, 새로운 "가벼운 프로세스 가스"의 유동 방향, 새로운 무거운 가스의 수, 새로운 무거운 가스의 유량, 새로운 무거운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기관 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.
- [0305] 2265에서는, 상기 처리 시간 동안에, 가벼운 가스 처리 플라즈마를 사용하여 기관(221, 도 2)을 처리할 수 있다.
- [0306] 도 23은 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 웨이퍼를 처리하는 방법의 예시적인 흐름도이다. 도 23은 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105, 도 1)을 이용하여 기관을 처리하는 절차 2300을 예시한다. 절차 2300은 다수의 처리 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 GIGDSC 절차 동안에, 제1 펌핑 시스템(180, 도 1) 및 제1 압력 제어 시스템(181, 도 1)을 이용하여 서로 다른 챔버 압력을 달성할 수 있다. 예를 들어, 챔버 압력은 약 1 mTorr 내지 약 1 Torr의 범위일 수 있다. 또한, 기관 온도 제어 시스템(128, 도 1) 및 온도 제어 요소(129, 도 1)를 이용하여 서로 다른 기관 온도를 달성할 수 있다. 예를 들어, 기관 온도는 약 -10°C 내지 약 250°C의 범위일 수 있다.
- [0307] 2310에서는, GIGDSC 절차(2300) 동안에 GIGDSC 플라즈마를 발생시키도록 구성되어 있는 프로세스 챔버(110, 도 1)에서 기관 홀더(120, 도 1) 상에 기관(121, 도 1)을 배치할 수 있고, GIGDSC 절차를 위한 처리 시간은 약 2초 내지 약 2분일 수 있다. 플라즈마 소스(115, 도 1)가 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장에 연결될 수 있고, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상벽을 형성하며 복수의 리세스(117, 도 1)를 갖는 플라즈마 대향면(116, 도 1)이 플라즈마 소스(115, 도 1)에 마련될 수 있다.
- [0308] 2315에서는, GIGDSC 절차와 연관된 제1 사전 처리 시간 동안에, 초기 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마와 초기 "무거운 가스" 사전 처리 플라즈마가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서, GIGDSC 절차와 연관된 제1 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부 및/또는 바닥부에 제1 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 제1 가스 혼합물은 가벼운 플라즈마 발생 가스 및 무거운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 제1 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로 상기 가벼운 플라즈마 발생 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데에, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및/또는 165, 도 1)가 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및/또는 165, 도 1)가 제1 가스 혼합물을 제공하도록 구성될 수 있으며, 제1 가스 혼합물의 성분, 제1 가스 혼합물의 유량 및 제1 가스 혼합물의 유동 방향을 제어하도록 구성될 수 있다.
- [0309] 다른 실시형태에서는, GIGDSC 절차와 관련된 제1 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에

있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로 하나 이상의 가벼운 플라즈마 발생 가스가 유입 및/또는 확산될 수 있고, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 하부에 있는 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)으로 하나 이상의 무거운 프로세스 가스가 유입 및/또는 확산될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 가스 공급 요소(135 및/또는 155, 도 1)가 프로세스 챔버의 천장부 부근에서 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(135 및/또는 155, 도 1)는 제1 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(116, 도 1) 부근의 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에 가벼운 플라즈마 발생 가스를 제공하도록 구성될 수 있다. 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(145 및/또는 165, 도 1)가 프로세스 챔버의 바닥부 부근에서 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(145 및/또는 165, 도 1)는 제1 사전 처리 시간 동안에 기관(121, 도 1)의 표면 부근의 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 무거운 플라즈마 처리 가스를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0310] 몇몇 GIGDSC 절차에서, 플라즈마 소스(115, 도 1)는 제1 사전 처리 시간 동안에 제1 사전 처리 전력을 플라즈마 대향면(116, 도 1)을 통해 가벼운 플라즈마 발생 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(116, 도 1)에 인접한 플라즈마 발생 공간에 초기 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마를 형성한다. 여러 실시형태에서, 제1 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 제1 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0311] 또한, 플라즈마 소스(115, 도 1)는, 제1 사전 처리 시간 동안에 무거운 프로세스 가스가 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 유입 및/또는 확산될 때, 추가적인 사전 처리 전력을 무거운 프로세스 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 사전 처리 시간 동안에 기관(121, 도 1)에 인접한 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 초기 "무거운 가스" 사전 처리 플라즈마를 형성한다. 다른 실시형태에서, 추가적인 사전 처리 전력은 제1 사전 처리 시간 동안에 제공되지 않을 수도 있다. 여러 실시형태에서, 추가적인 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 추가적인 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0312] 2320에서는, 초기 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 초기 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제1 사전 처리 시간 동안에 초기 "가벼운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 초기 "가벼운 가스" 안정화 값이 초기 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 제1 질의를 수행할 수 있다. 초기 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 초기 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 23에 도시된 바와 같이 절차 2300은 2325로 분기되어 계속될 수 있다. 초기 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 초기 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 23에 도시된 바와 같이 절차 2300은 2330으로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 제1 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0313] 2325에서는, 초기 "가벼운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 제1 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 제1 가스 혼합물 성분, 제1 가스 혼합물 유량, 제1 가스 혼합물 유동 방향, 가벼운 가스의 수, 가벼운 가스의 유량, 가벼운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기관 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 제1 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

[0314] 2330에서는, 초기 "무거운 프로세스 가스" 사전 처리 플라즈마에 대하여 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제1 사전 처리 시간 동안에 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 제1 사전 처리 시간 동안에 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 제2 질의를 수행할 수 있다. 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 23에 도시된 바와 같이 절차 2300은 2335로 분기되어 계속될 수 있다. 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 23에 도시된 바와 같이 절차 2300은 2340으로 분기되어 계속될 수 있다. 예를 들어, 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 확인하기 위해, 하나 이상의 프로세스 센서가 사용될 수 있다.

[0315] 2335에서는, 초기 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 제2 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 제1 가스 혼합물 성분, 제1 가스 혼합물 유량, 제1 가스 혼합물 유동 방향, "무거운 프로세스 가스"의 수, "무거운 프로세스 가스"의 유량, "무거운 프로세스 가스"의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기관 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 제2 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

- [0316] 2340에서는, GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 새로운 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마와 새로운 무거운 가스 처리 플라즈마가 형성될 수 있다.
- [0317] 몇몇 실시형태에서, 상기 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부 및/또는 바닥부에 새로운 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 새로운 가스 혼합물은 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스 및 새로운 무거운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 또한, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및/또는 165, 도 1)가 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(135, 145, 155 및/또는 165, 도 1)가 제1 가스 혼합물을 제공하도록 구성될 수 있으며, 제1 가스 혼합물의 성분, 제1 가스 혼합물의 유량 및 제1 가스 혼합물의 유동 방향을 제어하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)으로 상기 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데에, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 하부에 있는 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)으로 상기 새로운 무거운 프로세스 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다.
- [0318] 다른 실시형태에서는, 상기 처리 시간 동안에, 상기 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스가 프로세스 챔버(110, 도 1)의 천장부에 제공될 수 있고, 상기 새로운 무거운 프로세스 가스가 프로세스 챔버(110, 도 1)의 바닥부에 제공될 수 있다. 하나 이상의 가스 공급 요소(135 및/또는 155, 도 1)가 프로세스 챔버의 천장부 부근에서 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(135 및/또는 155, 도 1)는 제1 사전 시간 동안에 플라즈마 대향면(116, 도 1) 부근의 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에 가벼운 플라즈마 발생 가스를 제공하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 상부에 있는 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에 및/또는 그 부근에 상기 새로운 가벼운 플라즈마 발생 가스가 남아있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(145 및/또는 165, 도 1)가 프로세스 챔버의 바닥부 부근에서 프로세스 챔버(110, 도 1)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(145 및/또는 165, 도 1)는 제1 처리 시간 동안에 기관(121, 도 1)의 표면 부근의 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 무거운 플라즈마 처리 가스를 제공하도록 구성될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(110, 도 1)의 하부에 있는 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)으로 및/또는 그 부근으로 상기 새로운 무거운 프로세스 가스가 이동될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다.
- [0319] 몇몇 GIGDSC 절차에서, 플라즈마 소스(115, 도 1)는 제1 처리 시간 동안에 새로운 처리 전력을 플라즈마 대향면(116, 도 1)을 통해 가벼운 플라즈마 발생 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(116, 도 1)에 인접한 플라즈마 발생 공간에 새로운 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마를 형성한다. 여러 실시형태에서, 새로운 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 새로운 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.
- [0320] 또한, 플라즈마 소스(115, 도 1)는, 제1 처리 시간 동안에 무거운 프로세스 가스가 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 유입 및/또는 확산될 때, 새로운 처리 전력을 무거운 프로세스 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 처리 시간 동안에 기관(121, 도 1)에 인접한 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)에 새로운 "무거운 가스" 처리 플라즈마를 형성한다. 여러 실시형태에서, 새로운 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 새로운 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.
- [0321] 새로운 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마가 형성된 경우에는, 처리 시간 동안에, 고에너지 전자 및/또는 이온이 플라즈마 발생 공간(125a, 도 1)에서 발생되어 플라즈마 처리 공간(125b, 도 1)의 새로운 "무거운 가스" 처리 플라즈마로 이동될 수 있다. 예를 들어, 사전 처리 시간 및/또는 처리 시간 동안에, "가벼운 가스"의 유량은 약 0 sccm 내지 약 400 sccm의 범위일 수 있고, "무거운 프로세스 가스"의 유량은 약 0 sccm 내지 약 400 sccm의 범위일 수 있다.
- [0322] 2345에서는, 새로운 "가벼운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 상기 처리 시간 동안에 새로운 "가벼운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값이 새로운 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 새로운 질의를 수행할 수 있다. 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 새로운 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서한다면, 도 23에 도시된 바와 같이 절차 2300은 2350으로 분기되어 계속될 수 있다. 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 새로운 "가벼운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 23에 도시된 바와 같이 절차 2300은 2355로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 상기 새로운 "가벼

운 가스" 안정화 값을 결정하는 데 사용될 수 있다.

- [0323] 또한, 무거운 가스 처리 플라즈마에 대하여 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 상기 처리 시간 동안에 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 상기 처리 시간 동안에 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는 지 확인하기 위해, 새로운 추가적인 질의를 수행할 수 있다. 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 23에 도시된 바와 같이 절차 2300은 2350으로 분기되어 계속될 수 있다. 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 23에 도시된 바와 같이 절차 2300은 2355로 분기되어 계속될 수 있다. 예를 들어, 제1 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 확인하기 위해, 하나 이상의 프로세스 센서가 사용될 수 있다.
- [0324] 2350에서는, 처리 시간 동안에 새로운 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값 및/또는 새로운 "가벼운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 새로운 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 새로운 가스 혼합물 성분, 새로운 가스 혼합물 유량, 새로운 가스 혼합물 유동 방향, 새로운 "무거운 프로세스 가스"의 수, 새로운 "무거운 프로세스 가스"의 유량, 새로운 "무거운 프로세스 가스"의 유동 방향, 새로운 가벼운 가스의 수, 새로운 가벼운 가스의 유량, 새로운 가벼운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기관 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 새로운 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.
- [0325] 2355에서는, 수행 중인 GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 제1 "무거운 가스" 처리 플라즈마를 사용하여 기관이 처리될 수 있다.
- [0326] 도 24는 본 발명의 실시형태에 따른 GIGDSC 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 웨이퍼를 처리하는 방법의 예시적인 흐름도이다. 도 24는 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(205, 도 2)을 이용하여 기관을 처리하는 절차 2400을 예시한다. 절차 2400은 다수의 처리 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 GIGDSC 절차 동안에, 제2 펌핑 시스템(280, 도 2) 및 제2 압력 제어 시스템(281, 도 2)을 이용하여 서로 다른 챔버 압력을 달성할 수 있다. 예를 들어, 챔버 압력은 약 1 mTorr 내지 약 1 Torr의 범위일 수 있다. 또한, 제2 기관 온도 제어 시스템(228, 도 2) 및 제2 온도 제어 요소(229, 도 2)를 이용하여 서로 다른 기관 온도를 달성할 수 있다. 예를 들어, 기관 온도는 약 -10°C 내지 약 250°C의 범위일 수 있다.
- [0327] 2410에서는, GIGDSC 절차(2400) 동안에 제2 GIGDSC 플라즈마를 발생시키도록 구성되어 있는 제2 프로세스 챔버(210, 도 2)에서 제2 기관 홀더(220, 도 2) 상에 제2 기관(221, 도 2)을 배치할 수 있고, GIGDSC 절차를 위한 처리 시간은 약 2초 내지 약 2분일 수 있다. 제2 플라즈마 소스(215, 도 2)가 제2 프로세스 챔버(210, 도 2)의 천장에 연결될 수 있고, 제2 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하벽을 형성하며 복수의 리세스(217, 도 2)를 갖는 플라즈마 대향면(216, 도 2)이 제2 플라즈마 소스(215, 도 2)에 마련될 수 있다.
- [0328] 2415에서는, GIGDSC 절차와 연관된 제1 사전 처리 시간 동안에, 초기 "무거운 가스" 안정화 플라즈마와 초기 "가벼운 가스" 사전 처리 플라즈마가 형성될 수 있다. 몇몇 실시형태에서, GIGDSC 절차와 연관된 제1 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 천장부 및/또는 바닥부에 제1 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 제1 가스 혼합물은 무거운 플라즈마 발생 가스 및 가벼운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 제1 사전 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 상기 무거운 플라즈마 발생 가스가 이동(확산)될 수 있기 하는 데에, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 제1 가스 혼합물을 제공하도록 구성될 수 있으며, 제1 가스 혼합물의 성분, 제1 가스 혼합물의 유량 및 제1 가스 혼합물의 유동 방향을 제어하도록 구성될 수 있다.
- [0329] 다른 실시형태에서는, GIGDSC 절차와 관련된 제1 사전 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 하나 이상의 무거운 플라즈마 발생 가스가 유입 및/또는 확산될 수 있고, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 상부에 있는 플라즈마 처리 공간(225b, 도 1)으로 하나 이상의 가벼운 프로세스 가스가 유입 및/또는 확산될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 가스 공급 요소(235 및/또는 255, 도 2)가 프로세스 챔버의 바닥부 부근에서 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(235 및/또는 255, 도 2)는 제1 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(216, 도 2) 부근의 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 무거운 플라즈마 발생 가스를 제공하도록 구성될 수 있다. 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(245 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버의 천장부 부근에서 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결

될 수 있고, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(245 및/또는 265, 도 2)는 제1 사전 처리 시간 동안에 기관(221, 도 2)의 표면 부근의 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 가벼운 플라즈마 처리 가스를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0330] 몇몇 GIGDSC 절차에서, 플라즈마 소스(215, 도 2)는 제1 사전 처리 시간 동안에 제1 사전 처리 전력을 플라즈마 대향면(216, 도 2)을 통해 무거운 플라즈마 발생 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 사전 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(216, 도 2)에 인접한 플라즈마 발생 공간에 초기 "무거운 가스" 안정화 플라즈마를 형성한다. 여러 실시형태에서, 제1 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 제1 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0331] 또한, 플라즈마 소스(215, 도 2)는, 제1 사전 처리 시간 동안에 가벼운 프로세스 가스가 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 유입 및/또는 확산될 때, 추가적인 사전 처리 전력을 가벼운 프로세스 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 사전 처리 시간 동안에 기관(221, 도 2)에 인접한 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 초기 "가벼운 가스" 사전 처리 플라즈마를 형성한다. 다른 실시형태에서, 추가적인 사전 처리 전력은 제1 사전 처리 시간 동안에 제공되지 않을 수도 있다. 여러 실시형태에서, 추가적인 사전 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 추가적인 사전 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0332] 2420에서는, 초기 "무거운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 초기 "무거운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제1 사전 처리 시간 동안에 초기 "무거운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 초기 "무거운 가스" 안정화 값이 초기 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 제1 질의를 수행할 수 있다. 초기 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 초기 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 24에 도시된 바와 같이 절차 2400은 2425로 분기되어 계속될 수 있다. 초기 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 초기 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 24에 도시된 바와 같이 절차 2400은 2430으로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 제1 "무거운 가스" 안정화 값을 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0333] 2425에서는, 초기 "무거운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 제1 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 제1 가스 혼합물 성분, 제1 가스 혼합물 유량, 제1 가스 혼합물 유동 방향, 무거운 가스의 수, 무거운 가스의 유량, 무거운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기관 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

[0334] 2430에서는, 초기 "가벼운 프로세스 가스" 사전 처리 플라즈마에 대하여 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 제1 사전 처리 시간 동안에 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 제1 사전 처리 시간 동안에 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 제2 질의를 수행할 수 있다. 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 24에 도시된 바와 같이 절차 2400은 2425로 분기되어 계속될 수 있다. 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 24에 도시된 바와 같이 절차 2400은 2440으로 분기되어 계속될 수 있다. 예를 들어, 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값을 확인하기 위해, 하나 이상의 프로세스 센서가 사용될 수 있다.

[0335] 2435에서는, 초기 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 제2 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 제1 가스 혼합물 성분, 제1 가스 혼합물 유량, 제1 가스 혼합물 유동 방향, "가벼운 프로세스 가스"의 수, "가벼운 프로세스 가스"의 유량, "가벼운 프로세스 가스"의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 사전 처리 전력, 또는 기관 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 제2 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

[0336] 2440에서는, GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 새로운 "무거운 가스" 안정화 플라즈마와 새로운 가벼운 가스 처리 플라즈마가 형성될 수 있다.

[0337] 몇몇 실시형태에서, 상기 처리 시간 동안에, 프로세스 챔버(210, 도 2)의 천장부 및/또는 바닥부에 새로운 가스 혼합물이 제공될 수 있고, 이 새로운 가스 혼합물은 새로운 무거운 플라즈마 발생 가스 및 새로운 가벼운 프로세스 가스를 포함할 수 있다. 또한, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(235, 245, 255 및/또는 265, 도 2)가 새로운 가스 혼합물을 제공하도록 구성될 수 있으며, 새로운 가스 혼합물의 성분, 새로운 가스 혼합물의

유량 및 새로운 가스 혼합물의 유동 방향을 제어하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 상기 새로운 무거운 플라즈마 발생 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데에, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 또한, 상기 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 상부에 있는 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)으로 상기 새로운 가벼운 프로세스 가스가 이동(확산)될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다.

[0338] 다른 실시형태에서는, 처리 시간 동안에, 새로운 무거운 플라즈마 발생 가스가 프로세스 챔버(210, 도 2)의 바닥부에 제공될 수 있고, 새로운 가벼운 프로세스 가스가 프로세스 챔버(210, 도 2)의 천장부에 제공될 수 있다. 하나 이상의 가스 공급 요소(235 및/또는 255, 도 2)가 프로세스 챔버의 천장부 부근에서 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 가스 공급 요소(235 및/또는 255, 도 2)는 제1 처리 시간 동안에 기관(221, 도 2)의 표면 부근의 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 가벼운 프로세스 가스를 제공하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 상부에 있는 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 및/또는 그 부근에 새로운 가벼운 프로세스 가스가 남아있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다. 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(245 및/또는 265, 도 2)가 프로세스 챔버의 바닥부 부근에서 프로세스 챔버(210, 도 2)에 연결될 수 있고, 하나 이상의 추가적인 가스 공급 요소(245 및/또는 265, 도 2)는 제1 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(216, 도 2) 부근의 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에 무거운 플라즈마 발생 가스를 제공하도록 구성될 수 있다. 또한, 처리 시간 동안에 프로세스 챔버(210, 도 2)의 하부에 있는 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)으로 및/또는 그 부근으로 새로운 무거운 플라즈마 발생 가스가 이동될 수 있게 하는 데, 중력 분리 효과가 사용될 수 있다.

[0339] 몇몇 GIGDSC 절차에서, 플라즈마 소스(215, 도 2)는 제1 처리 시간 동안에 새로운 처리 전력을 플라즈마 대향면(216, 도 2)을 통해 무거운 플라즈마 발생 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 처리 시간 동안에 플라즈마 대향면(216, 도 2)에 인접한 플라즈마 발생 공간에 새로운 "무거운 가스" 안정화 플라즈마를 형성한다. 여러 실시형태에서, 새로운 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 새로운 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0340] 또한, 플라즈마 소스(215, 도 2)는, 제1 처리 시간 동안에 가벼운 프로세스 가스가 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 유입 및/또는 확산될 때, 새로운 추가적인 처리 전력을 가벼운 프로세스 가스에 제공하도록 구성될 수 있고, 그 결과 제1 처리 시간 동안에 기관(221, 도 2)에 인접한 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)에 새로운 "가벼운 가스" 처리 플라즈마를 형성한다. 여러 실시형태에서, 새로운 추가적인 처리 전력은 표면과 플라즈마(SWP) 소스, 마이크로파 소스, 및/또는 고주파(RF) 소스에 의해 제공될 수 있고, 새로운 추가적인 처리 전력은 약 100 와트 내지 약 10000 와트의 범위일 수 있다.

[0341] 새로운 "무거운 가스" 안정화 플라즈마가 형성된 경우에는, 처리 시간 동안에, 고에너지 전자 및/또는 이온이 플라즈마 발생 공간(225a, 도 2)에서 발생되어 플라즈마 처리 공간(225b, 도 2)의 새로운 "가벼운 가스" 처리 플라즈마로 이동될 수 있다. 예를 들어, 사전 처리 시간 및/또는 처리 시간 동안에, "가벼운 프로세스 가스"의 유량은 약 0 sccm 내지 약 400 sccm의 범위일 수 있고, "무거운 가스"의 유량은 약 0 sccm 내지 약 400 sccm의 범위일 수 있다.

[0342] 2445에서는, 새로운 "무거운 가스" 안정화 플라즈마에 대하여 새로운 "무거운 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 상기 처리 시간 동안에 새로운 "무거운 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 새로운 "무거운 가스" 안정화 값이 새로운 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 새로운 질의를 수행할 수 있다. 새로운 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 새로운 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 24에 도시된 바와 같이 절차 2400은 2450으로 분기되어 계속될 수 있다. 새로운 "무거운 가스" 안정화 값이 하나 이상의 새로운 "무거운 가스" 안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 24에 도시된 바와 같이 절차 2400은 2455로 분기되어 계속될 수 있다. 프로세스 챔버에 연결된 하나 이상의 프로세스 센서는, 상기 새로운 "무거운 가스" 안정화 값을 결정하는 데 사용될 수 있다.

[0343] 또한, 새로운 가벼운 가스 처리 플라즈마에 대하여 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값을 결정할 수 있고, 이를 상기 처리 시간 동안에 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계와 비교할 수 있다. 상기 처리 시간 동안에 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서는지 확인하기 위해, 새로운 추가적인 질의를 수행할 수 있다. 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 한계를 넘어서었다면, 도 24에 도시된 바와 같이 절차 2400은 2450으로 분기되어 계속될 수 있다. 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값이 새로운 "가벼운 프로세스 가스"

안정화 한계를 넘어서지 않는다면, 도 24에 도시된 바와 같이 절차 2400은 2455로 분기되어 계속될 수 있다. 예를 들어, 제1 "무거운 프로세스 가스" 안정화 값을 확인하기 위해, 하나 이상의 프로세스 센서가 사용될 수 있다.

[0344] 2450에서는, 처리 시간 동안에 새로운 "가벼운 프로세스 가스" 안정화 값 및/또는 새로운 "무거운 가스" 안정화 값을 개선하기 위해, 적어도 하나의 새로운 수정 동작이 수행될 수 있다. 예컨대, 새로운 가스 혼합물 성분, 새로운 가스 혼합물 유량, 새로운 가스 혼합물 유동 방향, 새로운 "가벼운 프로세스 가스"의 수, 새로운 "가벼운 프로세스 가스"의 유량, 새로운 "가벼운 프로세스 가스"의 유동 방향, 새로운 무거운 가스의 수, 새로운 무거운 가스의 유량, 새로운 무거운 가스의 유동 방향, 챔버 압력, 챔버 온도, 처리 전력, 또는 기관 온도, 또는 이들의 임의의 조합이 새로운 수정 동작 동안에 갱신될 수 있다.

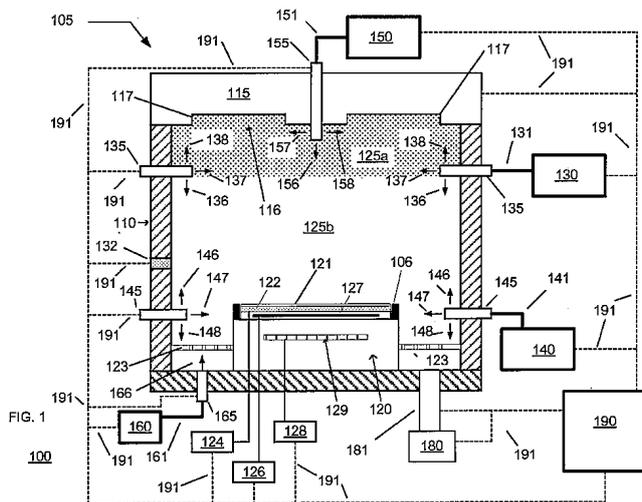
[0345] 2455에서는, 수행 중인 GIGDSC 절차와 연관된 처리 시간 동안에, 제1 "가벼운 가스" 처리 플라즈마를 사용하여 기관이 처리될 수 있다.

[0346] 몇몇 실시형태에서, GIGDSC 플라즈마 처리 시스템(100 또는 200)은, GIGDSC 에칭 절차, 비(非) GIGDSC 에칭 절차, GIGDSC 증착 절차, 또는 비(非) GIGDSC 증착 절차, 또는 이들의 임의의 조합을 수행하도록 구성된 GIGDSC 플라즈마 처리 서브시스템(105 또는 205)을 포함할 수 있다.

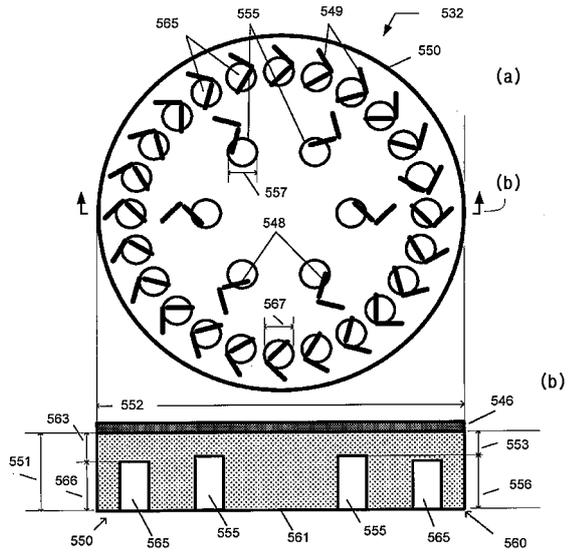
[0347] 본 발명의 특정 실시형태만을 상세히 기술하였지만, 당업자라면 본 발명의 신규한 교시 및 이점에서 실질적으로 벗어나지 않으면서, 상기 특정 실시형태에 다양한 변형을 실시할 수 있음을 쉽게 이해할 것이다. 따라서, 이러한 모든 변경은 본 발명의 범위 내에 포함되는 것이다.

도면

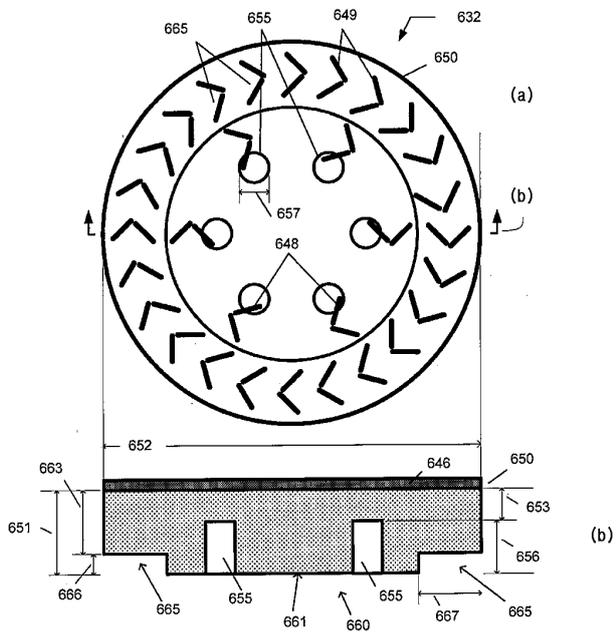
도면1



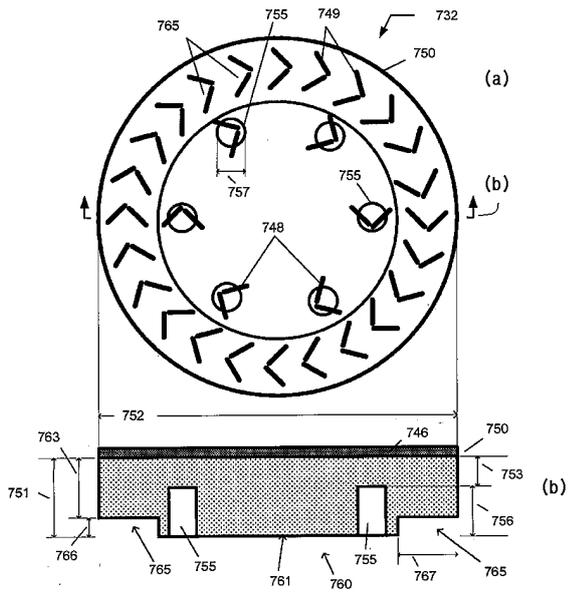
도면5



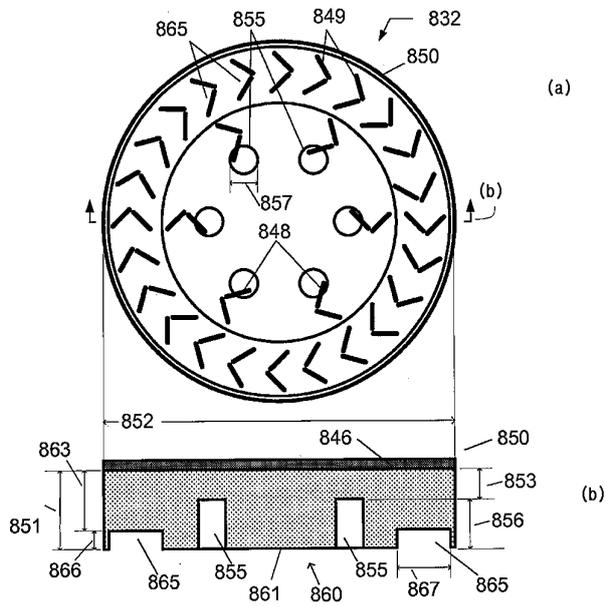
도면6



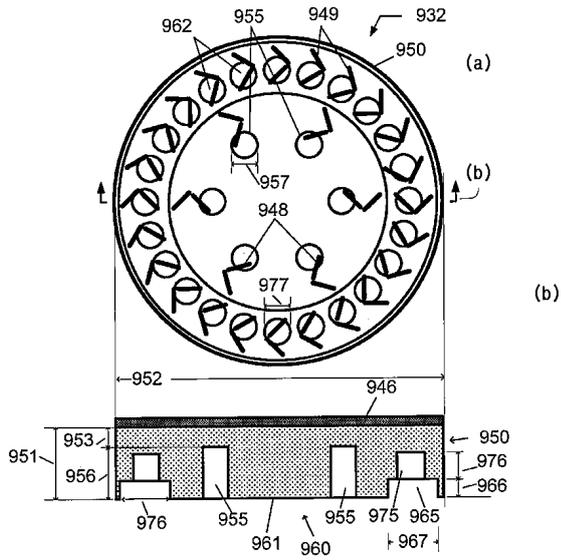
도면7



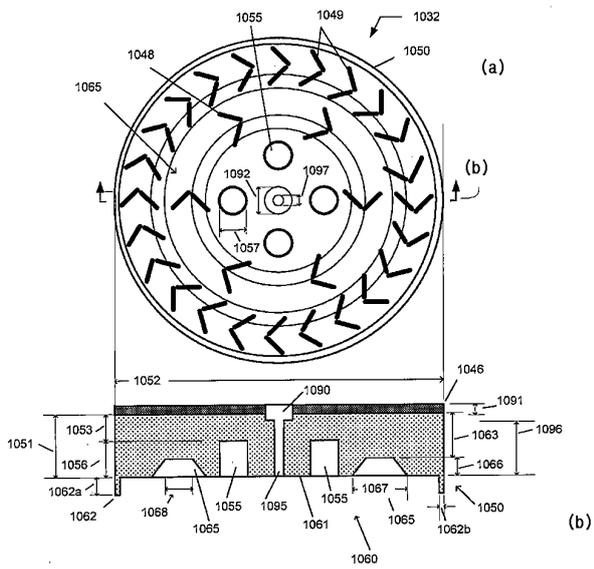
도면8



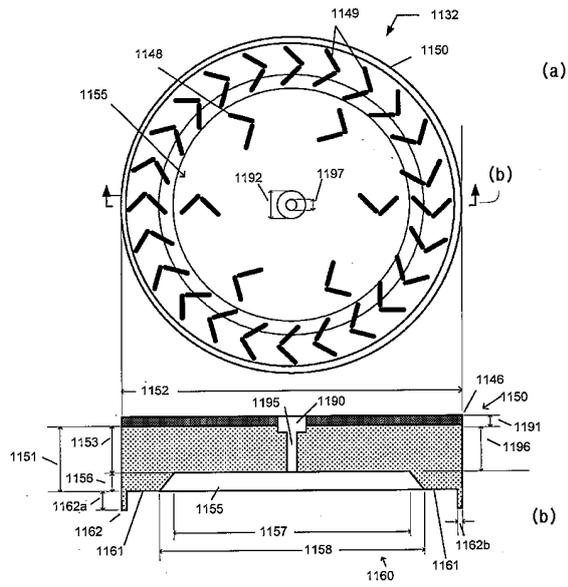
도면9



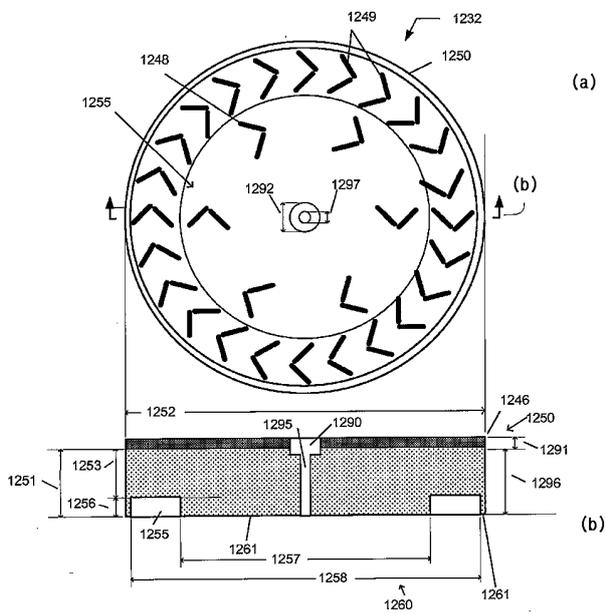
도면10



도면11

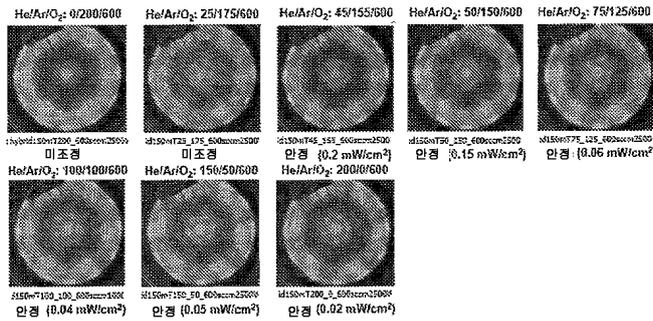


도면12



도면13a

플라즈마 안정화 (150mT, 2500W)



- He를 추가하면, 조정되지 않았던 플라즈마를 조정 및 안정화할 수 있다.
- He를 Ar/O₂ 혼합물에 추가함으로써, 챔버 바닥에서의 EM 방사가 줄어든다.

도면13b

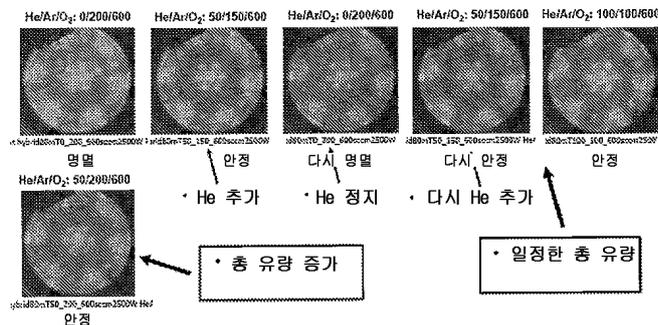
시험 챔버 :	300mm
웨이퍼:	투명 석영
하부 RF 유닛 없음	

EM 방사 측정	
EM 고주파 방사 측정기 모델 :	Narda Safty Test Solutions EMR-300
EM 프로브 :	Narda Safty Test Solutions E field 40GHz EM 2244/31 AG 0055
측정 위치 :	석영 웨이퍼를 통해 그리고 하부 유리 윈도우를 통해 (카메라와 동일 위치)

도 13a=	플라즈마 안정화				결과		
압력 (mT)	전력 (w)	O ₂ 유량(sccm)	Ar(sccm)	He(sccm)	총 유량	EM(mW/cm ²)	안정성
150	2500	600	200	0	800	na	미조정
150	2500	600	175	25	800	na	미조정
150	2500	600	155	45	800	0.2	안정
150	2500	600	150	50	800	0.15	안정
150	2500	600	75	125	800	0.06	안정
150	2500	600	100	100	800	0.04	안정
150	2500	600	50	150	800	0.05	안정
150	2500	600	0	200	800	0.02	안정

도면14a

명멸 억제 (80mT, 2500W)



- He를 추가하면, 플라즈마 명멸이 억제된다.
- He를 추가함으로써, 모드 패턴을 대칭화한다.

도면14b

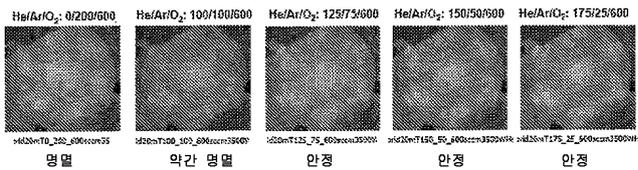
시편 챔버 :	300mm
웨이퍼:	투명 석영
하부 RF 유닛 없음	

EM 방사 측정	
EM 고주파 방사 측정기 모델 :	Narda Safty Test Solutions EMR-300
EM 프로브 :	Narda Safty Test Solutions E field 40GHz B/N 2244/31 AC 0055
측정 위치 :	석영 웨이퍼를 통해 그리고 하부 유리 윈도우를 통해 (카메라와 동일 위치)

순서	도 14a= 압력 (mT)	명멸 억제 전력 (w)	대칭화, 균일한 플라즈마 O ₂ 유량 (sccm)	Ar (sccm)	He (sccm)	총 유량	결과 안정성	비고
1	80	2500	600	200	0	800	명멸	
2	80	2500	600	150	50	800	안정	He 추가
3	80	2500	600	200	0	800	명멸	He 정지
4	80	2500	600	150	50	800	안정	다시 He 추가
5	80	2500	600	100	100	800	안정	
6	80	2500	600	200	50	850	안정	총 유량 증가

도면15a

플라즈마 안정화 (20mT, 3500W)



* He를 추가하면, 저압 및 고전력의 조건에서 플라즈마 명멸이 억제된다.

도면15b

시험 챔버 :	300mm
웨이퍼 :	투명 석영
하부 RF 유닛 :	없음

EM 방사 측정	
EM 고주파 방사 측정기 모델 :	Narda Safty Test Solutions EMR-300
EM 프로브 :	Narda Safty Test Solutions E field 40Ghz BN 2244/31 AG 0055
측정 위치 :	석영 웨이퍼를 통해 그리고 하부 유리 윈도우를 통해(카메라와 동일 위치)

도 15a=	플라즈마 안정화-저압 고전력					결과	
압력 (mT)	전력 (w)	O ₂ 유량(sccm)	Ar (sccm)	He(sccm)	총 유량	안정성	
20	3500	600	200	0	800	명멸	
20	3500	600	100	100	800	약간 명멸	
20	3500	600	75	125	800	안정	
20	3500	600	50	150	800	안정	
20	3500	600	25	175	800	안정	

도면16a

명멸 억제 (20mT, 2000W)



- He를 추가하면, 저압 및 중간 전력의 조건에서 플라즈마 명멸이 억제된다.

도면16b

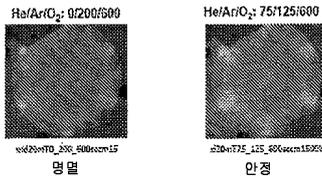
시험 챔버 :	300mm
웨이퍼:	투명 석영
하부 RF 유닛 없음	

EM 방사 측정	
EM 고주파 방사 측정기 모델 :	Narda Safety Test Solutions EMR-300
EM 프로브 :	Narda Safety Test Solutions E field 40GHz BN 224431 AG 0055
측정 위치 :	석영 웨이퍼를 통해 그리고 하부 유리 윈도우를 통해(카메라와 동일 위치)

도 16a=	플라즈마 안정화-저압 중간 전력					결과
압력 (mT)	전력 (w)	O ₂ 유량(sccm)	Ar (sccm)	He(sccm)	총 유량	안정성
20	2000	600	200	0	800	명멸
20	2000	600	50	150	800	안정
20	2000	600	25	175	800	안정

도면17a

명멸 억제 (20mT, 1500W)



- He를 추가하면, 저압 및 저전력의 조건에서 플라즈마 명멸이 억제된다.

도면17b

시험 챔버 :	300mm
웨이퍼:	투명 석영
하부 RF 유닛	없음

EM 방사 측정	
EM 고주파 방사 측정기 모델 :	Narda Safety Test Solutions ENR-300
EM 프로브 :	Narda Safety Test Solutions E Field 40Chz BN 2244/31 AG 0055
측정 위치 : 석영 웨이퍼를 통해 그리고 하부 유리 윈도우를 통해(카메라와 동일 위치)	

도 17a= 플라즈마 안정화-저압 저전력						결과
압력 (mT)	전력 (w)	O ₂ 유량(sccm)	Ar (sccm)	He(sccm)	총 유량	안정성
20	1500	600	200	0	800	명멸
20	1500	600	125	75	800	안정

도면18a

명멸 억제 (10mT, 2500W)



- He를 추가하면, 압력이 매우 낮은 조건에서 플라즈마 명멸이 억제된다.

도면18b

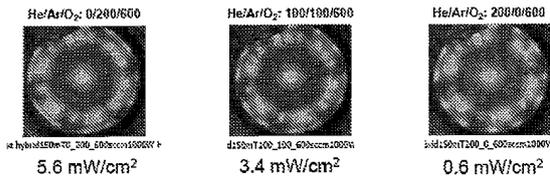
시험 챔버 :	300mm
웨이퍼:	투명 석영
하부 RF 유닛	없음

EM 방사 측정
EM 고주파 방사 측정기 모델 : Narda Saty Test Solutions EMR-300
EM 프로브 : Narda Saty Test Solutions E field 40GHz EN 2244/31 AG 0035
측정 위치 : 석영 웨이퍼를 통해 그리고 하부 유리 윈도우를 통해(카메라와 동일 위치)

도 18a =	명멸 억제-매우 낮은 압력의 플리즈마						결과
압력 (mT)	전력 (w)	O ₂ 유량(sccm)	Ar (sccm)	He(sccm)	총 유량		안정성
10	2500	600	200	0	800		명멸
10	2500	600	175	175	950		안정
10	2500	600	150	150	900		안정

도면19a

EM 방사 차단 (150mT, 1000W)



* He를 Ar/O₂ 혼합물에 추가함으로써, 챔버 바닥에서의 EM 방사가 줄어든다.

도면19b

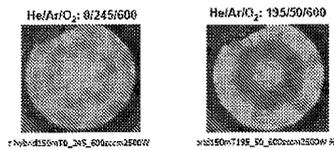
시험 챔버 :	300mm
웨이퍼:	투명 석영
하부 RF 유닛 없음	

EM 방사 측정
EM 고주파 방사 측정기 모델 : Narda Safty Test Solutions EMR-300
EM 프로브 : Narda Safty Test Solutions E field 40Ghz EN 2244/31 AG 0055
측정 위치 : 석영 웨이퍼를 통해 그리고 하부 유리 원도우를 통해(카메라와 동일 위치)

도 19a=	EM 방사 차단						결과
압력 (mT)	전력 (W)	O ₂ 유량(sccm)	Ar (sccm)	He(sccm)	총 유량	EM(mW/cm ²)	안정성
150	1000	600	200	0	800	5.6	안정
150	1000	600	100	100	800	3.4	안정
150	1000	600	0	200	800	0.6	안정

도면20a

균일성 노브 (150mT, 2500W)



- He를 추가하면 중앙 밀도가 조정되어, 균일성 노브가 나타난다.

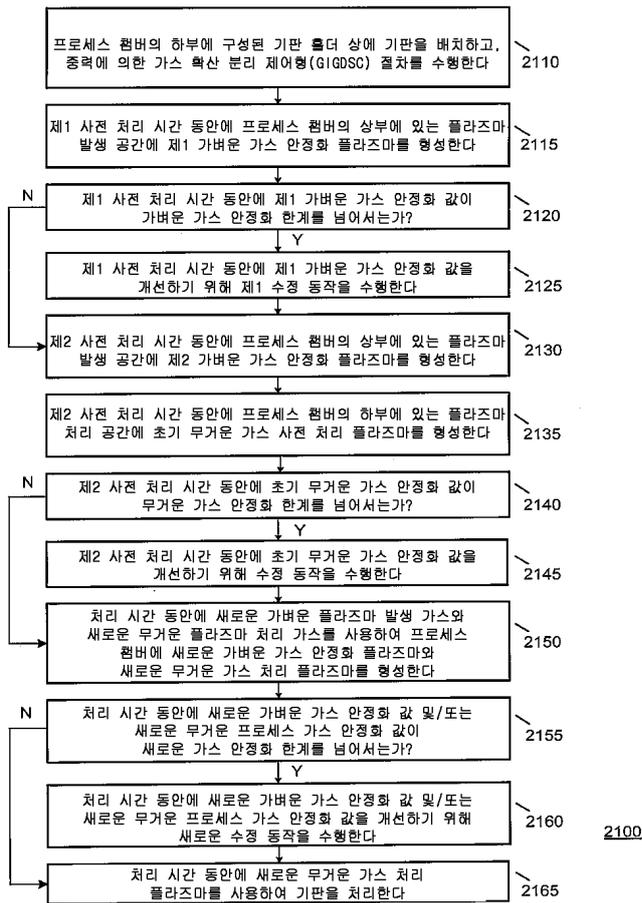
도면20b

시험 챔버 :	300mm
웨이퍼:	투명 석영
하부 RF 유닛 없음	

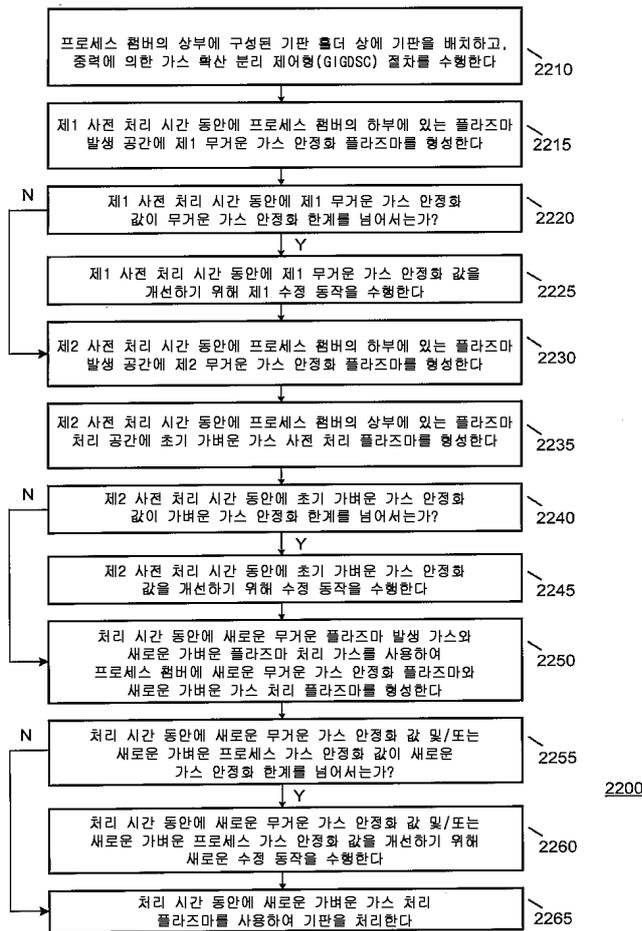
EM 방사 측정
EM 고주파 방사 측정기 모델 : Narda Safty Test Solutions EMR-300
EM 프로브 : Narda Safty Test Solutions E field 40Ghz EN 2244/31 AG 0055
측정 위치 : 석영 웨이퍼를 통해 그리고 하부 유리 원도우를 통해(카메라와 동일 위치)

도 20a=	균일성 노브(150mT, 2500W)						결과
압력 (mT)	전력 (W)	O ₂ 유량 (sccm)	Ar (sccm)	He(sccm)	총 유량	균일성	안정성
150	2500	600	245	0	845	중앙의 밀도가 더 높음	안정
150	2500	600	50	195	845	가장자리의 밀도가 더 높음	안정

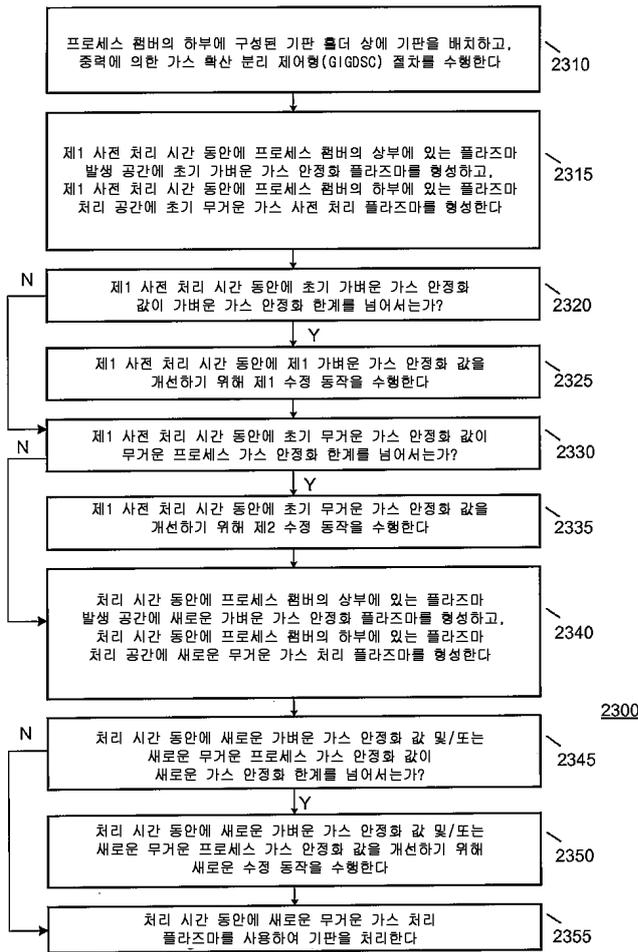
도면21



도면22



도면23



도면24

