



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0115350
(43) 공개일자 2024년07월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/3211 (2013.01)
H01J 37/32174 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2024-7023912
(22) 출원일자(국제) 2022년12월12일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년07월16일
(86) 국제출원번호 PCT/US2022/052563
(87) 국제공개번호 WO 2023/114143
국제공개일자 2023년06월22일
(30) 우선권주장
63/291,307 2021년12월17일 미국(US)

(71) 출원인
램 리써치 코퍼레이션
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650
(72) 발명자
탈리, 매튜 로웰
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
패터슨, 알렉산더 밀러
미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이 4650
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인인벤싱크

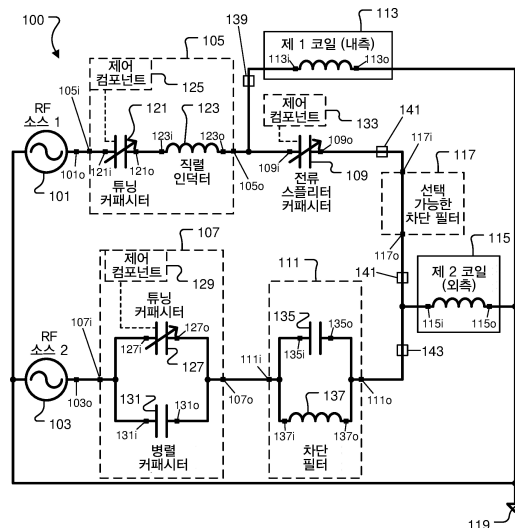
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 복수의 코일들 사이에 직접-구동 무선 주파수 신호 생성기로부터 전류를 분할하는(split) 장치 및 방법

(57) 요약

무선 주파수(radio frequency; RF) 전력 공급 시스템은 제 1 코일 및 제 2 코일을 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 제 1 코일 및 제 2 코일 모두에 제 1 주파수의 RF 신호들을 공급하도록 연결된 제 1 RF 전력 소스를 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 제 1 코일과 제 2 코일 사이에 제 1 주파수의 RF 신호들의 분할(division)을 제어하도록 연결된 전류 스플리터 가변 커패시터(current splitter variable capacitor)를 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 제 2 주파수의 RF 신호들을 제 2 코일에 공급하도록 연결된 제 2 RF 전력 소스를 포함한다. 일부 실시 예들에서, 제 1 RF 전력 소스 및 제 2 RF 전력 소스는 각각 제 1 리액티브 회로 및 제 2 리액티브 회로를 통해 각각 제 1 주파수의 RF 신호들 및 제 2 주파수의 RF 신호들을 각각 구동하는 제 1 직접-구동 RF 전력 소스 및 제 2 직접-구동 RF 전력 소스이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

왕, 유효우

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이
4650

마시, 리처드 에이.

미국, 94538 캘리포니아, 프레몬트, 쿠싱 파크웨이
4650

명세서

청구범위

청구항 1

무선 주파수 (radio frequency; RF) 전력 공급 시스템에 있어서,

제 1 코일;

제 2 코일;

상기 제 1 코일 및 상기 제 2 코일 모두에 제 1 주파수의 RF 신호들을 공급하도록 연결된 제 1 RF 전력 소스;

상기 제 1 코일과 상기 제 2 코일 사이에 상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 분할 (division) 을 제어하도록 연결된 전류 스플리터 가변 커패시터 (current splitter variable capacitor); 및

제 2 주파수의 RF 신호들을 상기 제 2 코일에 공급하도록 연결된 제 2 RF 전력 소스를 포함하는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

제 1 리액티브 (reactive) 회로로서, 상기 제 1 RF 전력 소스는 상기 제 1 리액티브 회로를 통해 상기 제 1 코일 및 상기 제 2 코일 모두에 상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들을 공급하도록 연결되는, 상기 제 1 리액티브 회로; 및

제 2 리액티브 회로로서, 상기 제 2 RF 전력 소스는 상기 제 2 리액티브 회로를 통해 상기 제 2 코일에 상기 제 2 주파수의 상기 RF 신호들을 공급하도록 연결되는, 상기 제 2 리액티브 회로를 더 포함하는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제 1 리액티브 회로는 제 1 튜닝 가변 커패시터 및 상기 제 1 튜닝 가변 커패시터와 직렬로 연결된 인덕터를 포함하고, 상기 제 1 튜닝 가변 커패시터의 입력 단자는 상기 제 1 RF 전력 소스의 출력부에 연결되고, 그리고 상기 인덕터의 출력 단자는 상기 제 1 코일 및 상기 전류 스플리터 가변 커패시터의 입력 단자 모두에 연결되는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 제 2 리액티브 회로는 제 2 튜닝 가변 커패시터 및 상기 제 2 튜닝 가변 커패시터와 병렬로 연결된 병렬 커패시터를 포함하는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 제 2 리액티브 회로와 상기 제 2 코일 사이에 연결된 차단 필터로서, 상기 차단 필터는 상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들이 상기 제 2 RF 전력 소스로 이동하는 것을 차단하도록 구성되는, 상기 차단 필터를 더 포함하는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 차단 필터는 인덕터와 병렬로 연결된 커패시터를 포함하는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 차단 필터는 제 1 차단 필터이고, 상기 RF 전력 공급 시스템은 상기 전류 스플리터 가변 커패시터와 상기 제 2 코일 사이에 연결된 제 2 차단 필터를 포함하고, 상기 제 2 차단 필터는 상기 제 2 주파수의 상기 RF 신호들이 상기 제 1 RF 전력 소스로 이동하는 것을 차단하도록 구성되는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 RF 전력 소스는 제 1 직접-구동 RF 전력 소스이고, 그리고 상기 제 2 RF 전력 소스는 제 2 직접-구동 RF 전력 소스인, RF 전력 공급 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

시스템 제어기로부터 수신된 전기적 제어 신호들에 따라 상기 전류 스플리터 가변 커패시터의 커패시턴스 설정을 제어하도록 연결된 제어 컴포넌트를 더 포함하는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 RF 전력 소스로부터 상기 제 1 코일로 전달된 제 1 RF 전력량을 측정하도록 연결된 제 1 센서; 및

상기 제 1 RF 전력 소스로부터 상기 제 2 코일로 전달된 제 2 RF 전력량을 측정하도록 연결된 제 2 센서를 더 포함하는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 시스템 제어기는 상기 제어 컴포넌트로의 송신을 위해 상기 전기적 제어 신호들을 생성하기 위해 피드백 신호로서 상기 제 1 RF 전력량 및 상기 제 2 RF 전력량 중 적어도 하나를 사용하도록 구성되는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 12

RF 전력 공급 시스템에 있어서,

출력 단자를 갖는 제 1 RF 전력 소스;

입력 단자 및 출력 단자를 갖는 제 1 리액티브 회로로서, 상기 제 1 리액티브 회로의 상기 입력 단자는 상기 제 1 RF 전력 소스의 상기 출력 단자에 연결되는, 상기 제 1 리액티브 회로;

상기 제 1 리액티브 회로의 상기 출력 단자에 연결된 제 1 코일;

입력 단자 및 출력 단자를 갖는 전류 스플리터 가변 커패시터로서, 상기 전류 스플리터 가변 커패시터의 상기 입력 단자는 상기 제 1 리액티브 회로의 상기 출력 단자에 연결되는, 상기 전류 스플리터 가변 커패시터;

상기 전류 스플리터 가변 커패시터의 상기 출력 단자에 연결된 제 2 코일;

출력 단자를 갖는 제 2 RF 전력 소스;

입력 단자 및 출력 단자를 갖는 제 2 리액티브 회로로서, 상기 제 2 리액티브 회로의 상기 입력 단자는 상기 제 2 RF 전력 소스의 상기 출력 단자에 연결되는, 상기 제 2 리액티브 회로; 및

입력 단자 및 출력 단자를 갖는 차단 필터로서, 상기 차단 필터의 상기 입력 단자는 상기 제 2 리액티브 회로의 상기 출력 단자에 연결되고, 상기 차단 필터의 상기 출력 단자는 상기 제 2 코일에 연결되는, 상기 차단 필터를

포함하는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

상기 차단 필터는 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 커패시터를 포함하고, 상기 커패시터의 상기 입력 단자는 상기 차단 필터의 상기 입력 단자에 연결되고, 상기 커패시터의 상기 출력 단자는 상기 차단 필터의 상기 출력 단자에 연결되고, 상기 차단 필터는 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 인덕터를 포함하고, 상기 인덕터의 상기 입력 단자는 상기 차단 필터의 상기 입력 단자에 연결되고, 상기 인덕터의 상기 출력 단자는 상기 차단 필터의 상기 출력 단자에 연결되는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 14

제 9 항에 있어서,

상기 제 1 리액티브 회로는 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 제 1 튜닝 가변 커패시터를 포함하고, 상기 제 1 튜닝 가변 커패시터의 상기 입력 단자는 상기 제 1 리액티브 회로의 상기 입력 단자에 연결되고, 상기 제 1 리액티브 회로는 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 인덕터를 포함하고, 상기 인덕터의 상기 입력 단자는 상기 제 1 튜닝 가변 커패시터의 상기 출력 단자에 연결되고, 상기 인덕터의 상기 출력 단자는 상기 제 1 리액티브 회로의 상기 출력 단자에 연결되고, 그리고

상기 제 2 리액티브 회로는 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 제 2 튜닝 가변 커패시터를 포함하고, 상기 제 2 튜닝 가변 커패시터의 상기 입력 단자는 상기 제 2 리액티브 회로의 상기 입력 단자에 연결되고, 상기 제 2 튜닝 가변 커패시터의 상기 출력 단자는 상기 제 2 리액티브 회로의 상기 출력 단자에 연결되고, 상기 제 2 리액티브 회로는 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 병렬 커패시터를 포함하고, 상기 병렬 커패시터의 상기 입력 단자는 상기 제 2 리액티브 회로의 상기 입력 단자에 연결되고, 상기 병렬 커패시터의 상기 출력 단자는 상기 제 2 리액티브 회로의 상기 출력 단자에 연결되는, RF 전력 공급 시스템.

청구항 15

플라즈마 프로세싱 시스템에 RF 전력을 공급하기 위한 방법에 있어서,

제 1 주파수의 RF 신호들을 생성하는 단계;

상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 제 1 부분을 제 1 코일에 공급하는 단계;

상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 제 2 부분을 제 2 코일에 공급하는 단계;

제 2 주파수의 RF 신호들을 생성하는 단계; 및

상기 제 2 주파수의 상기 RF 신호들을 상기 제 2 코일에 공급하는 단계를 포함하는, RF 전력 공급 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 상기 제 1 부분의 양 및 상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 상기 제 2 부분의 양을 제어하기 위해 전류 스플리터 가변 커패시터를 사용하는 단계를 더 포함하는, RF 전력 공급 방법.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 제 2 코일에 의해 구동되는 플라즈마의 점화를 지원하기 위해 상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 상기 제 2 부분의 상기 양을 증가시키도록 상기 전류 스플리터 가변 커패시터의 커패시턴스 설정을 제어하는 단계; 및

상기 플라즈마의 점화 후 상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 상기 제 2 부분의 상기 양을 감소시키도록 상기 전류 스플리터 가변 커패시터의 상기 커패시턴스 설정을 제어하는 단계를 더 포함하는, RF 전력 공급 방법.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

상기 제 2 코일에 의해 구동되는 플라즈마의 안정성을 지원하기 위해 상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 상기 제 2 부분의 상기 양을 제어하도록 상기 전류 스플리터 가변 커패시터의 커패시턴스 설정을 제어하는 단계를 더 포함하는, RF 전력 공급 방법.

청구항 19

제 16 항에 있어서,

상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 상기 제 2 부분에 의해 상기 제 2 코일로 전달된 RF 전력량을 측정하는 단계; 및

타깃 RF 전력량이 상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들의 상기 제 2 부분에 의해 상기 제 2 코일로 전달되도록 상기 전류 스플리터 가변 커패시터의 커패시턴스 설정을 제어하기 위해 피드백 신호로서 상기 측정된 RF 전력량을 사용하는 단계를 더 포함하는, RF 전력 공급 방법.

청구항 20

제 15 항에 있어서,

상기 제 1 주파수의 상기 RF 신호들이 상기 제 2 주파수의 상기 RF 신호들의 소스로 이동하는 것을 방지하도록 차단 필터를 사용하는 단계를 더 포함하는, RF 전력 공급 방법.

발명의 설명**배경 기술**

[0001]

플라즈마 프로세싱 시스템들은 반도체 웨이퍼들 상에 반도체 디바이스들, 예를 들어, 칩들/다이 (die) 를 제작하는 데 사용된다. 플라즈마 프로세싱 시스템에서, 반도체 웨이퍼는 예컨대 재료 증착 및/또는 재료 제거 및/또는 재료 주입 및/또는 재료 수정 등을 통해 반도체 웨이퍼의 조건에 대해 미리 정해진 (prescribe) 변화들을 유발하도록 다양한 타입들의 플라즈마에 노출된다. 반도체 웨이퍼의 플라즈마 프로세싱 동안, 무선 주파수 (radio frequency; RF) 전력은 반도체 웨이퍼에 대한 노출 시 프로세스 가스를 플라즈마로 변환하도록 챔버 내 프로세스 가스를 통해 송신된다. 라디칼들 및 이온들과 같은 플라즈마의 반응성 구성 요소들 (reactive constituents) 은 반도체 웨이퍼에 대해 미리 정해진 효과를 달성하도록 반도체 웨이퍼 상의 재료들과 상호 작용한다. 일부 플라즈마 프로세싱 시스템들에서, 생성된 RF 전력은 플라즈마 프로세싱 챔버 외부에 포지셔닝된 코일을 통해 프로세스 가스로 송신된다. 이 맥락에서 본 개시 (disclosure) 에 기술된 실시 예들이 발생한다.

발명의 내용

[0002]

예시적인 실시 예에서, 무선 주파수 (radio frequency; RF) 전력 공급 시스템이 개시된다. RF 전력 공급 시스템은 제 1 코일 및 제 2 코일을 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 제 1 코일 및 제 2 코일 모두에 제 1 주파수의 RF 신호들을 공급하도록 연결된 제 1 RF 전력 소스를 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 제 1 코일과 제 2 코일 사이에 제 1 주파수의 RF 신호들의 분할 (division) 을 제어하도록 연결된 전류 스플리터 가변 커패시터 (current splitter variable capacitor) 를 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 제 2 주파수의 RF 신호들을 제 2 코일에 공급하도록 연결된 제 2 RF 전력 소스를 포함한다.

[0003]

예시적인 실시 예에서, RF 전력 공급 시스템이 개시된다. RF 전력 공급 시스템은 출력 단자를 갖는 제 1 RF 전력 소스를 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 제 1 리액티브 (reactive) 회로를 포함한다. 제 1 리액티브 회로의 입력 단자는 제 1 RF 전력 소스의 출력 단자에 연결된다. RF 전력 공급 시스템은 또한 제 1 리액티브 회로의 출력 단자에 연결된 제 1 코일을 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 전류 스플리터 가변 커패시터를 포함한다. 전류 스플리터 가변 커패시터의 입력 단자는 제 1 리액티브 회로의 출력 단자에 연결된다. RF 전력 공급 시스템은 또한 전류 스플리터 가변 커패시터의 출력 단자에 연결된 제 2 코일을 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 출력 단자를 갖는 제 2 RF

전력 소스를 포함한다. RF 전력 공급 시스템은 또한 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 제 2 리액티브 회로를 포함한다. 제 2 리액티브 회로의 입력 단자는 제 2 RF 전력 소스의 출력 단자에 연결된다. RF 전력 공급 시스템은 또한 입력 단자 및 출력 단자를 갖는 차단 필터를 포함한다. 차단 필터의 입력 단자는 제 2 리액티브 회로의 출력 단자에 연결된다. 차단 필터의 출력 단자는 제 2 코일에 연결된다.

[0004] 예시적인 실시 예들에서, 플라즈마 프로세싱 시스템에 RF 전력을 공급하기 위한 방법이 개시된다. 방법은 제 1 주파수의 RF 신호들을 생성하는 단계를 포함한다. 방법은 또한 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 1 부분을 제 1 코일에 공급하는 단계를 포함한다. 방법은 또한 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 2 부분을 제 2 코일에 공급하는 단계를 포함한다. 방법은 또한 제 2 주파수의 RF 신호들을 생성하는 단계를 포함한다. 방법은 또한 제 2 주파수의 RF 신호들을 제 2 코일에 공급하는 단계를 포함한다.

[0005] 실시 예들의 다른 양태들 및 이점들은 이하의 상세한 기술 (description) 및 첨부된 도면들로부터 더 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0006] 도 1은 일부 실시 예들에 따른, 무선 주파수 (radio frequency; RF) 전력 공급 시스템을 도시한다.

도 2a는 일부 실시 예들에 따른, 직접-구동 RF 신호 생성기의 개략도를 도시한다.

도 2b는 일부 실시 예들에 따른, 시간의 함수로서 제 1 RF 전력 소스/제 2 RF 전력 소스의 출력 단자에서 생성된 예시적인 성형-증폭된 (shaped-amplified) 구형 파형의 파라미터의 플롯을 도시한다.

도 2c는 일부 실시 예들에 따른, 시간의 함수로서 제 1 리액티브 (reactive) 회로/제 2 리액티브 회로의 출력 단자에서 생성된 예시적인 성형-사인 파형의 파라미터의 플롯을 도시한다.

도 2d는 일부 실시 예들에 따른, 도 2b의 성형-증폭된 구형 파형에 대응하는 성형-사인 파형의 플롯을 도시한다.

도 3a는 일부 실시 예들에 따른, 도 1의 RF 전력 공급 시스템을 활용하는 예시적인 플라즈마 프로세싱 시스템을 도시한다.

도 3b는 일부 실시 예들에 따른, 도 3a의 플라즈마 프로세싱 시스템의 제 1 코일 및 제 2 코일의 평면도를 도시한다.

도 4는 일부 실시 예들에 따른, 플라즈마 프로세싱 시스템에 RF 전력을 공급하기 위한 방법의 플로우차트를 도시한다.

도 5는 일부 실시 예들에 따른, 시스템 제어기의 선도 (diagram) 를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0007] 이하의 기술 (description) 에서, 본 개시 (disclosure) 의 완전한 이해를 제공하기 위해 수많은 구체적 상세들이 제시된다. 그러나, 본 개시의 실시 예들이 이들 구체적인 상세들의 일부 또는 전부 없이 실시될 수도 있다는 것이 당업자들에게 명백할 것이다. 다른 예들에서, 공지된 프로세스 동작들은 본 개시를 불필요하게 모호하게 하지 않도록 상세히 기술되지 않았다.

[0008] 복수의 코일들 중 적어도 하나가 제 1 주파수의 무선 주파수 (radio frequency; RF) 전류의 부분 및 제 2 주파수의 RF 전류 모두를 수신하도록, 복수의 코일들 중 일부로 제 2 주파수의 RF 전류의 송신과 조합하여, 기판, 예를 들어, 반도체 웨이퍼의 프로세싱을 위해 플라즈마를 구동하도록 사용된 RF 전력 공급 시스템의 복수의 코일들 사이에 제 1 주파수의 RF 전류를 분할하기 (split) 위한 시스템들 및 방법들이 본 명세서에 개시된다. 이들 시스템들 및 방법들은 많은 플라즈마 프로세싱 상황들에서 유용하고, 그리고 제 2 주파수의 RF 전류만을 미리 결정된 (given) 코일로 공급하는 것이 미리 정해진 (prescribe) 특성들을 갖는 플라즈마를 점화/스트라이킹하고 (strike) 지속시키기에 충분하지 않은 상황들에서 특히 유용하다. 이러한 상황들에서, 제 2 주파수의 RF 전류와 조합하여 미리 결정된 코일로 송신되는 제 1 주파수의 RF 전류의 부분은 미리 정해진 특성들을 갖는 플라즈마의 점화/스트라이킹 및 지속을 지원하는 역할을 한다 (serve). 상기 언급된 상황은 본 명세서에 개시된 시스템들 및 방법들로 가능한 많은 용법들 및 이점들의 일 예일뿐이다.

[0009] 도 1은 일부 실시 예들에 따른, RF 전력 공급 시스템 (100) 을 도시한다. RF 전력 공급 시스템 (100) 은 제 1

코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 제 1 코일 (113) 은 내측 코일이고 제 2 코일 (115) 은 외측 코일이다. 이들 실시 예들 중 일부에서, 제 1 코일 (113) (내측 코일) 및 제 2 코일 (115) (외측 코일) 각각은 제 2 코일 (115) 이 제 1 코일 (113) 을 둘러싸는 (circumscribe) 평면-타입 나선-형상 코일이다. 제 1 코일 (113) 은 입력 단자 (113i) 및 출력 단자 (113o) 를 갖는다. 제 1 코일 (113) 의 입력 단자 (113i) 는 제 1 RF 전력 소스 (101) 로부터 제 1 주파수의 RF 신호들을 수신하도록 연결된다. 제 1 코일 (113) 의 출력 단자 (113o) 는 기준 접지 전위 (119) 에 연결된다. 제 2 코일 (115) 은 입력 단자 (115i) 및 출력 단자 (115o) 를 갖는다. 제 2 코일 (115) 의 입력 단자 (115i) 는 제 2 RF 전력 소스 (103) 로부터 제 2 주파수의 RF 신호들을 수신하도록 연결된다. 제 2 RF 전력 소스 (103) 는 제 2 주파수의 RF 신호들을 제 2 코일 (115) 에 공급하도록 연결된다. 부가적으로, 제 2 코일 (115) 의 입력 단자 (115i) 는 또한 제 1 RF 전력 소스 (101) 와 제 2 코일 (115) 사이에 연결된 전류 스플리터 가변 커패시터 (current splitter variable capacitor) (109) 의 커패시턴스 설정에 따라, 제 1 RF 전력 소스 (101) 로부터 제 1 주파수의 RF 신호들을 수신하도록 연결된다. 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 는 제 1 코일 (113) 과 병렬로 연결된다. 이 방식으로, 제 1 RF 전력 소스 (101) 는 제 1 주파수의 RF 신호들을 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 모두에 공급하도록 연결되고, 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 는 제 1 코일 (113) 과 제 2 코일 (115) 사이에 제 1 주파수의 RF 신호들의 분할을 제어하도록 연결된다. 또한, 제 2 코일 (115) 의 출력 단자 (115o) 는 기준 접지 전위 (119) 에 연결된다.

[0010] 일부 실시 예들에서, RF 전력 공급 시스템 (100) 은 제 1 RF 전력 소스 (101) 의 출력 단자 (101o) 에 연결된 입력 단자 (105i) 를 갖는 제 1 리액티브 (reactive) 회로 (105) 를 포함한다. 이 방식으로, 제 1 RF 전력 소스 (101) 는 제 1 리액티브 회로 (105) 를 통해 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 모두에 제 1 주파수의 RF 신호들을 공급하도록 연결된다. 또한, 일부 실시 예들에서, RF 전력 공급 시스템 (100) 은 제 2 RF 전력 소스 (103) 의 출력 단자 (103o) 에 연결된 입력 단자 (107i) 를 갖는 제 2 리액티브 회로 (107) 를 포함한다. 이 방식으로, 제 2 RF 전력 소스 (103) 는 제 2 리액티브 회로 (107) 를 통해 제 2 코일 (115) 에 제 2 주파수의 RF 신호들을 공급하도록 연결된다.

[0011] 일부 실시 예들에서, 제 1 RF 전력 소스 (101) 및 제 2 RF 전력 소스 (103) 각각은 각각의 직접-구동 RF 신호 생성기이다. 도 2a는 일부 실시 예들에 따른, 직접-구동 RF 신호 생성기 (200) 의 개략도를 도시한다. 직접-구동 RF 신호 생성기 (200) 는 입력 섹션 (201) 및 출력 섹션 (203) 을 포함한다. 입력 섹션 (201) 은 출력 섹션 (203) 에 전기적으로 커플링된다. 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 대해, 출력 섹션 (203) 은 화살표 (205) 로 나타낸 바와 같이 출력 단자 (101o) 에 전기적으로 접속된다. 이 방식으로, 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 대해, 출력 섹션 (203) 은 화살표 (205) 로 나타낸 바와 같이 제 1 리액티브 회로 (105) 에 전기적으로 접속된다. 유사하게, 제 2 RF 전력 소스 (103) 에 대해, 출력 섹션 (203) 은 화살표 (205) 로 나타낸 바와 같이 제 2 리액티브 회로 (107) 에 전기적으로 접속된다. 입력 섹션 (201) 은 전기적 신호 생성기 (207) 및 게이트 드라이버 (209) 의 입력 부분 (209A) 을 포함한다. 출력 섹션 (203) 은 게이트 드라이버 (209) 의 출력 부분 (209B) 및 하프-브리지 트랜지스터 회로 (half-bridge transistor circuit) (211) 을 포함한다. 입력 섹션 (201) 은 복수의 구형파 (square wave) 신호들을 생성하고 구형파 신호들을 출력 섹션 (203) 으로 제공한다. 출력 섹션 (203) 은 입력 섹션 (201) 으로부터 수신된 복수의 구형파 신호들로부터 증폭된 구형파형을 생성한다. 출력 섹션 (203) 은 또한 증폭된 구형파형의 피크-투-피크 (peak-to-peak) 크기와 같은 진폭 포락선 (envelope) 을 성형한다. 예를 들어, 성형 제어 신호는 진폭 포락선을 생성하도록 입력 섹션 (201) 으로부터 출력 섹션 (203) 으로 공급된다. 성형 제어 신호는 진폭 포락선 내에 성형-증폭된 (shaped-amplified) 구형파형을 생성하도록 증폭된 구형파형을 성형하기 위한 복수의 전압 값들을 갖는다. 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 대해, 성형-증폭된 구형파형은 출력 섹션 (203) 으로부터 제 1 리액티브 회로 (105) 로 송신된다. 제 2 RF 전력 소스 (103) 에 대해, 성형-증폭된 구형파형은 출력 섹션 (203) 으로부터 제 2 리액티브 회로 (107) 로 송신된다.

[0012] 제 1 리액티브 회로 (105) 및 제 2 리액티브 회로 (107) 각각은 기본 주파수를 갖는 성형-사인 파형을 생성하도록 성형-증폭된 구형파형의 고차 (higher-order) 고조파들을 제거한다, 예컨대 필터링한다 (filter out). 성형-사인 파형은 성형-증폭된 구형파형과 동일한 진폭 포락선을 갖는다. 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 대해, RF 전력은 기본 주파수 및 진폭 포락선을 갖는 성형-사인 파형의 형태로 제 1 리액티브 회로 (105) 의 출력 단자 (105o) 를 통해 송신된다. 유사하게, 제 2 RF 전력 소스 (103) 에 대해, RF 전력은 기본 주파수 및 진폭 포락선을 갖는 성형-사인 파형의 형태로 제 2 리액티브 회로 (107) 의 출력 단자 (107o) 를 통해 송신된다.

[0013] 도 2b는 일부 실시 예들에 따른, 시간의 함수로서 제 1 RF 전력 소스 (101)/제 2 RF 전력 소스 (103) 의 출력 단자 (101o/103o) 에서 생성된 예시적인 성형-증폭된 구형파형 (213) 의 파라미터의 플롯을 도시한다. 성형-

증폭된 구형 파형 (213) 의 파라미터는 전력, 전압, 또는 전류이다. 도 2b는 또한 성형-증폭된 구형 파형 (213) 의 진폭 포락선 (215) (굵은 점선으로 나타냄) 을 도시하고, 여기서 진폭 포락선 (215) 은 직접-구동 RF 신호 생성기 (200) 의 출력 섹션 (203) 으로 송신되는 성형 제어 신호에 의해 나타난 전압 값들에 따라 생성된다. 도 2b의 예에서, 진폭 포락선 (215) 은 성형-증폭된 구형 파형 (213) 의 파라미터의 절대 크기가 제 1 레벨 L1 (더 낮은 레벨) 과 제 2 레벨 L2 (더 높은 레벨) 사이에서 전이하도록 제어된다. 그러나, 다양한 프로세스들에서 진폭 포락선 (215) 은 출력 섹션 (203) 으로 송신된 성형 제어 신호에 따라 시간의 함수로서 출력 섹션 (203) 의 전력 레일에 공급된 전압을 제어함으로써 본질적으로 임의의 목표된 형상을 갖도록 제어될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 다양한 프로세스들에서, 성형 제어 신호는 진폭 포락선 (215) 이 연속파 형상, 삼각형 형상, 멀티-레벨 펄스 형상, 또는 본질적으로 임의의 다른 미리 정해진 제어된 형상을 가질 것을 지시하기 위해 생성될 수 있다.

[0014] 도 2c는 일부 실시 예들에 따른, 시간의 함수로서 제 1 리액티브 회로 (105)/제 2 리액티브 회로 (107) 의 출력 단자 (105o/107o) 에서 생성된 예시적인 성형-사인 파형 (217) 의 파라미터의 플롯을 도시한다. 성형-사인 파형 (217) 의 파라미터는 전력, 전압, 또는 전류이다. 성형-사인 파형 (217) 은 시간의 함수로서 제 1 리액티브 회로 (105)/제 2 리액티브 회로 (107) 의 입력 단자 (105i/107i) 에 송신되는 성형-증폭된 구형 파형 (213) 에 기초한다. 성형-사인 파형 (217) 은 또한 진폭 포락선 (215) 을 갖는다. 성형-증폭된 구형 파형 (213) 은 기본 주파수 사인 파형 (213A) 과 복수의 고차 고조파 주파수 사인 파형들 (213B, 213C, 등) 의 조합이다. 예를 들어, 사인 파형 (213B) 은 기본 주파수 사인 파형 (213A) 의 2차 고조파 주파수를 나타낸다. 그리고, 사인 파형 (213C) 은 기본 주파수 사인 파형 (213A) 의 3차 고조파 주파수를 나타낸다. 제 1 리액티브 회로 (105)/제 2 리액티브 회로 (107) 는 기본 주파수 사인 파형 (213A) 만이 시간의 함수로서 제 1 리액티브 회로 (105)/제 2 리액티브 회로 (107) 의 출력 단자 (105o/107o) 에 성형-사인 파형 (217) 으로서 제공되도록, 성형-증폭된 구형 파형 (213) 으로부터 고차 고조파 사인 파형들 (213B, 213C, 등) 을 제거하도록 기능한다.

[0015] 도 2d는 일부 실시 예들에 따른, 도 2b의 성형-증폭된 구형 파형 (213) 에 대응하는 성형-사인 파형 (217) 의 플롯을 도시한다. 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 대해, 리액티브 회로 (105) 의 출력 단자 (105o) 에서 성형-사인 파형 (217) 은 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정에 따라 제 1 코일 (113) 로 그리고 제 2 코일 (115) 로 송신된다. 제 2 RF 전력 소스 (103) 에 대해, 리액티브 회로 (107) 의 출력 단자 (107o) 에서 성형-사인 파형 (217) 이 제 2 코일 (115) 로 송신된다.

[0016] 다시 도 1을 참조하면, 일부 실시 예들에서, 제 1 리액티브 회로 (105) 는 제 1 RF 전력 소스 (101) 의 출력 단자 (101o) 에 연결된 입력 단자 (105i) 를 포함한다. 제 1 리액티브 회로 (105) 는 제 1 리액티브 회로 (105) 의 입력 단자 (105i) 에, 그리고 결국 제 1 RF 전력 소스 (101) 의 출력 단자 (101o) 에 연결된 입력 단자 (121i) 를 갖는 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 를 포함한다. 제 1 리액티브 회로 (105) 는 또한 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 와 직렬로 연결된 인덕터 (123) 를 포함한다. 구체적으로, 인덕터 (123) 의 입력 단자 (123i) 는 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 출력 단자 (121o) 에 연결된다. 인덕터 (123) 의 출력 단자 (123o) 는 제 1 리액티브 회로 (105) 의 출력 단자 (105o) 에 연결된다. 제 1 리액티브 회로 (105) 의 출력 단자 (105o) 는 제 1 코일 (113) 의 입력 단자 (113i) 및 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 입력 단자 (109i) 모두에 연결된다. 이 방식으로, 인덕터 (123) 의 출력 단자 (123o) 는 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 제 1 코일 (113) 및 입력 단자 (109i) 모두에 연결된다.

[0017] 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (125) 는 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 커패시턴스 설정의 제어를 제공하도록 연결된다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트는 기계적 샤프트 (mechanical shaft) 의 수동 터닝 (turning) 을 위해 액세스 가능한 위치로 연장하는 기계적 샤프트이고, 여기서 기계적 샤프트의 수동 터닝은 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 커패시턴스 설정의 변화를 제공한다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (125) 는 모터, 예를 들어, 스텝퍼 모터, 및 모터와 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 사이에서 연장하는 기계적 링크 (linkage) 를 포함한다. 일부 실시 예들에서, 기계적 링크는 예를 들어, 예컨대 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 서로에 대해 이격된 전기 전도성 부재들 (예를 들어, 플레이트들) 의 운동 (movement) 을 유발함으로써, 모터의 샤프트의 회전 운동을 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 커패시턴스 설정의 조정으로 변환한다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (125) 는 제어 컴포넌트 (125) 로의 전기적 신호들의 송신을 통해 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 커패시턴스 설정의 원격 제어를 제공하도록 구성된다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (125) 의 동작은 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 커패시턴스 설정이 시스템 제어기 (311) 에 의해 원격으로 그리고/또는 프로그램적으로 설정될 수 있도록, 시스템 제어기 (311) (도 3a 참조) 로부터 송신된 전기적 신호들에 의해 지시된다. 일부 실시 예들에서, 제 1 리액티브 회로 (105) 의 리액턴스는 제어 컴포넌트

(125) 로 품질 인자 (quality factor) 제어 신호를 송신함으로써 수정되고, 여기서 품질 인자 제어 신호는 예컨대 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 커패시턴스 설정의 변화의 구현을 지시함으로써, 제 1 리액티브 회로 (105) 의 리액턴스의 특정한 변화의 구현을 지시한다.

[0018]

일부 실시 예들에서, 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 는 제 2 코일 (115) 의 입력 단자 (115i) 에 연결된 출력 단자 (109o) 를 갖는다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (133) 는 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정의 제어를 제공하도록 연결된다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (133) 는 모터, 예를 들어, 스텝퍼 모터, 및 모터와 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 사이에서 연장하는 기계적 링크를 포함한다. 일부 실시 예들에서, 기계적 링크는, 예를 들어, 예컨대 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 서로에 대해 이격된 전기 전도성 부재들 (예를 들어, 플레이트들) 의 운동을 유발함으로써, 모터의 샤프트의 회전 운동을 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정의 조정으로 변환한다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (133) 는 제어 컴포넌트 (133) 로의 전기적 신호들의 송신을 통해 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정의 원격 제어를 제공하도록 구성된다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (133) 의 동작은 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정이 시스템 제어기 (311) 에 의해 원격으로 그리고/또는 프로그램적으로 설정될 수 있도록, 시스템 제어기 (311) (도 3a 참조) 로부터 송신된 전기적 신호들에 의해 지시된다.

[0019]

전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정은 제 2 코일 (115) 의 임피던스에 영향을 준다. 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정을 조정함으로써, 제 1 코일 (113) 과 제 2 코일 (115) 사이의 임피던스가 변화된다. 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정이 제 2 코일 (115) 의 임피던스의 상승을 유발할 때, 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 의해 생성된 제 1 주파수의 RF 신호들 중 더 많은 RF 신호들이 제 1 코일 (113) 로 송신될 것이고 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 의해 생성된 제 1 주파수의 RF 신호들 중 더 적은 RF 신호들이 제 2 코일 (115) 로 송신될 것이다. 반대로, 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정이 제 2 코일 (115) 의 임피던스의 감소를 유발할 때, 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 의해 생성된 제 1 주파수 중 더 많은 RF 신호들이 제 2 코일 (115) 로 송신될 것이고 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 의해 생성된 제 1 주파수의 RF 신호들 중 더 적은 RF 신호들이 제 1 코일 (113) 로 송신될 것이다. 이 방식으로, 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 는 제 1 코일 (113) 과 제 2 코일 (115) 사이에 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 의해 생성된 제 1 주파수의 RF 신호들의 분할 (division) (분할 (splitting)) 을 제어한다.

[0020]

일부 실시 예들에서, 제 2 리액티브 회로 (107) 는 제 2 RF 전력 소스 (103) 의 출력 단자 (103o) 에 연결된 입력 단자 (107i) 를 포함한다. 제 2 리액티브 회로 (107) 는 제 2 리액티브 회로 (107) 의 입력 단자 (107i) 에, 그리고 결국 제 2 RF 전력 소스 (103) 의 출력 단자 (103o) 에 연결된 입력 단자 (127i) 를 갖는 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 를 포함한다. 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 는 제 2 리액티브 회로 (107) 의 출력 단자 (107o) 에 연결된 출력 단자 (127o) 를 갖는다. 제 2 리액티브 회로 (107) 는 또한 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 와 병렬로 연결된 커패시터 (131) 를 포함한다. 구체적으로, 커패시터 (131) 의 입력 단자 (131i) 는 제 2 리액티브 회로 (107) 의 입력 단자 (107i) 에 연결되고, 결국 제 2 RF 전력 소스 (103) 의 출력 단자 (103o) 에 연결된다. 커패시터 (131) 는 제 2 리액티브 회로 (107) 의 출력 단자 (107o) 에 연결된 출력 단자 (131o) 를 갖는다. 커패시터 (131) 는 본 명세서에서 병렬 커패시터로 지칭된다. 제 2 리액티브 회로 (107) 의 출력 단자 (107o) 는 제 2 RF 전력 소스 (103) 에 의해 생성된 제 2 주파수의 RF 신호들을 제 2 코일 (115) 의 입력 단자 (115i) 로 전달하도록 연결된다.

[0021]

일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (129) 는 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 의 커패시턴스 설정의 제어를 제공하도록 연결된다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (129) 는 기계적 샤프트의 수동 터닝을 위해 액세스 가능한 위치로 연장하는 기계적 샤프트이고, 여기서 기계적 샤프트의 수동 터닝은 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 의 커패시턴스 설정의 변화를 제공한다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (129) 는 모터, 예를 들어, 스텝퍼 모터, 및 모터와 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 사이에서 연장하는 기계적 링크를 포함한다. 일부 실시 예들에서, 기계적 링크는 예를 들어, 예컨대 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 의 서로에 대해 이격된 전기 전도성 부재들 (예를 들어, 플레이트들) 의 운동을 유발함으로써, 모터의 샤프트의 회전 운동을 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 의 커패시턴스 설정의 조정으로 변환한다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (129) 는 제어 컴포넌트 (129) 로의 전기적 신호들의 송신을 통해 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 의 커패시턴스 설정의 원격 제어를 제공하도록 구성된다. 일부 실시 예들에서, 제어 컴포넌트 (129) 의 동작은 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 의 커패시턴스 설정이 시스템 제어기 (311) 에 의해 원격으로 그리고/또는 프로그램적으로 설정될 수 있도록, 시스템 제어기 (311) (도 3a 참조) 로부터 송신된 전기적 신호들에 의해 지시된다. 일부 실시 예들에서,

제 2 리액티브 회로 (107)의 리액턴스는 제어 컴포넌트 (129)로 품질 인자 제어 신호를 송신함으로써 수정되고, 여기서 품질 인자 제어 신호는 예컨대 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127)의 커패시턴스 설정의 변화의 구현을 지시함으로써, 제 2 리액티브 회로 (107)의 리액턴스의 특정한 변화의 구현을 지시한다.

[0022]

일부 실시 예들에서, 제 2 RF 전력 소스 (103)에 의해 생성된 제 2 주파수의 RF 신호들은 차단 필터 (111)를 통해 제 2 코일 (115)의 입력 단자 (115i)로 전달된다. 차단 필터 (111)는 제 1 RF 전력 소스 (101)에 의해 생성된 제 1 주파수의 RF 신호들이 제 2 RF 전력 소스 (103)로 이동하는 것을 방지하도록 구성된다. 이 방식으로, 차단 필터 (111)는 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)의 출력 단자 (109o)를 통해 제 2 코일 (115)로 이동하는 제 1 RF 전력 소스 (101)에 의해 생성된 제 1 주파수의 RF 신호들의 부분의 전달을 지원한다. 차단 필터 (111)는 입력 단자 (111i) 및 출력 단자 (111o)를 포함하고, 입력 단자 (111i)는 제 2 리액티브 회로 (107)의 출력 단자 (107o)에 연결되고, 출력 단자 (111o)는 제 2 코일 (115)의 입력 단자 (115i)에 연결된다. 일부 실시 예들에서, 차단 필터 (111)는 차단 필터 (111)의 입력 단자 (111i)와 출력 단자 (111o) 사이에 서로 병렬로 연결된 커패시터 (135) 및 인덕터 (137)를 포함한다. 구체적으로, 커패시터 (135)는 차단 필터 (111)의 입력 단자 (111i)에 연결된 입력 단자 (135i), 및 차단 필터 (111)의 출력 단자 (111o)에 연결된 출력 단자 (135o)를 갖는다. 또한, 인덕터 (137)는 차단 필터 (111)의 입력 단자 (111i)에 연결된 입력 단자 (137i), 및 차단 필터 (111)의 출력 단자 (111o)에 연결된 출력 단자 (137o)를 갖는다. 다양한 실시 예들에서, 차단 필터 (111)가 제 2 RF 전력 소스 (103)로부터 제 2 코일 (115)로의 제 2 주파수의 RF 신호들의 송신을 제공하면서 제 1 RF 전력 소스 (101)로부터 제 2 RF 전력 소스 (103)로의 제 1 주파수의 RF 신호들의 송신을 차단하는 한, 차단 필터 (111)는 도 1의 예에 도시된 것과 상이하게 구성될 수 있다.

[0023]

일부 실시 예들에서, 일 옵션으로서, 차단 필터 (117)가 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)와 제 2 코일 (115) 사이에 연결된다. 구체적으로, 차단 필터 (117)의 입력 단자 (117i)는 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)의 출력 단자 (109o)에 연결되고, 그리고 차단 필터 (117)의 출력 단자 (117o)는 제 2 코일 (115)의 입력 단자 (115i)에 연결된다. 일부 실시 예들에서, 차단 필터 (117)는 커패시터 (135) 및 인덕터 (137)와 유사하게, 서로 병렬로 연결된 커패시터 및 인덕터를 포함하도록 차단 필터 (111)와 같이 구성된다. 일부 실시 예들에서, 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)를 통해 전달되는 제 1 RF 전력 소스 (101)에 의해 생성된 제 1 주파수의 RF 신호들의 부분은 결국 차단 필터 (117)를 통해 제 2 코일 (115)의 입력 단자 (115i)로 전달된다. 차단 필터 (117)는 제 2 RF 전력 소스 (103)에 의해 생성된 제 2 주파수의 RF 신호들이 제 1 RF 전력 소스 (101)로 이동하는 것을 방지하도록 구성된다. 이 방식으로, 차단 필터 (117)는 제 2 RF 전력 소스 (103)에 의해 생성된 제 2 주파수의 RF 신호들의 제 2 코일 (115)로의 전달을 지원한다. 다양한 실시 예들에서, 차단 필터 (117)가 제 1 RF 전력 소스 (101)로부터 제 2 코일 (115)로의 제 1 주파수의 RF 신호들의 송신을 제공하면서, 제 2 RF 전력 소스 (103)로부터 제 1 RF 전력 소스 (101)로의 제 2 주파수의 RF 신호들의 송신을 차단하는 한, 차단 필터 (117)는 다양한 방식으로 구성될 수 있다.

[0024]

일부 실시 예들에서, RF 전력 공급 시스템 (100)은 제 1 코일 (113)로 전달된 RF 전력량 및/또는 제 2 코일 (115)로 전달된 RF 전력량을 측정하기 위한 하나 이상의 센서들을 포함한다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서, V/I (전압/전류) 센서 (139)는 제 1 RF 전력 소스 (101)로부터 제 1 코일 (113)로 전달된 RF 전력량의 측정을 제공하도록 연결된다. 일부 실시 예들에서, V/I 센서 (139)는 제 1 리액티브 회로 (105)의 출력 단자 (105o)와 제 1 코일 (113)의 입력 단자 (113i) 사이에 연결된다. 일부 실시 예들에서, 또 다른 V/I 센서 (141)는 제 1 RF 전력 소스 (101)로부터 제 2 코일 (115)로 전달된 RF 전력량의 측정을 제공하도록 연결된다. 일부 실시 예들에서, V/I 센서 (141)는 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)의 출력 단자 (109o)와 제 2 코일 (115)의 입력 단자 (115i) 사이에 연결된다. 또한, 일부 실시 예들에서, V/I 센서 (141)는 차단 필터 (117)의 출력 단자 (117o)와 제 2 코일 (115)의 입력 단자 (115i) 사이에 연결된다. 일부 실시 예들에서, 또 다른 V/I 센서 (143)는 제 2 RF 전력 소스 (103)로부터 제 2 코일 (115)로 전달된 RF 전력량의 측정을 제공하도록 연결된다. 일부 실시 예들에서, V/I 센서 (143)는 차단 필터 (111)의 출력 단자 (111o)와 제 2 코일 (115)의 입력 단자 (115i) 사이에 연결된다. 또한, 일부 실시 예들에서, V/I 센서 (141)는 제 2 리액티브 회로 (107)의 출력 단자 (107o)와 제 2 코일 (115)의 입력 단자 (115i) 사이에 연결된다.

[0025]

일부 실시 예들에서, V/I 센서 (139)는 제 1 RF 전력 소스 (101)로부터 제 1 코일 (113)로의 RF 신호 전달 경로의 전기 전도체 상에 존재하는 전압 및 전류를 측정하도록 연결된다. 또한, 일부 실시 예들에서, V/I 센서 (141)는 제 1 RF 전력 소스 (101)로부터 제 2 코일 (115)로의 RF 신호 전달 경로의 전기 전도체 상에 존재하는 전압 및 전류를 측정하도록 연결된다. 또한, 일부 실시 예들에서, V/I 센서 (143)는 제 2 RF 전력 소스 (103)로부터 제 2 코일 (115)로의 RF 신호 전달 경로의 전기 전도체 상에 존재하는 전압 및 전류를 측정하도록

록 연결된다. 일부 실시 예들에서, V/I 센서들 (139, 141, 및 143) 각각은 미리 결정된 (given) 시간에 RMS (root-mean-square) 전압 (V_{rms}), RMS 전류 (i_{rms}), 및 측정된 RMS 전압 (V_{rms}) 과 측정된 RMS 전류 (i_{rms}) 사이의 위상 각도 (ϕ) 를 측정하도록 구성된다. 일부 실시 예들에서, V/I 센서들 (139, 141, 및 143) 각각은 또한 다음과 같이 미리 결정된 시간에 측정된 RMS 전압 (V_{rms}), 측정된 RMS 전류 (i_{rms}) 및 측정된 RMS 전압 (V_{rms}) 과 측정된 RMS 전류 (i_{rms}) 사이의 위상 각도 (ϕ) 를 사용함으로써 미리 결정된 시간에 대응하는 전기 전도체를 통해 송신될 RF 전력 (P) 을 결정하도록 구성된다: $P = (V_{rms})(i_{rms})\cos(\phi)$. 다양한 실시 예들에서, V/I 센서들 (139, 141, 및 143) 각각은 본질적으로 임의의 가용한 전기적 측정 또는 측정-계산 기법을 사용하여 임의의 미리 결정된 시간에 대응하는 전기 전도체를 통해 송신될 실시간 RF 전력을 결정하도록 구성될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 일부 실시 예들에서, 임의의 미리 결정된 시간에 V/I 센서 (139, 141, 143) 에 의해 결정된 RF 전력 (P) 을 나타내는 신호는 전기적 신호 접속부를 통해 시스템 제어기 (311) (도 3a 참조) 로 전달된다. 또한, 일부 실시 예들에서, 임의의 미리 결정된 시간에 측정된 RMS 전압 (V_{rms}), 측정된 RMS 전류 (i_{rms}), 및 측정된 RMS 전압 (V_{rms}) 과 측정된 RMS 전류 (i_{rms}) 사이의 위상 각도 (ϕ) 를 나타내는 신호들은 V/I 센서 (139, 141, 143) 로부터 전기적 신호 접속부를 통해 시스템 제어기 (311) 로 전달된다.

[0026]

일부 실시 예들에서, V/I 센서들 (139, 141, 143) 은 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 각각으로 송신될 RF 전력량을 결정하도록 사용될 수 있다. 일부 실시 예들에서, V/I 센서들 (139, 141, 143) 로부터 획득된 정보는 시스템 제어기 (311) 로 하여금 제 1 코일 (113) 과 제 2 코일 (115) 사이의 타깃 RF 전류 비를 달성하기 위해 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정을 조정하는 방법을 결정할 수 있게 한다. 일부 실시 예들에서, 시스템 제어기 (311) 는 제 1 주파수의 RF 신호들에 대응하는 타깃 RF 전력량이 제 1 RF 전력 소스 (101) 로부터 제 2 코일 (115) 로 송신되도록, 제어 컴포넌트 (133) 를 통해 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정을 제어하기 위해 피드백 신호로서 V/I 센서들 (139, 141, 143) 에 의해 제공된 RF 전력 측정값(들) 중 하나 이상을 사용하도록 구성된다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서, 플라즈마 프로세싱 레시피는 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정을 위한 초기 설정점 및 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 각각에 대한 타깃 RF 파라미터 (전압, 전류, 및/또는 전력) 를 명시한다. 이어서, 웨이퍼 상에서 플라즈마 프로세싱 레시피의 수행 동안, V/I 센서들 (139, 141, 및 143) 에 의해 제공된 측정값들은 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 각각에 대한 타깃 RF 파라미터 (전압, 전류, 및/또는 전력) 를 달성하고 유지하기 위해 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정을 제어하도록 피드백 신호들로서 시스템 제어기 (311) 에 의해 사용된다. 이 방식으로, 폐루프 (closed-loop) 피드백 제어 프로세스는 시스템 제어기 (311), 제어 컴포넌트 (133), 전류 스플리터 가변 커패시터 (109), 및 V/I 센서들 (139, 141, 및/또는 143) 중 하나 이상을 사용하여 구현된다.

[0027]

도 3a는 일부 실시 예들에 따른, RF 전력 공급 시스템 (100) 을 활용하는 예시적인 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 을 도시한다. 도 3a는 예시적인 플라즈마 프로세싱 챔버 (301) 를 통한 예시적인 수직 단면 선도 (diagram) 를 도시한다. 플라즈마 프로세싱 챔버 (301) 는 외측 구조체 (302), 예를 들어, 측면 구조체 및 하단 구조체, 및 상부 윈도우 구조체 (303) 를 포함한다. 상부 윈도우 구조체 (303) 는 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 로부터 플라즈마 프로세싱 챔버 (301) 내 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내로 RF 전력의 송신을 제공하는 재료, 예를 들어 석영 또는 유사한 재료로 형성된다. 기판 지지 구조체 (305) 는 기판 (307) 의 플라즈마 프로세싱 동안 기판 (307) 의 지지를 제공하도록 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내에 배치된다 (dispose). 기판 지지 구조체 (305) 는 플라즈마 프로세싱 동작들 동안 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 에 대한 노출 시 기판 (307) 을 홀딩하도록 (hold) 구성된다. 플라즈마 프로세싱 챔버 (301) 는 기준 접지 전위 (119) 에 연결된다.

[0028]

플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 은 RF 전력이 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 로부터 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내로 송신되는 유도 커플링 (inductively coupled) 시스템이다. 예시적인 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 에서, 제 1 코일 (113) 은 내측 코일이고, 제 2 코일 (115) 은 외측 코일이다. 도 3b는 일부 실시 예들에 따른, 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 의 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 의 평면도를 도시한다. 도 3b의 예에서, 제 1 코일 (113) (내측 코일) 은 한 쌍의 인터리빙된 (interleave) 나선-형상 코일들 (113A 및 113B) 을 포함한다. 코일들 (113A 및 113B) 각각은 제 1 리액티브 회로 (105) 의 출력 단자 (105o) 로부터 RF 신호들을 수신하도록 연결된 각각의 제 1 단부를 갖는다. 코일들 (113A 및 113B) 각각은 기준 접지 전위 (119) 에 연결된 각각의 제 2 단부를 갖는다. 또한, 도 3b의 예에서, 제 2 코일 (115) (외측 코일) 은 제 1 코일 (113) (내측 코일) 의 코일들 (113A 및 113B) 을 둘러싸도록 집합적으로 포지셔닝된 한 쌍의 인터리빙된 나

선-형상 코일들 (115A 및 115B) 을 포함한다. 코일들 (115A 및 115B) 각각은 (직접적으로 또는 선택 가능한 (optional) 차단 필터 (117) 를 통해) 차단 필터 (111) 의 출력 단자 (111o) 로부터 그리고 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 출력 단자 (109o) 로부터 RF 신호들을 수신하도록 연결된 각각의 제 1 단부를 갖는다. 코일들 (115A 및 115B) 각각은 기준 접지 전위 (119) 에 연결된 각각의 제 2 단부를 갖는다. 다양한 실시 예들에서, 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 각각은 상부 윈도우 구조체 (303) 를 통해 그리고 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내로 RF 전력을 송신하기에 적합한 본질적으로 임의의 구성을 가질 수 있다. 다양한 실시 예들에서, 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 각각은 상부 윈도우 구조체 (303) 를 통해 그리고 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내로 RF 전력의 송신을 제공하기에 적절한 임의의 수의 턴들 (turns) 및 임의의 단면 사이즈 및 형상 (원형, 타원형, 직사각형, 사다리꼴, 등) 을 가질 수 있다.

[0029] 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 은 화살표 (315) 로 나타낸 바와 같이, 하나 이상의 프로세스 가스(들)가 제어된 방식으로 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 에 공급될 수 있도록, 프로세스 가스 공급 시스템 (313) 에 유체로 연결된다. 프로세스 가스 공급 시스템 (313) 은 제어된 플로우 레이트로 그리고 제어된 플로우 시간으로 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 으로 하나 이상의 프로세스 가스(들)의 제공을 가능하게 하도록 하나 이상의 프로세스 가스 소스들 및 밸브들 및 질량 유량 제어기들 (mass flow controllers) 의 배열 (arrangement) 을 포함한다. 또한, 다양한 실시 예들에서, 하나 이상의 프로세스 가스(들)는 기관 지지 구조체 (305) 및 상부에 홀딩된 기관 (307) 에 대해 시간적으로 제어된 방식 및 공간적으로 제어된 방식 모두로 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 에 전달된다. 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 은 또한 화살표 (317) 로 나타낸 바와 같이 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 으로부터 프로세스 가스(들)의 제어된 제거를 제공하는 배기 시스템을 포함한다. 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 은 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내에서 하나 이상의 프로세스 가스들을 플라즈마 (309) (점선 타원 영역으로 나타냄) 로 변환하기 위해 프로세스 가스 공급 시스템 (313) 으로 하여금 하나 이상의 프로세스 가스들을 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내로 흘리게 함으로써, 그리고 제 1 코일 (113) 및/또는 제 2 코일 (115) 로부터 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내로 RF 전력을 송신함으로써 동작한다. 일부 실시 예들에서, 시스템 제어기 (311) 는 프로세스 가스 공급 시스템 (313) 의 동작을 제어하고 RF 전력 공급 시스템 (100) 의 동작을 제어하도록 연결된다.

[0030] 플라즈마 (309) 는 제어된 방식으로 기관 (307) 에 변화를 유발하도록 생성된다. 다양한 제조 프로세스들에서, 기관 (307) 에 대한 변화는 기관 (307) 상의 재료 또는 표면 조건의 변화일 수 있다. 예를 들어, 다양한 제조 프로세스들에서, 기관 (307) 에 대한 변화는 기관 (307) 으로부터 재료의 에칭, 기관 (307) 상의 재료의 증착, 또는 기관 (307) 상에 존재하는 재료의 개질 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 은 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내에서 플라즈마 (309) 를 생성하기 위해 RF 전력이 플라즈마 프로세싱 챔버 (301) 외부에 배치된 제 1 코일 (113) 및 제 2 코일 (115) 로부터 플라즈마 프로세싱 영역 (310) 내 프로세스 가스로 송신되는 임의의 타입의 플라즈마 프로세싱 시스템일 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0031] 일부 실시 예들에서, 기관 (307) 은 제조 절차를 겪는 반도체 웨이퍼이다. 그러나, 다양한 실시 예들에서, 기관 (307) 은 본질적으로 플라즈마-기반 제조 프로세스를 겪는 (subject) 임의의 타입의 기관일 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서, 본 명세서에 언급된 바와 같은 기관 (307) 은 실리콘, 사파이어, GaN, GaAs 또는 SiC, 또는 다른 기관 재료들로 형성된 기관일 수 있고, 그리고 유리 패널들/기관들, 금속 포일들, 금속 시트들, 폴리머 재료들, 등을 포함할 수 있다. 또한, 다양한 실시 예들에서, 본 명세서에 언급된 기관 (307) 은 형태, 형상, 및/또는 사이즈가 가변할 수도 있다. 예를 들어, 일부 실시 예들에서, 본 명세서에 언급된 기관 (307) 은 다른 반도체 웨이퍼 사이즈들 중에서, 200 mm (밀리미터) 직경 반도체 웨이퍼, 300 mm 직경 반도체 웨이퍼, 또는 450 mm 직경 반도체 웨이퍼에 대응할 수도 있다. 또한, 일부 실시 예들에서, 본 명세서에 언급된 기관 (307) 은 다른 형상들 중에서, 평판 디스플레이를 위한 직사각형 기관 등과 같은, 비-원형 기관에 대응할 수도 있다.

[0032] 도 4는 일부 실시 예들에 따른, 플라즈마 프로세싱 시스템에 RF 전력을 공급하기 위한 방법의 플로우차트를 도시한다. 방법은 (예를 들어, 예컨대 제 1 RF 전력 소스 (101) 를 동작시킴으로써) 제 1 주파수의 RF 신호들을 생성하기 위한 동작 (401) 을 포함한다. 방법은 또한 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 1 부분을 제 1 코일 (예를 들어, (113)) 로 공급하기 위한 동작 (403) 을 포함한다. 방법은 또한 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 2 부분을 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 로 공급하기 위한 동작 (405) 을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 방법은 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 1 부분의 양 및 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 2 부분의 양을 제어하도록 전류 스플리터 가변 커패시터 (예를 들어, (109)) 를 사용하는 단계를 포함한다. 방법은 또한 (예를 들어, 예컨대 제 2 RF 전력 소스 (103) 를 동작시킴으로써) 제 2 주파수의 RF 신호들을 생성하기 위한 동작 (407) 을 포함한다. 방법

은 또한 제 2 주파수의 RF 신호들을 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 로 공급하기 위한 동작 (409) 을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 방법은 제 1 주파수의 RF 신호들이 제 2 주파수의 RF 신호들의 소스로 이동하는 것을 방지하도록 (예를 들어, 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 의해 생성된 RF 신호들이 제 2 RF 전력 소스 (103) 로 이동하는 것을 방지하도록) 차단 필터 (예를 들어, (111)) 를 사용하는 단계를 포함한다.

[0033] 일부 실시 예들에서, 방법은 제 1 RF 전력 소스 (예를 들어, (101)) 에 의해 생성될 때, 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 에 의해 구동되는 플라즈마의 점화/스트라이킹을 지지하도록 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 로 송신되는, 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 2 부분의 양을 증가시키도록 전류 스플리터 가변 커패시터 (예를 들어, (109)) 의 커패시턴스 설정을 제어하기 위한 동작을 포함한다. 또한, 이들 실시 예들 중 일부에서, 방법은

[0034] 제 1 RF 전력 소스 (예를 들어, (101)) 에 의해 생성될 때, 플라즈마의 점화/스트라이킹 후에 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 로 송신되는, 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 2 부분의 양을 감소시키도록 전류 스플리터 가변 커패시터 (예를 들어, (109)) 의 커패시턴스 설정을 제어하기 위한 동작을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 방법은 제 1 RF 전력 소스 (예를 들어, (101)) 에 의해 생성될 때, 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 에 의해 구동되는 플라즈마의 안정성을 지지하도록 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 로 송신되는, 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 2 부분의 양을 제어하도록 전류 스플리터 가변 커패시터 (예를 들어, (109)) 의 커패시턴스 설정을 제어하기 위한 동작을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 방법은 제 1 RF 전력 소스 (예를 들어, (101)) 에 의해 생성될 때 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 2 부분에 의해 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 로 전달된 RF 전력량을 측정하기 위한 동작을 포함한다. 또한, 이들 실시 예들에서, 방법은 제 1 RF 전력 소스 (예를 들어, (101)) 에 의해 생성될 때 제 1 주파수의 RF 신호들의 제 2 부분에 의해 타겟 RF 전력량이 제 2 코일 (예를 들어, (115)) 로 전달되도록 전류 스플리터 가변 커패시터 (예를 들어, (109)) 의 커패시턴스 설정을 제어하기 위해 피드백 신호로서 측정된 RF 전력량을 사용하는 동작을 포함한다.

[0035] 일부 실시 예들에서, 제 1 RF 전력 소스 (101) 에 의해 생성된 RF 신호들의 제 1 주파수는 약 13 MHz (megaHertz) 이고, 제 2 RF 전력 소스 (103) 에 의해 생성된 RF 신호들의 제 2 주파수는 약 2 MHz이다. 이들 실시 예들에서, 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 의 커패시턴스 설정은 약 5 pF (picoFarads) 로부터 약 500 pF로 연장하는 범위 내에서 제어된다. 또한, 이들 실시 예들 중 일부에서, 제 1 튜닝 가변 커패시터 (121) 의 커패시턴스 설정은 약 5 pF로부터 약 1000 pF로 연장하는 범위 내에서 제어되고, 인덕터 (123) 는 약 300 nH (nanoHenries) 로부터 약 1000 nH로 연장하는 범위 내의 인덕턴스를 갖는다. 또한, 이들 실시 예들 중 일부에서, 제 2 튜닝 가변 커패시터 (127) 의 커패시턴스 설정은 약 5 pF로부터 약 2000 pF로 연장하는 범위 내에서 제어되고, 커패시터 (131) 는 약 2000 pF로부터 약 3500 pF로 연장하는 범위 내의 커패시턴스를 갖는다. 또한, 이들 실시 예들 중 일부에서, 차단 필터 (111) 는 약 50 pF로부터 약 500 pF로 연장하는 범위 내의 커패시턴스를 갖는 커패시터 (135) 및 약 200 nH로부터 약 2000 nH로 연장하는 범위 내의 인덕턴스를 갖는 인덕터 (137) 로 구성된다. 또한, 이들 실시 예들 중 일부에서, 선택 가능한 차단 필터 (117) 는 차단 필터 (111) 와 유사하게 구성된다.

[0036] 일부 실시 예들에서, 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 은 제 1 코일 (113) 로만 제 1 주파수의 RF 신호들의 송신과 조합하여 제 2 코일 (115) 로 제 2 주파수의 RF 신호들만의 송신을 사용하여 플라즈마 (309) 를 점화/스트라이킹 및 지속하는 것이 어려운 플라즈마 모드에서 플라즈마 (309) 의 생성을 포함하는 플라즈마 프로세싱 레시피들을 수행하도록 시스템 제어기 (311) 를 통해 프로그래밍된다. 예를 들어, 일부 플라즈마 프로세싱 레시피들 및 미리 정해진 플라즈마 모드들을 사용하여, 제 2 RF 전력 소스 (103) 에 의해 생성될 때, 제 2 주파수, 예를 들어, 2 MHz의 RF 신호들은 그 자체로 외측 코일 (115) 에 의해 구동되는 플라즈마를 점화/스트라이킹 그리고 지속하기 위해 충분한 RF 전력을 제공하지 않는다. 따라서, 이들 플라즈마 프로세싱 레시피들 및 미리 정해진 플라즈마 모드들에 대해, 전류 스플리터 가변 커패시터 (109) 는 외측 코일 (115) 에 의해 구동되는 플라즈마 (309) 의 점화/스트라이킹 및 지속을 보조하기 위해 제 1 주파수, 예를 들어, 13 MHz의 RF 신호들 중 일부를 외부 코일 (115) 로 방향 전환하도록 (divert) 제어 컴포넌트 (133) 를 통해 제어된다.

[0037] 다양한 플라즈마 프로세싱 레시피들에서, 플라즈마 (309) 는 플라즈마 (309) 가 코일 (113/115) 과 플라즈마 (309) 사이의 용량성 필드들에 의해 주로 구동되는 E 모드에서, 또는 플라즈마 (309) 가 코일 (113/115) 에 의해 생성된 자기장들에 의해 주로 구동되는 H-모드에서 생성될 수 있다. 일부 상황들에서, 플라즈마 (309) 가 H-모드에서 생성될 때, 제 2 RF 전력 소스 (103) 로부터 제 2 코일 (115) 로 송신된 제 2 주파수의 RF 신호들에 의해 공급된 RF 전력은 플라즈마 (309) 를 점화/스트라이킹 그리고 지속하기에 충분하지 않다. 또한, 플라즈마 (309) 생성 내의 전이 영역들로 인해, 플라즈마 (309) 를 점화/스트라이킹 그리고 지속하기 위해, 제 2 RF 전력

소스 (103)로부터 제 2 코일 (115)로 송신된 제 2 주파수의 RF 신호들에 의해 공급된 RF 전력을 10 배, 예를 들어, 약 300 W로부터 2 kW 이상으로 증가시킬 필요가 있을 것이다. 그러나, 제 2 주파수의 RF 신호들에 의해 공급된 RF 전력을 이러한 고 레벨로 증가시키는 것은 제 2 코일 (115)을 통한 매우 높은 전류의 구동을 발생시킬 것이고, 이는 허용되지 않는다. 예를 들어, 제 2 코일 (115)을 통한 매우 높은 전류의 구동은 상부 윈도우 구조체 (303)의 문제가 있는 플라즈마 스퍼터링을 유발하는 용인할 수 없는 레벨로 제 2 코일 (115)상의 전압을 증가시킬 수 있다. 따라서, 이러한 상황들에서, H-모드의 플라즈마 (309)의 생성은 제 2 RF 전력 소스 (103)로부터 제 2 코일 (115)로 송신된 제 2 주파수의 RF 신호들에 의해 공급된 RF 전력을 단순히 증가시킴으로써 신뢰성있게 이루어질 수 없다. RF 전력 공급 시스템 (100)은 제 2 코일 (115)을 통해 용인할 수 없이 높은 전류를 구동할 필요 없이 H-모드에서 플라즈마 (309)의 신뢰성 있는 점화/스트라이킹 및 지속을 허용하는 이 상황에서 해결책을 제공한다. 예를 들어, 이 상황에서, 시스템 제어기 (311) 및 제어 컴포넌트 (133)는 상부 윈도우 구조체 (303)의 스퍼터링을 유발할 수 있는 제 2 코일 (115)상에 용인할 수 없이 높은 전압을 유발하지 않고, H-모드에서 플라즈마 (309)의 점화/스트라이킹 및 지속을 지원하기 위해, 제 2 RF 전력 소스 (103)로부터 제 2 코일 (115)로 공급된 제 2 주파수의 RF 신호들에 의해 제공된 RF 전력을 증가시키기 (augment) 위해 제 1 RF 전력 소스 (101)에 의해 생성될 때 충분한 양의 제 1 주파수의 RF 신호들을 제 2 코일 (115)로 방향 전환하도록 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)의 커패시턴스를 설정하게 동작한다.

[0038] 다양한 실시 예들에서, 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)의 커패시턴스 설정은 필요에 따라 플라즈마 프로세싱 단계들 사이에서 변화될 수 있다. 예를 들어, 플라즈마 프로세싱 레시피는 제 1 주파수의 RF 신호들의 대부분이 제 1 코일 (113)로 송신되는 프로세싱 단계, 이어서 제 2 코일 (115)로부터 플라즈마 (309)로의 제 2 주파수의 RF 신호들의 커플링을 지원하기 위해 제 1 주파수의 RF 신호들의 일부가 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)를 통해, 제 2 코일 (115)로 방향 전환되는 또 다른 프로세싱 단계를 포함할 수 있다. 또한, 일부 실시 예들에서, 제 2 코일 (115)상의 전압이 상부 윈도우 구조체 (303)의 플라즈마 스퍼터링을 유발할 수 있는 레벨, 예를 들어, 1500 V 미만으로 유지되도록, 제 1 주파수의 RF 신호들의 충분히 큰 부분이 플라즈마 (309)생성의 점화/스트라이킹 페이즈를 위해 제 1 RF 전력 소스 (101)로부터 제 2 코일 (115)로 송신되고, 플라즈마 (309)의 점화/스트라이킹 후에 제 1 RF 전력 소스 (101)로부터 제 2 코일 (115)로 송신된 제 1 주파수의 RF 신호들의 부분의 감소가 이어지도록, 시스템 제어기 (311)는 제어 컴포넌트 (133)를 통해 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)의 커패시턴스 설정을 제어하도록 프로그래밍된다. RF 전력 공급 시스템 (100)에 의해, 특히 전류 스플리터 가변 커패시터 (109)에 의해 제공된 제 1 주파수의 RF 신호들 중 일부를 제 2 코일 (115)로 방향 전환하는 프로그래밍 가능한 능력은 플라즈마 (309)점화/스트라이킹의 증가된 신뢰성, 플라즈마 프로세싱 동작 동안 개선된 플라즈마 (309)안정성, 및 상부 윈도우 구조체 (303)의 플라즈마 스퍼터링을 방지/감소시키도록 코일 (115)상의 충분히 낮은 전압을 제공한다는 것이 이해되어야 한다.

[0039] 본 명세서에 개시된 RF 전력 공급 시스템 (100)은 제 1 코일 (113), 예를 들어, 내측 코일과 제 2 코일 (115), 예를 들어, 외측 코일 사이에 제 1 주파수, 예를 들어, 13 MHz의 RF 신호들에 의해 제공된 RF 전력을 분할하는 방법을 제공한다. RF 전력 공급 시스템 (100)은 제 1 RF 전력 소스 (101) 및 제 2 RF 전력 소스 (103) 각각이 각각의 직접-구동 RF 신호 생성기 (200)일 때 특히 유용하다. 제 1 주파수의 RF 신호들의 일부를 제 2 코일 (115)로 분할하는 것은 제 2 주파수의 RF 신호들에 의해 제 2 코일 (115)에 제공된 RF 전력이 플라즈마 (309)점화 없음, 플라즈마 (309)불안정성, 및/또는 H-모드 플라즈마 (309)지속 가능성 이슈들을 발생시키는 상황들에서 제 1 RF 전력 소스 (101) 및 제 2 RF 전력 소스 (103)각각에 대해 직접-구동 RF 신호 생성기 (200)의 사용을 가능하게 한다.

[0040] 일부 실시 예들에서, 제 1 주파수, 예를 들어, 13 MHz의 RF 신호들에 대응하는 소량의 RF 전류를 제 2 코일 (115)에 부가함으로써, 플라즈마 (309)점화/스트라이크 모두가 더 가능성 있고 플라즈마 (309)안정성 윈도우가 증가된다. 또한, 일부 실시 예들에서, 플라즈마 (309)의 H-모드 지속은 제 2 코일 (115)에 공급된 제 1 주파수, 예를 들어, 13 MHz의 RF 신호들에 대응하는 RF 전류가 플라즈마 (309)를 H-모드로 보내는 것을 보조하기 때문에 더 가능성이 있고, 여기서 제 2 코일 (115)에 공급된 제 2 주파수, 예를 들어, 2 MHz의 RF 신호들에 대응하는 RF 전류는 자체적으로 플라즈마 (309)를 H-모드로 보낼 수 없다. 부가적으로, 제 1 주파수, 예를 들어, 13 MHz의 RF 신호들에 대응하는 소량의 RF 전류를 제 2 코일 (115)에 부가함으로써, 플라즈마 (309)의 다른 특성들 중에서, 이온 밀도, 전자 밀도, 및 전자 온도와 같은 플라즈마 (309)특성들의 공간적 분포를 제어하는 것이 가능하다.

[0041] 도 5는 일부 예시적인 실시 예들에 따른, 시스템 제어기 (311)의 선도를 도시한다. 일부 실시 예들에서, 시스템 제어기 (311)는 프로세서 (509), 저장 하드웨어 유닛 (HU) (511) (예를 들어, 메모리), 입력 HU (501), 출

력 HU (505), 입력/출력 (I/O) 인터페이스 (503), I /O 인터페이스 (507), NIC (network interface controller) (515), 및 데이터 통신 버스 (513) 를 포함한다. 프로세서 (509), 저장 HU (511), 입력 HU (501), 출력 HU (505), I/O 인터페이스 (503), I/O 인터페이스 (507), 및 NIC (515) 는 데이터 통신 버스 (513) 를 통해 서로 데이터 통신한다. 입력 HU (501) 의 예들은 마우스, 키보드, 스타일러스 (stylus), 데이터 획득 시스템, 데이터 획득 카드, 등을 포함한다. 출력 HU (505) 의 예들은 디스플레이, 스피커, 디바이스 제어기, 등을 포함한다. NIC (515) 의 예들은 네트워크 인터페이스 카드, 네트워크 어댑터, 등을 포함한다. 다양한 실시 예들에서, NIC (515) 는 그 중에서도 이더넷 (Ethernet) 및/또는 이더캐트 (EtherCAT) 과 같은 하나 이상의 통신 프로토콜들 및 연관 물리 계층들에 따라 동작하도록 구성된다. I/O 인터페이스들 (503 및 507) 각각은 I/O 인터페이스에 커플링된 상이한 하드웨어 유닛들 사이의 호환성을 제공하도록 규정된다. 예를 들어, I/O 인터페이스 (503) 는 입력 HU (501) 로부터 수신된 신호를 데이터 통신 버스 (513) 와 호환 가능한 형태, 진폭, 및/또는 속도로 변환하도록 규정될 수 있다. 또한, I/O 인터페이스 (507) 는 데이터 통신 버스 (513) 로부터 수신된 신호를 출력 HU (505) 와 호환 가능한 형태, 진폭, 및/또는 속도로 변환하도록 규정될 수 있다. 본 명세서에 기술된 다양한 동작들이 시스템 제어기 (311) 의 프로세서 (509) 에 의해 수행되지만, 일부 실시 예들에서 다양한 동작들이 시스템 제어기 (311) 의 복수의 프로세서들에 의해 그리고/또는 시스템 제어기 (311) 와 연결된 복수의 컴퓨팅 시스템들의 복수의 프로세서들에 의해 수행될 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

[0042] 다양한 실시 예들에서, 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 은 기관 (307) 의 프로세싱 이전에, 프로세싱 동안에 그리고 프로세싱 이후에 동작을 제어하기 위해 전자 장치와 통합되고, 여기서 전자 장치는 다양한 컴포넌트들 및/또는 RF 전력 공급 시스템 (100) 을 포함하는 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 의 하위부분들을 제어하도록 구성되고 연결되는 시스템 제어기 (311) 내에서 구현된다. 기관 (307) 프로세싱 요건들 및/또는 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 의 특정한 구성에 따라, 시스템 제어기 (311) 는 그 중에서도 프로세스 가스 공급 시스템 (313) 에 의한 프로세스 가스(들)의 전달, 온도 설정들 (예를 들어, 가열 및/또는 냉각), 압력 설정들, 진공 설정들, 전력 설정들, RF 전력 공급 시스템 (100) 설정들, 전기적 신호 주파수 설정들, 가스 플로우 레이트 설정들, 유체 전달 설정들, 포지션 및 동작 설정들, 플라스마 프로세싱 챔버 (301) 및/또는 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 과 연결되거나 인터페이스된 로드 록들 내외로의 기관 (307) 이송들을 포함하는, 본 명세서에 개시된 임의의 프로세스 및/또는 컴포넌트를 제어하도록 프로그래밍된다.

[0043] 다양한 실시 예들에서, 시스템 제어기 (311) 는 다른 태스크들/동작들 중에서, 예컨대 인스트럭션들을 수신하고, 인스트럭션들을 발행하고, 디바이스 동작들을 제어하고, 세팅 동작들을 가능하게 하고, 엔드포인트 측정들을 가능하게 하고, (광학, 열적, 전기적, 등) 계측 측정들을 가능하게 하는 다양한 태스크들/동작들을 지시하고 제어하는 다양한 집적 회로들, 로직, 메모리, 및/또는 소프트웨어를 갖는 전자 장치로서 규정된다. 일부 실시 예들에서, 시스템 제어기 (311) 내의 집적 회로들은 다른 컴퓨팅 디바이스들 중에서 프로그램 인스트럭션들을 저장하는 하나 이상의 펌웨어, 디지털 신호 처리기 (digital signal processor; DSP), 주문형 반도체 (Application Specific Integrated Circuit; ASIC) 칩, 프로그램 가능 논리 소자 (programmable logic device; PLD), 하나 이상의 마이크로프로세서들, 및/또는 프로그램 인스트럭션들 (예를 들어, 소프트웨어) 을 실행하는 하나 이상의 마이크로제어기들을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 프로그램 인스트럭션들은 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 내에서 기관 (307) 상에서 프로세스를 수행하기 위한 동작 파라미터들을 규정하는, 다양한 개별 설정들 (또는 프로그램 파일들) 의 형태로 시스템 제어기 (311) 에 전달된다. 일부 실시 예들에서, 동작 파라미터들은 기관 (307) 상의 하나 이상의 층들, 재료들, 금속들, 옥사이드들, 실리콘, 실리콘 다이옥사이드, 표면들, 회로들 및/또는 다이들의 제조 동안에 하나 이상의 프로세싱 단계들을 달성하도록 프로세스 엔지니어들에 의해서 규정된 레시피에 포함된다.

[0044] 일부 실시 예들에서, 시스템 제어기 (311) 는 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 과 통합되거나, 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 에 연결되거나, 그렇지 않으면 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 에 네트워킹되거나, 또는 이들의 조합인 컴퓨터에 연결되거나 컴퓨터의 일부이다. 예를 들어, 시스템 제어기 (311) 는 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 에 의한 기관 (307) 프로세싱의 제어를 위해 원격 액세스를 허용하는 팹 (fab) 호스트 컴퓨터 시스템의 전부 또는 일부 또는 "클라우드" 내에서 구현된다. 시스템 제어기 (311) 는 제조 동작들의 현재 진행의 모니터링을 제공하고, 과거 제조 동작들의 이력 조사를 제공하고, 복수의 제조 동작들로부터 경향들 또는 성능 메트릭들의 조사를 제공하고, 프로세싱 파라미터들의 변화를 제공하고, 후속 프로세싱 단계들의 설정을 제공하고, RF 전력 공급 시스템 (100) 동작 파라미터들의 사양을 제공하고, 그리고/또는 새로운 기관 제조 프로세스의 개시를 제공하도록 플라스마 프로세싱 시스템 (300) 에 대한 원격 액세스를 가능하게 한다.

[0045] 일부 실시 예들에서, 서버 컴퓨터 시스템과 같은 원격 컴퓨터는 로컬 네트워크 및/또는 인터넷을 포함하는 컴퓨

터 네트워크를 통해 시스템 제어기 (311) 에 프로세스 레시피들을 제공한다. 원격 컴퓨터는 차후에 원격 컴퓨터로부터 시스템 제어기 (311) 로 전달될 파라미터들 및/또는 설정들의 입력 (entry) 또는 프로그래밍을 가능하게 하는 사용자 인터페이스를 포함한다. 일부 예들에서, 시스템 제어기 (311) 는 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 내에서 기관 (307) 을 프로세싱하기 위한 설정들의 형태의 인스트럭션들을 수신한다. 설정들은 기관 (307) 상에서 수행될 프로세스의 타입 및 시스템 제어기 (311) 가 인터페이스하거나 제어하는 툴/디바이스/컴포넌트의 타입에 특정된다는 것이 이해되어야 한다. 일부 실시 예들에서, 시스템 제어기 (311) 는, 예컨대 기관 (307) 상에서 미리 정해진 프로세스를 수행하도록 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 을 동작시키는 것과 같이, 공동의 목적을 향해 작동하도록 함께 네트워킹되고 동기화되는 하나 이상의 개별 시스템 제어기(들) (311) 를 포함함으로써 분산된다. 이러한 목적들을 위한 분산형 시스템 제어기 (311) 의 일 예는 챔버의 프로세스를 제어하도록 조합되는 (예컨대 플랫폼 레벨에서 또는 원격 컴퓨터의 일부로서) 원격으로 위치한 하나 이상의 집적 회로들과 통신하는 챔버 상의 하나 이상의 집적 회로들을 포함한다. 또한, 플라즈마 프로세싱 시스템 (300) 에 의해 수행될 프로세스 동작에 따라, 시스템 제어기 (311) 는, 반도체 제작 공장 내의 툴 위치들 및/또는 로드 포트들로부터/로드 포트들로 기관들 (307) 의 컨테이너들을 이동시키는 재료 이송 시에 사용되는, 다른 툴 회로들 또는 모듈들, 다른 툴 컴포넌트들, 클러스터 툴들, 다른 툴 인터페이스들, 인접 툴들, 이웃하는 툴들, 공장 도처에 위치한 툴들, 분산형 툴들, 메인 컴퓨터, 또 다른 제어기, 또는 툴들 중 하나 이상과 같이, 반도체 제작 공장 전반에 걸쳐 다양한 엔티티들 (entities) 과 통신한다.

[0046]

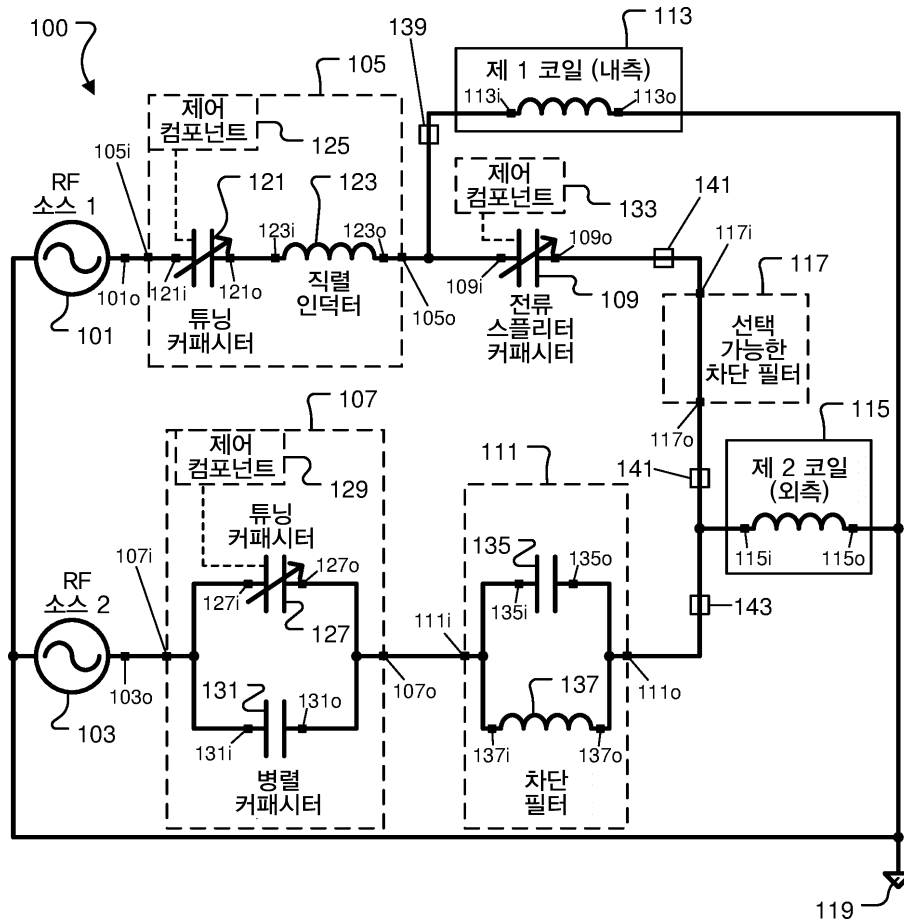
본 명세서에 기술된 다양한 실시 예들은 휴대형 하드웨어 유닛들, 마이크로프로세서 시스템들, 마이크로프로세서-기반 또는 프로그램 가능한 가전제품들, 미니컴퓨터들, 메인프레임 컴퓨터들 등을 포함하는 다양한 컴퓨터 시스템 구성들과 함께 실시될 수도 있다. 본 명세서에 기술된 다양한 실시 예들은 또한 컴퓨터 네트워크를 통해 링크된 원격 프로세싱 하드웨어 유닛들에 의해 태스크들이 수행되는 분산 컴퓨팅 환경들과 함께 실시될 수 있다. 본 명세서에 개시된 다양한 실시 예들은 컴퓨터 시스템들에 저장된 데이터를 수반하는 다양한 컴퓨터-구현된 동작들의 수행을 포함한다는 것이 또한 이해되어야 한다. 이들 컴퓨터-구현된 동작들은 물리량들을 조작하는 동작들이다. 다양한 실시 예들에서, 컴퓨터-구현된 동작들은 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터에 의해 수행된다. 일부 실시 예들에서, 컴퓨터-구현된 동작들은 선택적으로 활성화된 컴퓨터에 의해 수행되고, 그리고/또는 컴퓨터 메모리에 저장되거나 컴퓨터 네트워크를 통해 획득되는 하나 이상의 컴퓨터 프로그램들에 의해 지시된다. 컴퓨터 프로그램들 및/또는 디지털 데이터가 컴퓨터 네트워크를 통해 획득될 때, 디지털 데이터는 컴퓨터 네트워크 상의 다른 컴퓨터들, 예를 들어, 컴퓨팅 리소스들의 클라우드에 의해 프로세싱될 수도 있다. 컴퓨터 프로그램들 및 디지털 데이터는 비-일시적 (non-transitory) 컴퓨터-판독 가능 매체 상에 컴퓨터-판독 가능 코드로서 저장된다. 비-일시적 컴퓨터-판독 가능 매체는 데이터를 저장하는 임의의 데이터 저장 하드웨어 유닛, 예를 들어, 메모리 디바이스, 등이고, 그 후 컴퓨터 시스템에 의해 판독 가능하다. 비-일시적 컴퓨터-판독 가능 매체의 예들은 하드 드라이브들, NAS (network attached storage), ROM, RAM, CD-ROM들, CD-R들 (CD-recordables), CD-RW들 (CD-rewritables), DVD (digital video/versatile disc), 자기 테이프들, 및 다른 광학 및 비광학 데이터 저장 하드웨어 유닛들을 포함한다. 일부 실시 예들에서, 컴퓨터 프로그램들 및/또는 디지털 데이터는 컴퓨터 프로그램들 및/또는 디지털 데이터가 분산된 방식으로 실행되고 그리고/또는 저장되도록, 커플링된 컴퓨터 시스템들의 네트워크 내의 상이한 컴퓨터 시스템들에 위치한 복수의 컴퓨터-판독 가능 매체 사이에 분산된다.

[0047]

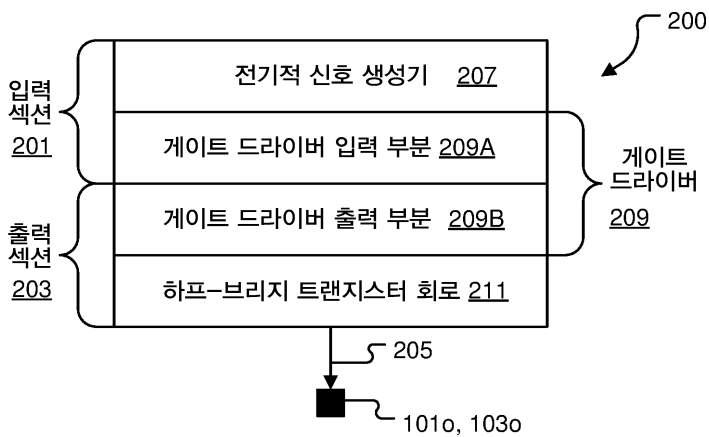
전술한 개시가 이해의 명확성의 목적들을 위해 일부 상세를 포함하지만, 특정한 변화들 및 수정들이 첨부된 청구항들의 범위 내에서 실시될 수 있다는 것이 자명할 것이다. 예를 들어, 본 명세서에 개시된 임의의 실시 예로부터의 하나 이상의 특징들은 본 명세서에 개시된 임의의 다른 실시 예의 하나 이상의 특징들과 결합될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 따라서, 본 실시 예들은 제한적이지 않고 예시적인 것으로 간주되어야 하고, 청구된 것은 본 명세서에 제공된 상세들로 제한되지 않고, 개시된 실시 예들의 범위 및 등가물 내에서 수정될 수도 있다.

도면

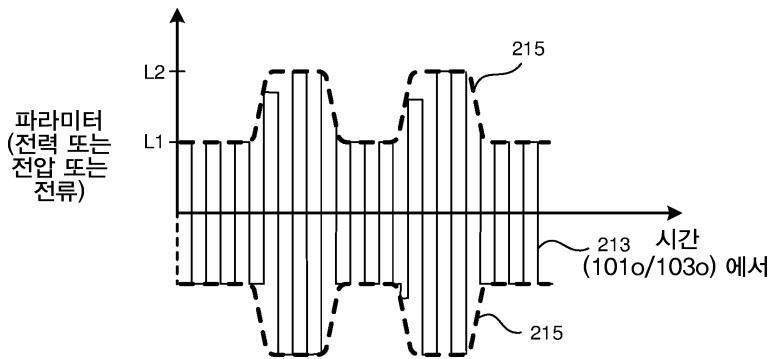
도면1



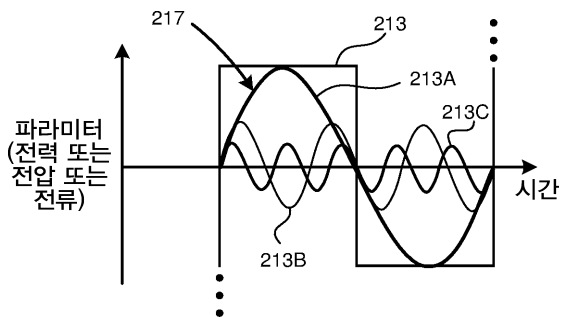
도면2a



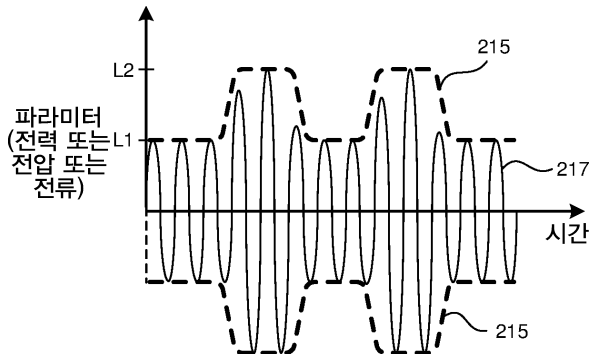
도면2b



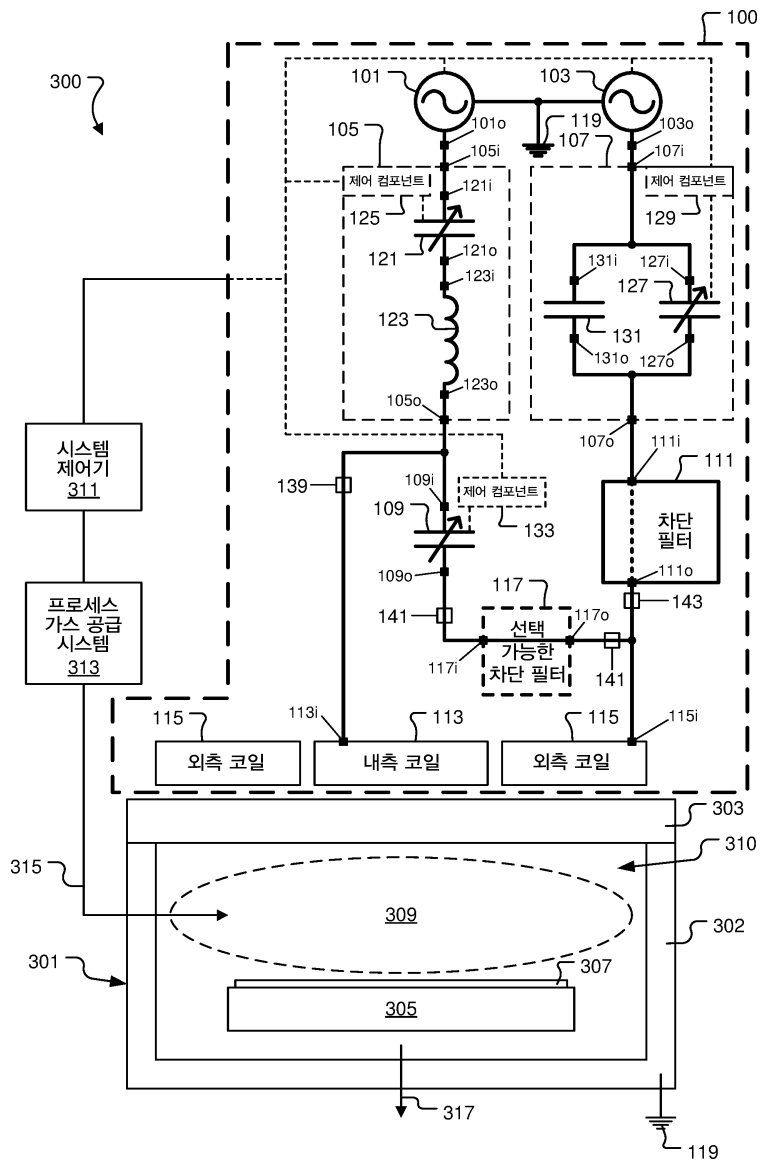
도면2c



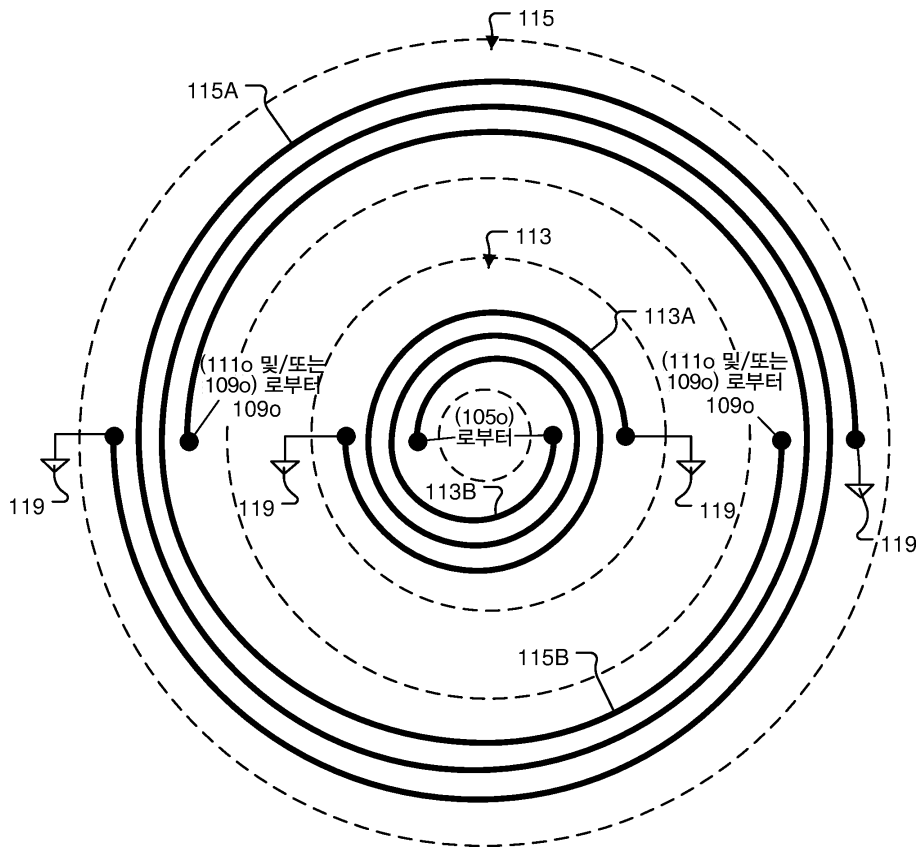
도면2d



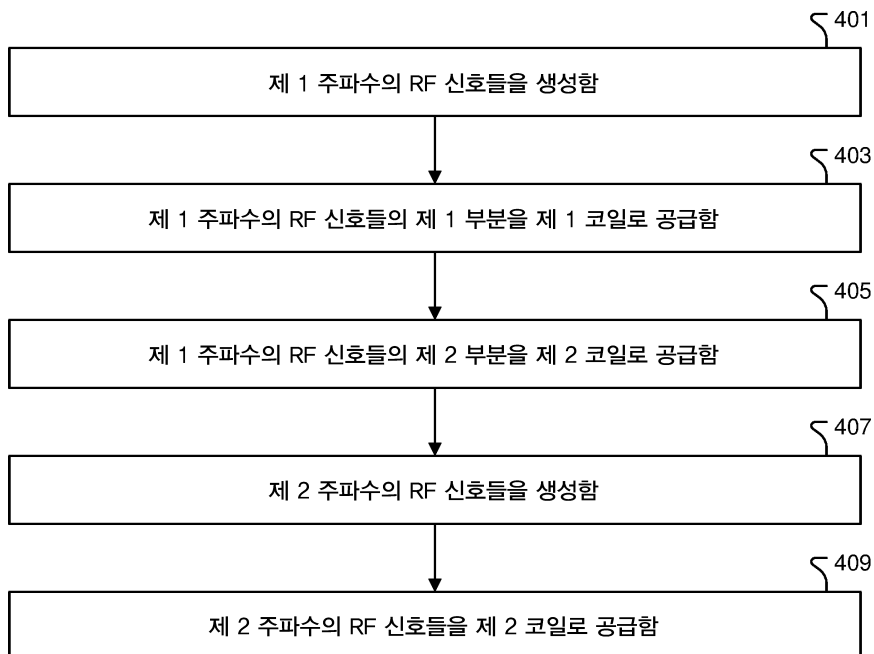
도면3a



도면3b



도면4



도면5

