



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월30일
(11) 등록번호 10-2724209
(24) 등록일자 2024년10월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/32146 (2013.01)
H01J 37/32128 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-7013556
(22) 출원일자(국제) 2018년09월21일
심사청구일자 2021년09월16일
(85) 번역문제출일자 2020년05월12일
(65) 공개번호 10-2020-0074961
(43) 공개일자 2020년06월25일
(86) 국제출원번호 PCT/US2018/052223
(87) 국제공개번호 WO 2019/099102
국제공개일자 2019년05월23일
(30) 우선권주장
62/587,418 2017년11월16일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP09092645 A*
JP2005527096 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
도쿄엘렉트론가부시키가이샤
일본 도쿄도 미나토구 아카사카 5초메 3반 1고
(72) 발명자
자오 지안펑
미국 텍사스주 78746 오스틴 그로브 블러바드 2400
벤트제 피터
미국 텍사스주 78746 오스틴 그로브 블러바드 2400
레인 바톤
미국 텍사스주 78746 오스틴 그로브 블러바드 2400
(74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 20 항

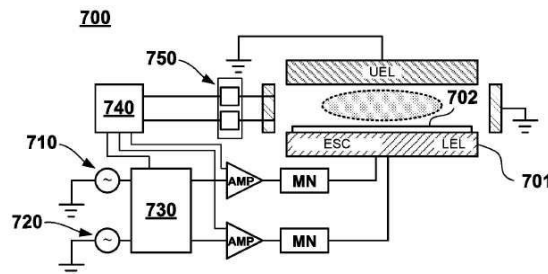
심사관 : 최동기

(54) 발명의 명칭 동기화된 신호 변조를 통한 플라즈마 공정 시스템

(57) 요약

기판을 처리하기 위해 플라즈마를 사용하기 위한 시스템 및 방법이 설명된다. 시스템은, 플라즈마 공정 시스템 내에 배치되고 기판을 지지하도록 구성되는 기판 홀더; 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제1 주파수의 제1 신호를 결합시키기 위한 제1 신호 발생기; 및 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제2 주파수의 제2 신호를 결합시키기 위한 제2 신호 발생기를 포함하며, 제2 주파수는 제1 주파수 미만이다. 시스템은, 진폭 변조 신호에 응답하여 고진폭 상태 내지 저진폭 상태로 제1 신호를 변조하기 위한 진폭 변조 회로; 및 제2 신호의 각각의 사이클 동안의 목표 위상과 제1 신호의 진폭 변조를 동기화시키는 진폭 변조 신호를 한정하도록 구성된 타이밍 회로를 더 포함한다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류
H01J 37/32715 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

기관을 처리하기 위해 플라즈마를 사용하기 위한 시스템에 있어서,

플라즈마 공정 시스템 내에 배치되고, 기관을 지지하도록 구성된 기관 홀더;

상기 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제1 주파수의 제1 신호를 결합시키기 위한 제1 신호 발생기 - 상기 플라즈마는 플라즈마 시스(sheath)를 포함함 -;

상기 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제2 주파수의 제2 신호를 결합시키기 위한 제2 신호 발생기 - 상기 제2 주파수는 상기 제1 주파수 미만이고, 상기 제2 신호는 상기 제2 주파수를 갖는 저주파(low frequency; LF) 정현파 파형임 -;

상기 플라즈마 시스의 팽창 동안 상기 LF 정현파 파형의 대응하는 음의 사이클과 각각 동기화된 일련의 펄스들을 포함시킴으로써 진폭 변조 신호를 한정하도록 구성된 타이밍 회로 - 상기 일련의 펄스들 각각의 펄스 폭은 상기 LF 정현파 파형의 상기 제2 주파수의 주기의 절반 미만인 지속 시간을 포함함 -; 및

상기 진폭 변조 신호에 응답하여 상기 제1 신호를 고진폭 상태 내지 저진폭 상태로 변조하기 위한 진폭 변조 회로 - 상기 제1 신호는 상기 LF 정현파 파형의 음의 사이클 동안 상기 고진폭 상태에 있음 -

를 포함하는, 기관을 처리하기 위해 플라즈마를 사용하기 위한 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 주파수는 50 MHz를 초과하며, 상기 제2 주파수는 5 MHz 미만인, 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 고진폭 상태는 파워-온 상태이며, 상기 저진폭 상태는 파워-오프 상태인, 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 진폭 변조 신호는 주기적이거나 비주기적인, 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 진폭 변조 신호는, 상기 일련의 펄스들의 상기 펄스 폭, 상기 일련의 펄스들의 펄스 진폭, 상기 진폭 변조 신호의 펄스 듀티 사이클, 및 상기 진폭 변조 신호의 펄스 파형 형상, 중 적어도 하나에서의 변동을 포함하는, 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 플라즈마 공정 시스템에 결합되고, 상기 기관에 걸친 플라즈마 특성의 공간 및 시간 분포와 관련된 데이터를 측정하도록 구성된 원위치 진단 장치(in-situ diagnostic)를 더 포함하는, 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 신호 및 상기 제2 신호는 상기 기관 홀더에 결합되는, 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1 신호는 상기 기관 홀더에 대향하는 전극에 결합되며, 상기 제2 신호는 상기 기관 홀더에 결합되는, 시스템.

청구항 9

플라즈마 공정을 위한 방법에 있어서,

플라즈마 공정 시스템 내에 배치된 기관 홀더 상에 기관을 배치하는 단계;

제1 주파수의 제1 신호 발생기를 사용하여, 상기 플라즈마 공정 시스템에서 형성된 플라즈마에 제1 신호를 인가하는 단계 - 상기 플라즈마는 플라즈마 시스를 포함함 -;

제2 주파수의 제2 신호 발생기를 사용하여, 상기 플라즈마 공정 시스템에서 형성된 플라즈마에 제2 신호를 인가하는 단계 - 상기 제2 주파수는 상기 제1 주파수 미만이고, 상기 제2 신호는 상기 제2 주파수를 갖는 저주파(LF) 정현파 파형임 -; 및

상기 플라즈마 시스의 팽창 동안 상기 LF 정현파 파형의 대응하는 음의 사이클과 각각 동기화되고, 상기 LF 정현파 파형의 상기 제2 주파수의 주기의 절반 미만인 지속 시간을 포함하는 펄스 폭을 각각 갖는 일련의 펄스들을 포함하는 진폭 변조 신호를 사용하여 상기 제1 신호를 변조함으로써 상기 플라즈마의 목표 공간 분포를 달성하기 위해 상기 제1 신호를 상기 플라즈마에 결합시키는 지속 시간을 제어하는 단계

를 포함하는, 플라즈마 공정을 위한 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제어하는 단계는, 상기 제2 신호의 대응하는 사이클의 대응하는 목표 위상과 상기 제1 신호의 변조를 동기화시키도록 구성된 타이밍 회로를 사용하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 플라즈마의 상태를 감지하는 단계; 및

상기 감지된 플라즈마 상태에 따라 상기 신호 변조를 변경하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 12

기관을 처리하기 위해 플라즈마를 사용하기 위한 시스템에 있어서,

플라즈마 공정 시스템 내에 배치되고, 기관을 지지하도록 구성된 기관 홀더;

상기 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제1 주파수의 제1 신호를 결합시키기 위한 제1 신호 발생기 - 상기 플라즈마는 플라즈마 시스를 포함함 -;

상기 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제2 주파수의 제2 신호를 결합시키기 위한 제2 신호 발생기 - 상기 제2 주파수는 상기 제1 주파수 미만이고, 상기 제2 신호는 상기 제2 주파수를 갖는 저주파(LF) 정현파 파형임 -;

상기 플라즈마 시스의 팽창 동안 상기 LF 정현파 파형의 대응하는 음의 사이클과 각각 동기화된 일련의 펄스들을 포함함으로써 진폭 변조 신호를 한정하도록 구성된 타이밍 회로 - 상기 일련의 펄스들 각각의 펄스 폭은 상기 LF 정현파 파형의 상기 제2 주파수의 주기의 절반 미만인 지속 시간을 포함함 -;

상기 진폭 변조 신호에 응답하여 상기 제1 신호를 고진폭 상태 내지 저진폭 상태로 변조하기 위한 진폭 변조 회

로 - 상기 제1 신호는 상기 LF 정현파 파형의 음의 사이클 동안 상기 고진폭 상태에 있음 -; 및

상기 기관에 걸친 플라즈마 특성의 공간 및 시간 분포에 관한 데이터를 수신하고, 목표 공간 분포를 달성하기 위해 상기 진폭 변조 신호를 조정하도록 상기 타이밍 회로에 명령하도록 구성된 제어기

를 포함하는, 기관을 처리하기 위해 플라즈마를 사용하기 위한 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 제1 주파수는 50 MHz를 초과하며, 상기 제2 주파수는 5 MHz 미만인, 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 진폭 변조 신호는, 상기 일련의 펄스들의 상기 펄스 폭, 상기 일련의 펄스들의 펄스 진폭, 상기 진폭 변조 신호의 펄스 듀티 사이클, 및 상기 진폭 변조 신호의 펄스 파형 형상, 중 적어도 하나에서의 변동을 포함하는, 시스템.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 플라즈마 공정 시스템에 결합되고, 상기 플라즈마 특성의 공간 및 시간 분포와 관련된 데이터를 측정하도록 구성된 원위치 진단 장치를 더 포함하는, 시스템.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 진폭 변조 신호는 주기적인, 시스템.

청구항 17

제12항에 있어서,

상기 진폭 변조 신호는 비주기적인, 시스템.

청구항 18

제9항에 있어서,

상기 제어하는 단계는, 상기 기관에 걸친 플라즈마 특성의 공간 및 시간 분포와 관련된 데이터를 측정하도록 상기 플라즈마 공정 시스템에 결합된 원위치 진단 장치를 사용하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 19

제9항에 있어서,

상기 진폭 변조 신호는 주기적인, 방법.

청구항 20

제9항에 있어서,

상기 진폭 변조 신호는 비주기적인, 방법.

발명의 설명

기술 분야

관련 출원들에 대한 상호 참조

[0001]

[0002] 본 출원은 2017년 11월 16일자로 출원된 "동기화된 신호 변조를 통한 플라즈마 공정 시스템"이라는 명칭의 미국 가출원 번호 제62/587,418호에 대한 우선권을 주장하며, 그 전체 내용은 본원에 참조로 포함된다.

[0003] 본 발명은 플라즈마 공정을 위한 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는, 전자 소자에 적용하기 위한 박막을 에칭 또는 증착하기 위한 플라즈마 공정 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 플라즈마 공정은 소재(workpiece)에 재료를 증착하거나 소재로부터 재료를 에칭하는 것을 지원함으로써, 반도체 집적 회로를 제조하기 위해 사용되는 표준 기술이다. 에칭 및 증착을 모두 적용하기 위한 반응기 설계에서, 중요한 요건은 수율 요건을 충족시키기 위해, 에칭 속도, 증착 속도 등과 같은 허용 가능 계측값, 및 이의 공간 균일성을 달성하는 것이다. 플라즈마 밀도가 중심으로부터 에지에 이르기까지 기판에 걸쳐서 균일하다고 알려진 경우, 공간 균일성을 달성하기가 더 용이하다. 반도체 공정에서 플라즈마를 생성하기 위한 표준 RF 주파수였던 13.56 MHz와 대조적으로, VHF(초단파) 범위(30 내지 300 MHz)의 RF(무선 주파수) 주파수로 생성된 플라즈마를 사용하는 것이 많은 상황에서 바람직하다.

[0005] 더 높은 주파수의 몇 가지 장점은 더 높은 플라즈마 밀도를 달성하기 위한 플라즈마 생성 효율을 포함한다. 플라즈마 시스(sheath)의 RF 전압도 더 작으므로, 스퍼터링 및 손상이 고려 사항인 기판 및 챔버 벽의 더 적은 충격 및 더 낮은 이온 에너지를 유발한다. 이러한 장점은 차세대 에칭 요건에 특히 유용하다.

[0006] 고밀도 플라즈마는 특히 증착 적용 시에 1차 분자를 해리시키기 위해 사용된다. 그러나, VHF에 의해 생성된 플라즈마는 대체로 불균일한 방사상 분포를 갖는 것으로 실험적으로 밝혀졌다. 100 MHz 플라즈마의 경우, 이는 플라즈마 밀도에서의 급격한 중심 피크와 함께 매우 현저해질 수 있다. 또한, 흔히 공정에서 고주파와 저주파 RF의 혼합이 필요한 것이 사실이다. 저주파 RF 전력은 더 높은 이온 에너지를 제공한다. 고주파 RF 전력에 저주파 RF 전력을 추가하면, 적용예마다 다르면서 예상치 못한 방식으로 플라즈마 밀도 분포가 변경된다는 것이 밝혀졌다.

발명의 내용

[0007] 본원의 기술은 플라즈마 공정 기술을 사용하는 소자 제조에 관한 것이다.

[0008] 일 실시형태에서, 기판을 처리하기 위해 플라즈마를 사용하기 위한 시스템이 설명된다. 시스템은, 플라즈마 공정 시스템 내에 배치되고 기판을 지지하도록 구성되는 기판 홀더; 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제1 주파수의 제1 신호를 결합시키기 위한 제1 신호 발생기; 및 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제2 주파수의 제2 신호를 결합시키기 위한 제2 신호 발생기를 포함하며, 제2 주파수는 제1 주파수 미만이다. 시스템은, 진폭 변조 신호에 응답하여 고진폭(high amplitude) 상태 내지 저진폭(low amplitude) 상태로 제1 신호를 변조하기 위한 진폭 변조 회로; 및 제2 신호의 각각의 사이클 동안의 목표 위상과 제1 신호의 진폭 변조를 동기화시키는 진폭 변조 신호를 한정하도록 구성된 타이밍 회로를 더 포함한다.

[0009] 다른 실시형태에서, 기판을 처리하기 위해 플라즈마를 사용하기 위한 방법이 설명된다. 방법은, 플라즈마 공정 시스템 내에 배치된 기판 홀더 상에 기판을 배치하는 단계; 제1 주파수의 제1 신호 발생기를 사용하여, 플라즈마 공정 시스템에 형성된 플라즈마에 제1 신호를 인가하는 단계; 제2 주파수의 제2 신호 발생기를 사용하여, 플라즈마 공정 시스템에 형성된 플라즈마에 제2 신호를 인가하는 단계로서, 제2 주파수는 제1 주파수 미만인, 단계; 진폭 변조 신호에 응답하여 고진폭 상태 내지 저진폭 상태로 제1 신호를 변조하는 진폭 변조 회로를 사용하는 단계; 및 플라즈마의 목표 공간 분포를 달성하기 위해, 제2 신호와 대비한 제1 신호를 플라즈마에 최적 결합시키는 지속 시간(duration)을 제어하는 단계를 포함한다.

[0010] 또 다른 실시형태에서, 기판을 처리하기 위해 플라즈마를 사용하기 위한 시스템이 설명된다. 시스템은, 플라즈마 공정 시스템 내에 배치되고 기판을 지지하도록 구성되는 기판 홀더; 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제1 주파수의 제1 신호를 결합시키기 위한 제1 신호 발생기; 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제2 주파수의 제2 신호를 결합시키기 위한 제2 신호 발생기로서, 제2 주파수는 제1 주파수 미만인, 제2 신호 발생기; 및 제2 신호 발생기에 결합된 파형 발생기를 포함하며, 파형 발생기는 제2 신호의 파형 및 이의 듀티 사이클을 조정하고, 제2 신호와 대비한 제1 신호를 플라즈마에 최적 결합시키기 위한 지속 시간을 제어하도록 구성된다.

[0011] 물론, 명확성을 위해 본원에서 설명된 바와 같은 상이한 단계들의 설명의 순서가 제시되었다. 일반적으로, 이러한 단계들은 임의의 적합한 순서로 수행될 수 있다. 추가적으로, 본원의 각각의 상이한 특징, 기술, 구성 등이

본 개시물의 상이한 곳에서 설명될 수 있지만, 각각의 개념은 서로 독립적으로 또는 서로 조합하여 수행될 수 있는 것으로 의도된다. 따라서, 본 발명은 많은 상이한 방식으로 구현 및 고려될 수 있다.

[0012] 이러한 요약 부분은 본 개시물 또는 청구된 발명의 모든 실시형태 및/또는 점진적으로 새로운 양태를 명시하지 않는다는 점을 유의한다. 대신에, 이러한 요약은 통상적인 기술에 비해 상이한 실시형태 및 해당 신규성 요소에 대한 예비적인 설명만을 제공한다. 본 발명 및 실시형태의 추가적인 세부 사항 및/또는 가능한 관점에 대하여, 독자는 아래에 추가로 설명되는 바와 같은 본 개시물의 상세한 설명 부분 및 해당 도면을 참조한다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 일 실시형태에 따른 플라즈마 상태의 개략도를 도시한다;
 도 2a 및 도 2b는 일 실시형태에 따른 플라즈마 상태를 지원하는 예시적인 측정 데이터를 제공한다;
 도 3a 및 도 3b는 일 실시형태에 따른 플라즈마 상태를 지원하는 추가적인 예시적인 측정 데이터를 제공한다;
 도 4a 및 도 4b는 일 실시형태에 따른 플라즈마 상태를 지원하는 또 다른 추가적인 예시적인 측정 데이터를 제공한다;
 도 5a 및 도 5b는 일 실시형태에 따른 플라즈마 공정을 위한 방법을 도시한다;
 도 6a 및 도 6b는 일 실시형태에 따른 플라즈마 공정을 위한 방법을 도시한다;
 도 7은 일 실시형태에 따른 플라즈마 공정을 위한 시스템의 개략도를 제공한다;
 도 8은 일 실시형태에 따른 플라즈마 공정의 방법을 도시하는 흐름도를 제공한다; 그리고
 도 9a 내지 도 9d는 다양한 실시형태에 따라 예칭 또는 증착 방법을 수행하기 위한 플라즈마 공정 시스템의 개략도를 제공한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 본원의 기술은 플라즈마 공정 시스템 및 방법을 사용하는 소자 제조에 관한 것이다. 프론트 엔드 오브 라인(FEOL, 예를 들어, 트랜지스터 제조)에서 백 엔드 오브 라인(BEOL, 예를 들어, 배선 제조)에 이르기까지 모두 반도체 제조 시에, 소자 수율을 위해 균일한 공정이 중요한 여러 사례가 있다. 밀도 분포를 제어하기 위해 사용될 수 있는 측정된 신호를 사용하기 위한 시스템 및 방법뿐만 아니라, 플라즈마 특성의 공간 분포를 포함하는 플라즈마 상태를 변경하기 위한 시스템 및 방법이 본원에서 설명된다.

[0015] 일 예로서, 약 60 MHz 이상의 주파수에서, 플라즈마 반응기 내의 RF(무선 주파수) 시스템에 의해 방출되는 전자기파 전파(propagation)의 파장은 챔버 크기와 비슷해지며, 전자기 효과가 중요해진다. 전기장은 저주파 정전기장으로부터 전파되는 파 및 정상파로 변한다. 예를 들어, 전력, 압력, 가스 화학제 등의 공정 조건, 및 측정되는 플라즈마 특성에 따라, 플라즈마 특성 분포, 및 결과적인 예칭 또는 증착 속도는 기판 또는 소재에 걸쳐서 변동될 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 예칭(또는 증착) 속도(E/R)는 상황에 따라, '중심이 높은' 분포(101), 또는 '예치가 높은' 분포(102)를 가질 수 있다. 또한, 미리 결정된 사양 내에서, 즉 허용 가능 또는 목표 공간 변동도 내에서, 균일한 조건 또는 공간 균일성을 달성하는 것이 바람직할 수 있다.

[0016] 예를 들어, 100 MHz의 VHF 주파수에서의 파동과 유사한 특성은, 도 1에 도시된 불균일한 플라즈마 상태, 또는 균일한 플라즈마 상태(도시되지 않음)와 같은 상이한 플라즈마 상태에 대해, 예를 들어, dB/dt(여기서 B는 자기장을 나타내고, t는 시간임)를 측정하기 위한 자기장 프로브를 사용하여 평가되었다. 도 2a 및 도 2b에 도시된 바와 같이, 자기장 프로브 측정은 기판에 걸친 공간 위치(x)에 따라 수행된다. 도 2a는 다수의 제로 교차점(210, 211, 212)을 갖는 불균일한 플라즈마 상태(201)와 상관되는 자기장(B-field)의 시간 변화율의 예시적인 공간 측정치를 제공한다. 대조적으로, 도 2b는 단일 제로 교차점(220)을 갖는 균일한 플라즈마 상태(202)와 상관되는 자기장의 시간 변화율의 예시적인 공간 측정치를 제공한다. 또한, 도 3은 시간(t)에 따른 예시적인 자기장 프로브 측정치를 제공한다. dB/dt의 시간 트레이스(trace)(301 및 302)는 트레이스의 양의 위상에서 신호 피크의 변동을 나타내는 시간 트레이스(301)를 제외하고는, 실질적으로 정현파 곡선이다. 이러한 거동은 도 2a의 분포(201)의 공간 특성을 나타내는 반면에, 트레이스(302)의 거동은 도 2b의 분포(202)의 공간 특성을 나타낸다.

[0017] 본 발명자들은 플라즈마 시스 역학 및 표면과 생성과 연관되는 방식으로, 여러 파라미터 중에서도 특히 압력 및

플라즈마 밀도(예를 들어, 결합된 전력)에 따라, 비선형 거동이 나타나는 것이 조정된다고 추정한다. 더욱이, 플라즈마 중심 근처의 비선형 현상은 10 ns의 파 주기보다 상당히 더 짧은 나노초의 시간 척도로 과도 거동(transient behavior)을 유발할 수 있다. 이러한 과도 거동은 100 MHz 위상의 작은 부분 내에서 집중될 수 있으며, 이의 발생은 밀도 분포의 피킹(peaking)과 상관될 수 있다. 본 발명자들은 예를 들어, 비교적 저주파 및 비교적 고주파로 플라즈마를 구동하는 2개의 주파수와 같은, 다중 주파수 시스템을 통해 유사한 실험을 수행하였다. 급격한 비선형 과도 현상은 저주파 발진의 특정 위상 동안에만 발생하는 것으로 밝혀졌다. 별개로, 100 MHz가 저주파 RF의 특정 위상으로 진폭 변조된 경우, 100 MHz가 저주파 RF의 특정 위상에서 최대값을 갖는 포락선(envelope)을 가지면 그 밀도가 강하게 변경될 수 있음이 밝혀졌다.

[0018] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 데이터 세트(401 및 402)에 대한 시간 트레이스(a 내지 d)는, 도 7에 도시된 시스템과 유사한 다중 주파수 플라즈마 공정 시스템을 통해 수집된 데이터에 대해 표시된다. 다중 주파수 시스템은, 제1 주파수의 제1 신호, 예를 들어 100 MHz(VHF 전력)의 제1 신호를 결합시키기 위한 제1 신호 발생기, 및 제2 주파수의 제2 신호, 예를 들어 3.2 MHz(LF 전력)의 제2 신호를 결합시키기 위한 제2 신호 발생기를 작동시킨다. 각각의 데이터 세트(401 및 402)는, 하나의 LF 주기 동안의 LF 시간 트레이스(LF1 및 LF2), 및 하나의 LF 주기 동안의VHF 성분에 대한 4개의 VHF 시간 트레이스('a' 내지 'd')를 포함한다. 도 4a에 도시된 바와 같이, 데이터 세트(401)는, 비교적 높은 전자 밀도(예를 들어, 높은 VHF 전력)에 부분적으로 기인하여, LF 전력의 변동(즉, 90 W 내지 400 W)에 대해 트레이스('a' 내지 'd')에서 약한 VHF 변조를 나타낸다. 그러나, 도 4b에 도시된 바와 같이, 데이터 세트(402)는, 비교적 높은 압력 및 낮은 전자 밀도에 부분적으로 기인하여, LF 전력의 변동(즉, 90 W 내지 400 W)에 대해 트레이스('a' 내지 'd')에서 강한 VHF 변조를 나타낸다.

[0019] 본 발명자들은 저주파 RF(LF)가 저주파 시간 척도로 플라즈마의 형상을 변화시키고, 플라즈마 형상이 변화함에 따라, 100 MHz 전자기파의 전파가 영향을 받는다는 것을 관찰하였다. 100 MHz 파동 전파가 이온화를 촉진시키기 때문에, 저주파 신호의 특정 위상 또는 위상 범위에서 100 MHz 파동 전파의 포락선을 최대화함으로써, 밀도 분포의 변화가 유발된다. 이러한 통찰의 결과로서, 공정 플라즈마의 공간 분포를 포함하는 플라즈마 특성을 변경하기 위한 시스템 및 방법이 제안된다. 본 발명자들은 저주파 RF의 효과로 인해, 플라즈마에서 전자를 이동시킴으로써, 반응기의 다양한 벽과 플라즈마 사이의 시스가 팽창 또는 수축된다고 추정한다. 물론 이러한 팽창 또는 수축은 저주파 RF 주파수(LF)에 따라 주기적이다. 고주파 RF(VHF)의 전파 및 파동 구조는 시스의 특성에 따라 좌우되며, 특정 시스 구성 동안, 다른 시스 구성을 통해 달성된 밀도 분포와 상이한 밀도 분포를 생성하기 위한 비선형 상호 작용을 통해, 고주파 신호가 플라즈마에 보다 효율적으로 결합된다.

[0020] 일 실시형태에 따라, 제1 신호, 예를 들어 고주파 RF(VHF)는 제2 신호, 예를 들어 저주파 RF(LF)의 목표 위상 동안 결합될 수 있다. 예를 들어, 고주파 RF의 인가는 특정 시스 구성에 국한된다. 도 5a에 도시된 바와 같이, 제1 주파수(예를 들어, VHF)의 제1 신호(501), 및 제2 주파수(예를 들어, LF)의 제2 신호(502)가 플라즈마에 결합되며, 플라즈마 시스 팽창 동안 VHF 진폭은 증가된다. 제2 신호(502), 즉 저주파 파형은 단일 정현파 파형으로 구성될 수 있고, 제1 신호(501), 즉 고주파 파형은 진폭 변조되어 제2 신호(502)의 특정 위상에 국한되는 정현파 파형으로 구성될 수 있다. 다른 실시형태에서, 제2 신호(502)는 비-정현파이다. 예를 들어, 특정한 순시 저주파 RF 전압에서, 시스 구성은 균일한 고주파 파동 전파를 위해 최적일 수 있다. 저주파 파형은, 이러한 특정 RF 전압이 저주파 RF 사이클의 더 긴 부분 동안 발생하도록 형상화될 수 있다. 이 경우, 고주파 RF 포락선의 최고점은 지속 시간에 따라 팽창되어 최적의 저주파 사이클의 부분을 차지할 수 있게 될 수 있다.

[0021] 다양한 실시형태에 따라, 제1 신호(501)의 진폭은 진폭 변조 신호(510)에 따라 변조된다. 진폭 변조 신호(510)는 진폭(511), 및 파형 형상(512)에 의해 특성화될 수 있으며, 이들 중 어느 하나는 시간에 따라 변동될 수 있거나 변동되지 않을 수 있다. 도 5a는 구형파를 도시하지만, 파형 형상은 정현파, 톱니형, 또는 어떠한 임의적인 형상을 포함할 수 있다. 진폭 변조 신호(510)는 제2 신호와 대비한, 펄스 폭(513), 목표 위상(514) 및 위상 오프셋(515)에 의해 추가로 특성화될 수 있으며, 이들 중 어느 하나는 시간에 따라 변동될 수 있거나 변동되지 않을 수 있다. 예를 들어, 목표 위상과 관련하여, 제1 신호(501)의 진폭 변조는 플라즈마 시스의 팽창 동안, 제2 신호(502)의 음의 사이클(즉, 도 5a의 $3\pi/2$)과 동기화될 수 있다. 진폭 변조의 개시는, 위상 오프셋(515)에 의해 규정되는 바와 같은 목표 위상(514)보다 먼저 이루어질 수 있다. 진폭 변조는 펄스 폭(513)과 함께, 목표 위상(514)을 획득할 수 있으며, 제2 신호(502)의 위상의 일부분을 차지할 수 있다.

[0022] 대안적인 실시형태에서, 저주파 RF(LF) 파형은 특정 시스 구성에 맞추고, 고주파 RF(VHF)의 효율적인 결합을 위한 지속 시간을 한정하도록 설계될 수 있다. 이러한 실시형태에서, 저주파 RF의 듀티 사이클이 조정된다. 예를 들어, 도 6a에 도시된 바와 같이, 제1 주파수(예를 들어, VHF)의 제1 신호(601), 및 제2 주파수(예를 들어, LF)의 제2 신호(602)가 플라즈마에 결합되고, 제2 신호(602)의 듀티 사이클은 플라즈마 시스 팽창을 위한 지속

시간, 및 이에 따른 VHF 결합 효율을 증가 또는 감소시키도록 조정된다. 듀티 사이클(%)은 펄스 폭(610) 대 신호 주기(615)의 비와 동일하다. 도 6a는 50% 미만의 듀티 사이클을 도시한다. 도 6b는 50% 초과인 듀티 사이클을 도시한다.

[0023] 또한, 본 발명자들에 의해 결정된 바와 같은, 근본적인 물리적 과정에 대한 이해는 플라즈마 특성을 변경하기 위한 효과를 모니터링 및 제어하기 위한 시스템 및 방법을 제공한다. 위에서 설명된 바와 같이, 재현성은 반도체 장비를 통한 공정 및 하드웨어의 과제일 수 있다. 장비 드리프트 및 매칭은 재현성 과제의 예이다. 재현 가능한 결과를 제공하기 위해서는, 장비 하드웨어 및 공정을 제어하도록 모니터링 및 활용될 수 있는 신호를 얻는 것이 중요하다. 도 2, 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 플라즈마 내에서, 예를 들어 플라즈마 에지에서, 고주파 파도 거동이 검출될 수 있으며, 저주파 파형과의 진폭 및 위상 관계는 제어 진단법(diagnostic)으로서 사용될 수 있다. 그 다음, 제어 진단법은 고주파 포락선을 일정하게 유지하면서 저주파 파형의 형상을 변경하거나, 저주파 파형을 일정하게 유지하면서 고주파의 포락선을 변경하거나, 둘 모두를 동시에 변경하기 위해 사용될 수 있다.

[0024] 본 발명자들은, 저주파 신호 성분의 고전압 상태와 대비한 저주파 신호 성분(예를 들어, LF)의 저전압 상태 동안, 고주파 신호 성분(예를 들어, VHF)을 결합시키기 위한 상대 지속 시간을 조정함으로써, 중심-에지 공간 플라즈마 분포(예를 들어, 플라즈마 밀도, 이온, 또는 전자, 또는 이들 모두)를 포함하는 플라즈마 상태를 조정할 수 있음을 알아냈다. 예를 들어, 저전압 상태 동안(즉, 플라즈마 시스 팽창 동안) 고주파 신호 성분을 결합시키기 위한 상대 지속 시간을 증가시킴으로써, 에지에서의 플라즈마 밀도가 증가되고, 중심에서의 플라즈마 밀도는 감소된다. 추가적으로, 예를 들어, 저주파 신호 성분에 대한 저전압 상태 동안의 지속 시간을 적어도 부분적으로 포함하거나, 그 지속 시간에서, 또는 그 지속 시간 근처에서, 고주파 신호 성분의 펄스 또는 변조를 동기화함으로써, 중심에서의 플라즈마 밀도에 비해 에지에서의 플라즈마 밀도의 증가, 및/또는 유사하게, 에지에서의 플라즈마 밀도에 비해 중심에서의 플라즈마 밀도의 감소를 촉진시킨다. 대안적으로, 저전압 상태 동안(즉, 플라즈마 시스 팽창 동안) 고주파 신호 성분을 결합시키기 위한 상대 지속 시간을 감소시킴으로써, 중심에서의 플라즈마 밀도가 증가된다. 추가적으로, 예를 들어, 저주파 신호 성분에 대한 고전압 상태 동안의 지속 시간을 적어도 부분적으로 포함하거나, 그 지속 시간에서, 또는 그 지속 시간 근처에서, 고주파 신호 성분의 펄스 또는 변조를 동기화함으로써, 중심에서의 플라즈마 밀도에 비해 에지에서의 플라즈마 밀도의 감소, 및/또는 유사하게, 에지에서의 플라즈마 밀도에 비해 중심에서의 플라즈마 밀도의 증가를 촉진시킨다. 본원에서 설명된 바와 같은 신호 변조를 통해, 본 발명자들은 플라즈마 특성의 공간 분포의 변조를 포함하는, 플라즈마 특성을 변조하기 위한 시스템 및 방법을 구축하였다.

[0025] 다양한 실시형태에 따라, 도 7은 플라즈마 공정을 위한 시스템(700)의 개략도를 제공한다. 시스템(700)은 그 내부에 배치되어 기판(702)을 지지하도록 구성되는 기판 홀더(701)를 포함한다. 시스템(700)은, 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제1 주파수의 제1 신호를 결합시키기 위한 제1 신호 발생기(710), 및 플라즈마 공정 시스템에서 플라즈마에 제2 주파수의 제2 신호를 결합시키기 위한 제2 신호 발생기(720)를 더 포함하며, 제2 주파수는 제1 주파수 미만이다. 일 실시형태에서, 제1 주파수는 10 MHz를 초과하고, 제2 주파수는 15 MHz 미만이다. 대안적으로, 제1 주파수는 50 MHz를 초과하고, 제2 주파수는 15 MHz 미만이다. 대안적으로, 제1 주파수는 50 내지 150 MHz 범위이고, 제2 주파수는 1 MHz 내지 15 MHz 범위이다. 대안적으로, 제1 주파수는 50 MHz를 초과하고, 제2 주파수는 5 MHz 미만이다. 대안적으로, 제1 주파수는 50 내지 150 MHz 범위이고, 제2 주파수는 1 MHz 내지 5 MHz 범위이다. 또한, 대안적으로, 제1 주파수는 50 내지 150 MHz 범위이고, 제2 주파수는 0.1 MHz 내지 5 MHz 범위이다.

[0026] 신호 변조 제어기(730)는 제1 신호 발생기(710) 및 제2 신호 발생기(720)에 결합되며, 플라즈마의 목표 공간 분포를 달성하기 위해 제1 신호를 플라즈마에 최적 결합시키는 지속 시간을 제어하도록 구성된다. 일 실시형태에 따라, 신호 변조 제어기(730)는, 진폭 변조 신호에 응답하여 고진폭 상태 내지 저진폭 상태로 제1 신호를 변조하기 위한 진폭 변조 회로, 및 제2 신호의 각각의 사이클 동안의 목표 위상과 제1 신호의 진폭 변조를 동기화시키는 진폭 변조 신호를 한정하도록 구성된 타이밍 회로를 포함한다. 일 실시예로서, 고진폭 상태는 파워-온(power-on) 상태일 수 있고, 저진폭 상태는 파워-오프(power-off) 상태일 수 있다.

[0027] 도 5a에 도시된 바와 같이, 타이밍 회로는 제2 신호의 목표 위상과 동기화된 진폭 변조 신호를 한정하며, 진폭 변조 신호는 펄스 폭, 펄스 진폭, 펄스 오프셋, 펄스 듀티 사이클, 및 펄스 파형 형상을 포함한다. 진폭 변조 신호는 주기적일 수 있거나, 비주기적일 수 있다(예를 들어, 도 5b 참조). 또한, 도 5a 및 도 5b에 도시된 바와 같이, 진폭 변조 신호는 펄스 폭, 펄스 진폭, 펄스 듀티 사이클, 및 펄스 파형 형상 중 적어도 하나에서의 변동

을 포함한다.

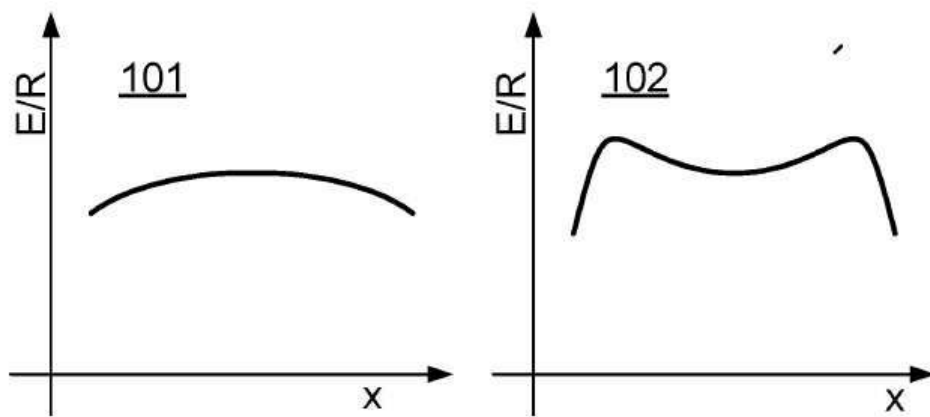
- [0028] 다른 실시형태에 따라, 신호 변조 제어기(730)는 제2 신호 발생기(720)에 결합된 파형 발생기를 포함하며, 파형 발생기는 제2 신호의 파형 및 이의 듀티 사이클을 조정하고, 제1 신호를 플라즈마에 최적 결합시키기 위한 지속 시간을 제어하도록 구성된다. 도 6a에 도시된 바와 같이, 파형 발생기는 파형의 듀티 사이클을 50% 미만의 값(도 6a)으로부터 50% 초과 값(도 6b)으로 변경할 수 있다. 예를 들어, 도 6a에 도시된 조건의 경우, 고주파 신호 성분의 인가 동안 저주파 신호 성분의 듀티 사이클을 감소시킴으로써, 중심에서의 플라즈마 밀도에 비해 에지에서의 플라즈마 밀도의 증가, 및/또는 유사하게, 에지에서의 플라즈마 밀도에 비해 중심에서의 플라즈마 밀도의 감소를 촉진시킨다. 예를 들어, 도 6b에 도시된 조건의 경우, 고주파 신호 성분의 인가 동안 저주파 신호 성분의 듀티 사이클을 증가시킴으로써, 중심에서의 플라즈마 밀도에 비해 에지에서의 플라즈마 밀도의 감소, 및/또는 유사하게, 에지에서의 플라즈마 밀도에 비해 중심에서의 플라즈마 밀도의 증가를 촉진시킨다. 파형 발생기는 정현파, 구형파, 톱니형 등을 포함하는 임의의 형태의 신호를 생성할 수 있다. 정현파는 파형의 형상을 맞추기 위한 고조파 성분의 혼합을 포함할 수 있다.
- [0029] 다시 도 7을 참조하면, 시스템(700)은 제어기(740)를 포함할 수 있으며, 제어기(740)는 기관(702)에 걸친 플라즈마 특성의 공간 분포에 관한 데이터를 수신하고, 목표 공간 분포를 달성하기 위해, 진폭 변조 신호를 조정하도록 신호 변조 제어기(예를 들어, 타이밍 회로)에 명령하거나, 또는 파형을 조정하도록 파형 발생기에 명령하도록 구성된다. 또한, 시스템(700)은 플라즈마 특성의 공간 분포와 관련된 데이터를 측정하도록 구성된 측정 시스템(도시되지 않음), 또는 플라즈마 공정 시스템에 결합되어 플라즈마 특성의 공간 분포와 관련된 데이터를 측정하도록 구성된 원위치(in-situ) 진단 장치를 포함할 수 있다.
- [0030] 제1 및 제2 신호를 위한 전력 결합 회로는, 신호 진폭을 변조(예를 들어, 전력 증폭기), 위상을 변위, 및/또는 주파수를 변위시키기 위한 회로를 포함할 수 있다(예를 들어, 도 7의 'AMP'). 추가적으로, 전력 결합 회로는, 신호 발생기의 출력 임피던스를 플라즈마를 포함하는 플라즈마 공정 회로와 정합시키도록 배치 및 설계되는, 가변 전기 구성 요소, 커패시터 및/또는 인덕터를 갖는 임피던스 정합 회로망(들)(예를 들어, 도 7의 'MN')을 포함할 수 있다.
- [0031] 몇몇 실시형태에 따라, 도 8은 플라즈마 공정의 방법을 도시한다. 흐름도(800)로 도시된 방법은, 810에서, 플라즈마 공정 시스템 내에 배치된 기관 홀더 상에 기관을 배치하는 단계; 820에서, 제1 주파수의 제1 신호 발생기를 사용하여, 플라즈마 공정 시스템에 형성된 플라즈마에 제1 신호를 인가하는 단계; 및 830에서, 제2 주파수의 제2 신호 발생기를 사용하여, 플라즈마 공정 시스템에 형성된 플라즈마에 제2 신호를 인가하는 단계를 포함하며, 제2 주파수는 제1 주파수 미만이다.
- [0032] 방법은 840에서, 플라즈마의 목표 공간 분포를 달성하기 위해, 제1 신호를 플라즈마에 최적 결합시키는 지속 시간을 제어하는 단계를 더 포함한다. 일 실시형태에서, 최적 결합시키는 지속 시간을 제어할 때, 신호 변조는, 진폭 변조 신호에 응답하여 고진폭 상태 내지 저진폭 상태로 제1 신호를 변조하기 위한 진폭 변조 회로를 사용하는 단계; 및 제1 신호를 플라즈마에 최적 결합시키기 위한 지속 시간을 제어하기 위해, 제2 신호의 각각의 사이클 동안의 목표 위상과 제1 신호의 진폭 변조를 동기화시키도록 구성된 타이밍 회로를 사용하여, 진폭 변조 신호를 한정하는 단계를 포함할 수 있다. 다른 실시형태에서, 최적 결합시키는 지속 시간을 제어할 때, 신호 변조는, 제2 신호의 파형 및 이의 듀티 사이클을 변조하고, 제1 신호를 플라즈마에 최적 결합시키기 위한 지속 시간을 제어하기 위한 파형 발생기를 사용하는 단계를 포함할 수 있다. 방법은, 플라즈마의 상태를 감지하는 단계, 및 감지된 플라즈마 상태에 따라 신호 변조를 변경하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0033] 도 9a 내지 도 9d는 전술한 실시형태를 포함하는 플라즈마 공정을 가능하게 하기 위해 사용될 수 있는 몇몇 플라즈마 생성 시스템을 제공한다. 도 9a는 용량성 결합 플라즈마(CCP) 시스템을 도시하며, 플라즈마는 상부판 전극(UEL)과 하부판 전극(LEL) 사이에서 기관에 인접하여 형성되고, 하부 전극은 기관을 지지 및 유지하기 위한 정전 척(ESC)으로도 작용한다. 플라즈마는 무선 주파수(RF) 전력을 전극 중 적어도 하나에 결합함으로써 형성된다. 도 9a에 도시된 바와 같이, RF 전력은 상부 및 하부 전극 모두에 결합되며, 전력 결합은 상이한 RF 주파수를 포함할 수 있다. 대안적으로, 다수의 RF 전원이 동일한 전극에 결합될 수 있다. 또한, 직류(DC) 전력이 상부 전극 및/또는 하부 전극에 결합될 수 있다.
- [0034] 도 9b는 유도성 결합 플라즈마(ICP) 시스템을 도시하며, 플라즈마는 유도성 요소(예를 들어, 평면 또는 솔레노이드/나선 코일)와 하부판 전극(LEL) 사이에서 기관에 인접하여 형성되고, 하부 전극은 기관을 지지 및 유지하기 위한 정전 척(ESC)으로도 작용한다. 플라즈마는 무선 주파수(RF) 전력을 유도성 결합 요소에 결합함으로써 형성된다. 도 9b에 도시된 바와 같이, RF 전력은 유도성 요소 및 하부 전극 모두에 결합되며, 전력 결합은 상이

한 RF 주파수를 포함할 수 있다.

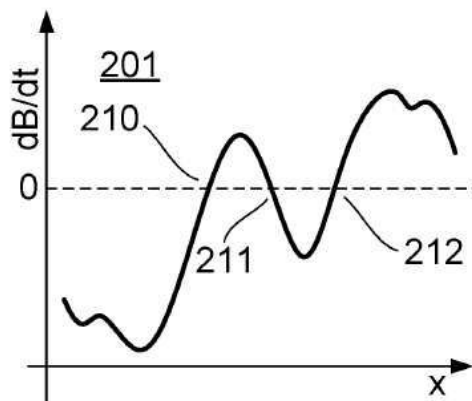
- [0035] 도 9c는 표면과 플라즈마(SWP) 시스템을 도시하며, 플라즈마는 슬롯형 평면 안테나와 하부판 전극(LEL) 사이에서 기관에 인접하여 형성되고, 하부 전극은 기관을 지지 및 유지하기 위한 정전 척(ESC)으로도 작용한다. 플라즈마는 도파관 및 동축선을 통해 마이크로파 주파수의 무선 주파수(RF) 전력을 슬롯형 평면 안테나에 결합함으로써 형성된다. 도 9c에 도시된 바와 같이, RF 전력은 슬롯형 평면 안테나 및 하부 전극 모두에 결합되며, 전력 결합은 상이한 RF 주파수를 포함할 수 있다.
- [0036] 도 9d는 원격 플라즈마 시스템을 도시하며, 플라즈마는 기관으로부터 떨어진 영역에서 형성되고, 원격 플라즈마 소스로부터 기관에 인접한 공정 영역으로의 하전 입자의 수송을 방해하도록 배치된 필터에 의해 기관과 분리된다. 기관은 기관을 유지하기 위한 정전 척(ESC)으로도 작용하는 하부판 전극(LEL)에 의해 지지된다. 플라즈마는 무선 주파수(RF) 전력을 원격에 위치한 영역에 인접한 플라즈마 생성 장치에 결합함으로써 형성된다. 도 9d에 도시된 바와 같이, RF 전력은 원격 영역에 인접한 플라즈마 생성 장치 및 하부 전극 모두에 결합되며, 전력 결합은 상이한 RF 주파수를 포함할 수 있다.
- [0037] 도 9a 내지 도 9d의 플라즈마 공정 시스템은 설명된 예칭 및/또는 증착(막 형성) 공정을 구현하기 위한 다양한 기술을 예시하도록 의도된다. 설명된 시스템의 조합 및 변형을 모두 포함하는 다른 실시형태가 고려된다.
- [0038] 이하의 청구범위에서, 종속항 제한 사항 중 어느 하나는 독립항 중 어느 하나로부터 종속될 수 있다.
- [0039] 전술한 설명에서, 공정 시스템의 특정 형상 및 그 내부에 사용되는 다양한 구성 요소 및 공정의 설명과 같은, 구체적인 세부 사항이 상술되었다. 그러나, 본원의 기술은 이러한 구체적인 세부 사항으로부터 벗어나는 다른 실시형태로 실시될 수 있으며, 이러한 세부 사항은 설명의 목적을 위한 것이며 제한 사항이 아님을 이해해야 한다. 본원에 개시된 실시형태는 첨부된 도면을 참조하여 설명되었다. 유사하게, 설명을 위한 목적으로, 완전한 이해를 제공하기 위해 구체적인 수, 재료, 및 구성이 상술되었다. 그럼에도 불구하고, 실시형태는 이러한 구체적인 세부 사항 없이 실시될 수 있다. 실질적으로 동일한 기능적 구성을 갖는 구성 요소는 유사한 참조 부호로 표시되므로, 임의의 중복적인 설명은 생략될 수 있다.
- [0040] 다양한 실시형태의 이해를 돕기 위해 다양한 기술이 다수의 별개의 작업으로서 설명되었다. 설명의 순서는 이들 작업이 반드시 순서에 의존하는 것임을 의미하는 것으로 해석되어서는 안된다. 실제로, 이들 작업은 제시된 순서로 수행될 필요가 없다. 설명된 작업은 설명된 실시형태와 상이한 순서로 수행될 수 있다. 다양한 추가적인 작업이 수행될 수 있거나/수행될 수 있고, 설명된 작업이 추가적인 실시형태에서 생략될 수 있다.
- [0041] 본원에서 사용된 바와 같은 "기관" 또는 "타겟 기관"은 일반적으로 본 발명에 따라 처리되는 대상물을 지칭한다. 기관은 소자, 특히 반도체 또는 다른 전자 소자의 임의의 재료 부분 또는 구조물을 포함할 수 있으며, 예를 들어, 반도체 웨이퍼와 같은 베이스 기관 구조물, 레티클, 또는 박막과 같이 베이스 기관 구조물 상에 있거나 위에 놓이는 층일 수 있다. 따라서, 기관은 패터닝된 또는 패터닝되지 않은 임의의 특정 베이스 구조물, 하부층 또는 상부층으로 한정되는 것이 아니라, 오히려 임의의 그러한 층 또는 베이스 구조물, 그리고 층 및/또는 베이스 구조물의 임의의 조합물을 포함하는 것으로 고려된다. 설명은 특정 유형의 기관을 언급할 수 있지만, 이는 단지 예시적인 목적을 위한 것이다.
- [0042] 또한, 당업자는 본 발명의 동일한 목적을 여전히 달성하면서 위에서 설명된 기술의 작업에 대해 많은 변경이 이루어질 수 있음을 이해할 것이다. 이러한 변경은 본 개시물의 범위에 의해 포함되도록 의도된다. 이와 같이, 본 발명의 실시형태의 전술한 설명은 제한적인 것으로 의도되지 않는다. 오히려, 본 발명의 실시형태에 대한 임의의 제한 사항은 이하의 청구범위에 제시된다.

도면

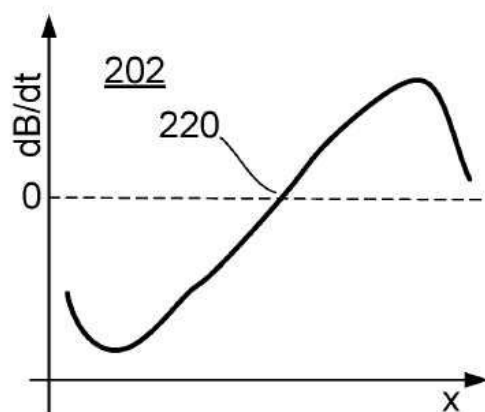
도면1



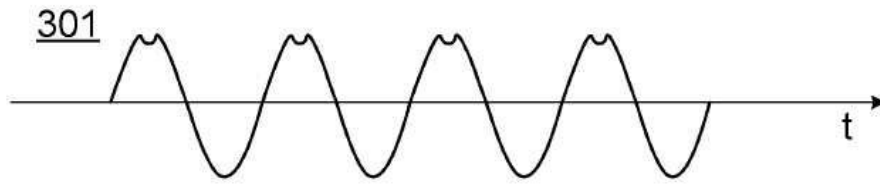
도면2a



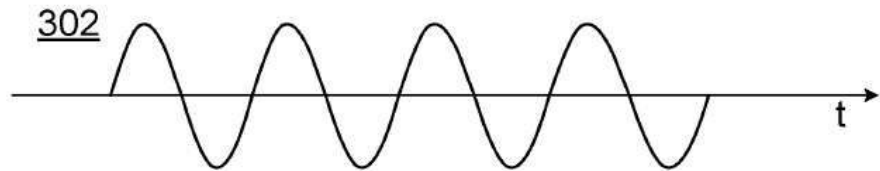
도면2b



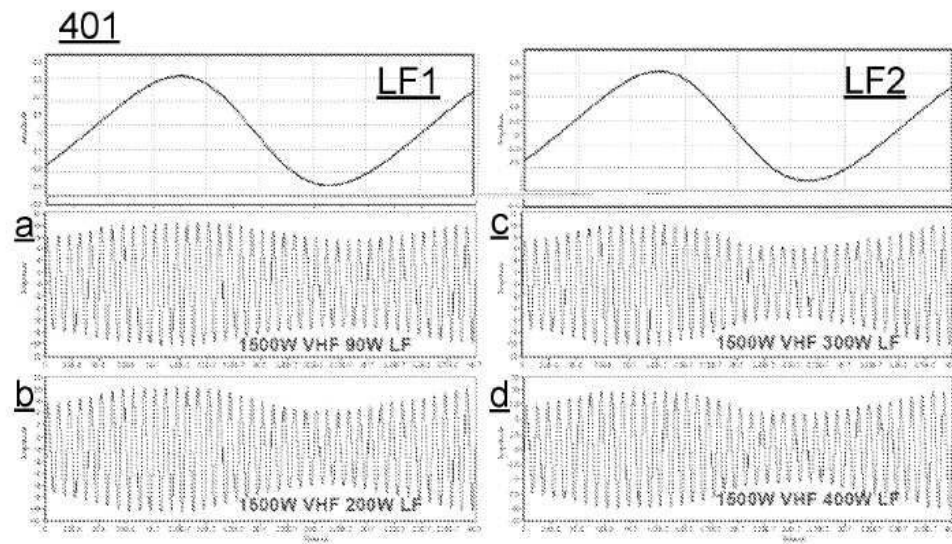
도면3a



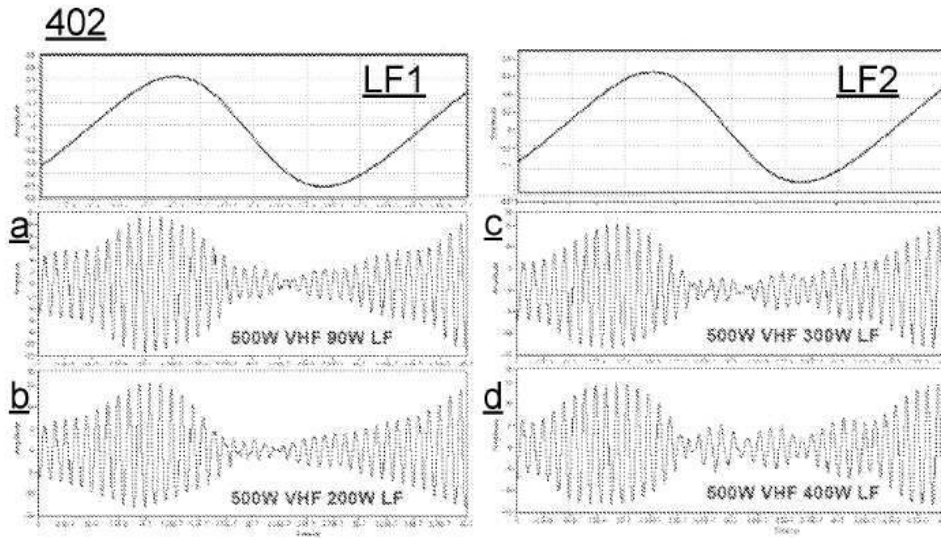
도면3b



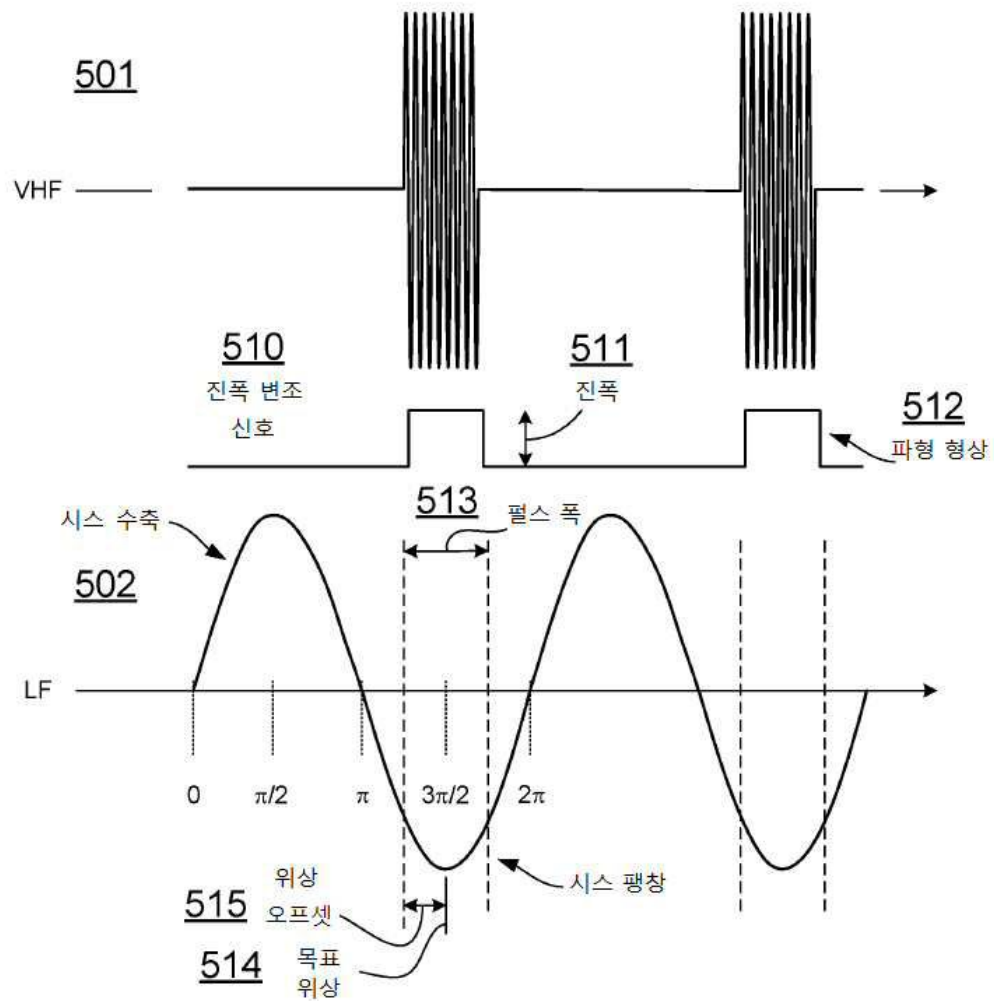
도면4a



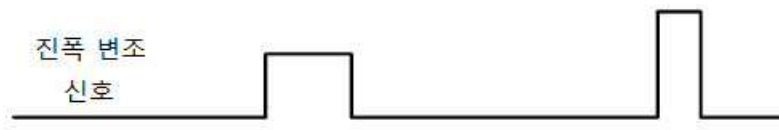
도면4b



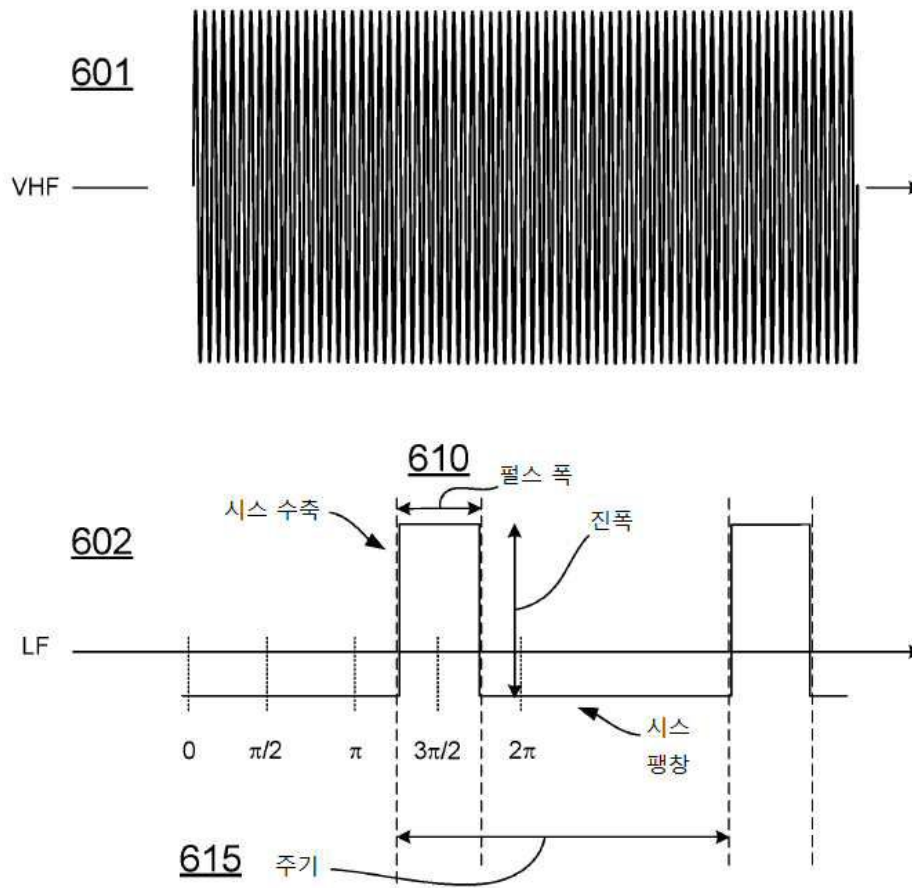
도면5a



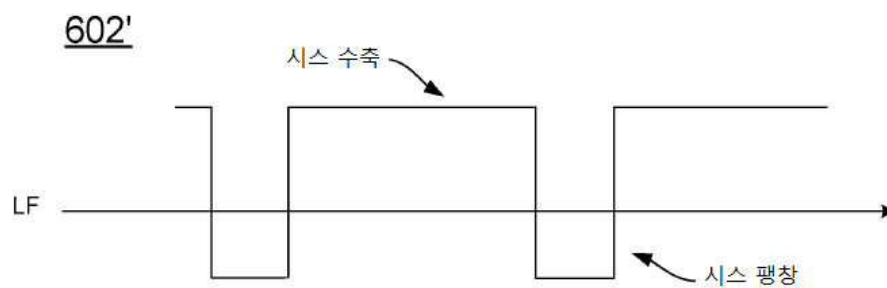
도면5b



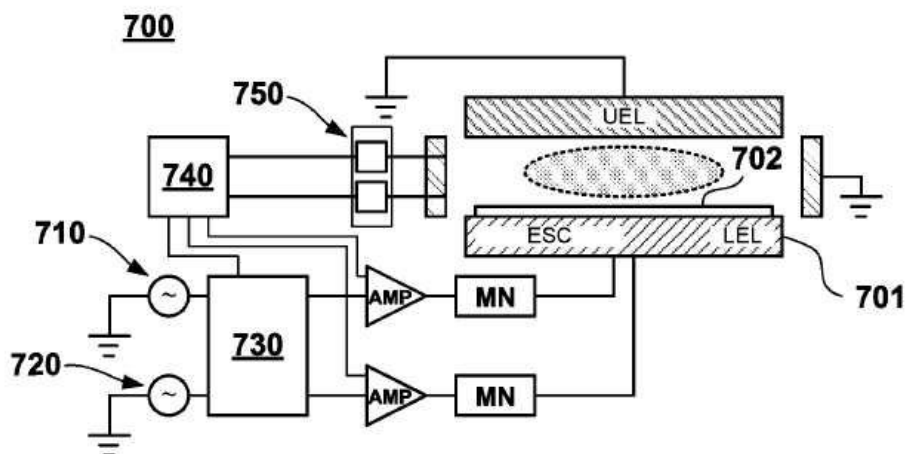
도면6a



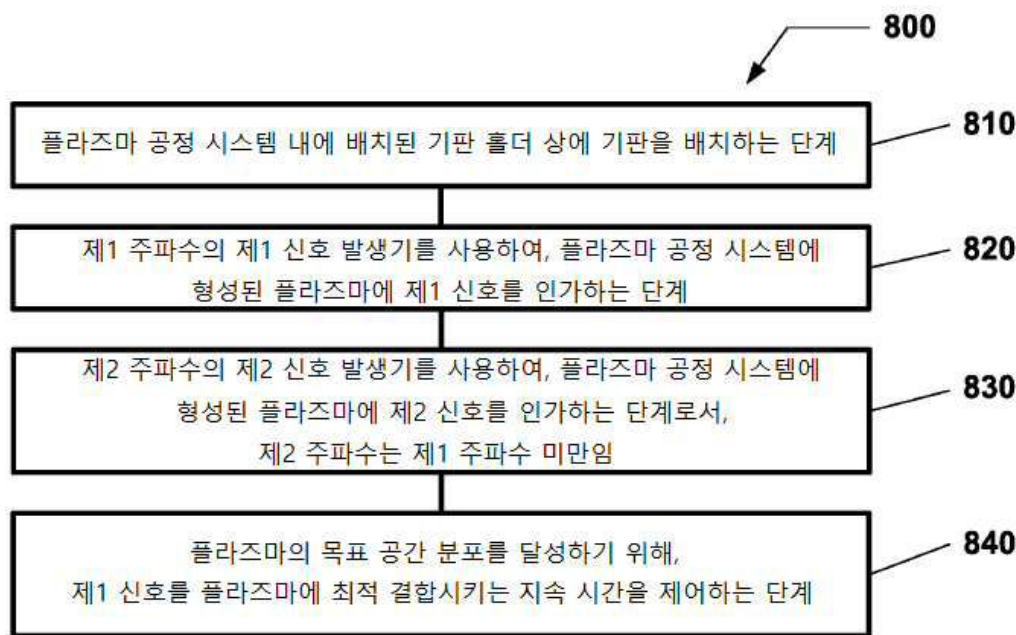
도면6b



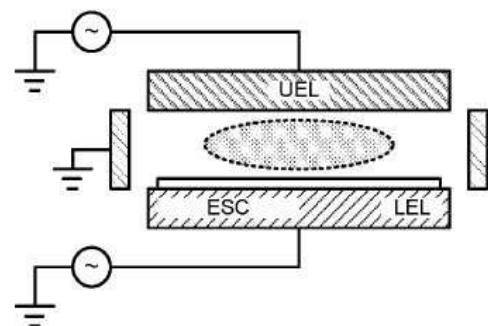
도면7



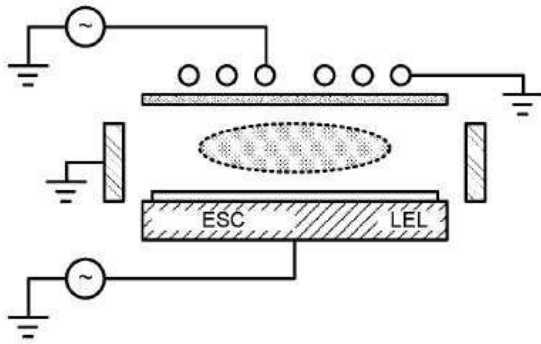
도면8



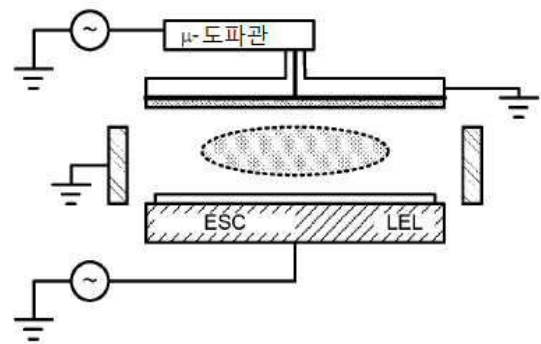
도면9a



도면9b



도면9c



도면9d

