



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0038404
(43) 공개일자 2010년04월14일

(51) Int. Cl.

H01L 21/265 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-7002010

(22) 출원일자 2008년06월20일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2010년01월28일

(86) 국제출원번호 PCT/US2008/067587

(87) 국제공개번호 WO 2009/009272

국제공개일자 2009년01월15일

(30) 우선권주장

11/774,587 2007년07월07일 미국(US)

(71) 출원인

베리안 세미콘덕터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.

미국 01930 매사추세츠주 글로스터 도리 로드 35

(72) 발명자

왈더 스티븐 알.

미국 매사추세츠 01810 앤도버 모턴 스트리트 83

(74) 대리인

특허법인에이아이피

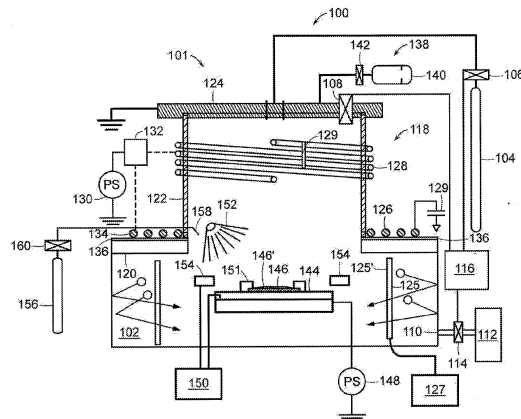
전체 청구항 수 : 총 27 항

(54) 고 뉴트럴 밀도 플라스마 주입을 사용한 컨포멀 도핑

(57) 요약

플라즈마 도핑 장치는 펄스 플라스마를 발생시키는 플라스마 소스를 포함한다. 플래튼은 플라스마 도핑을 위해 상기 플라스마 소스 근처에 기관을 지지한다. 탈착될 때 복수의 뉴트럴을 제공하는 막을 구조체가 흡수한다. 바이어스 전압 전력 공급기는 플라스마 도핑을 위하여 플라스마 내의 이온을 기관 쪽으로 끌어당기는 음 전위를 갖는 바이어스 전압 파형을 발생시킨다. 방사원은 기관상에 흡수된 막을 조사함으로써 막을 탈착하고 이온이 기관 쪽으로 끌어당겨지는 동안 플라스마로부터의 이온을 산란시키는 복수의 뉴트럴을 발생시키고, 이로써 컨포멀 플라스마 도핑을 수행한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

- a. 펄스 플라즈마를 발생시키는 플라즈마 소스;
- b. 플라즈마 도핑을 위하여 상기 플라즈마 소스 근처에 기판을 지지하는 플레튼;
- c. 탈착될 때 복수의 뉴트럴을 발생시키는 막을 흡수하는 구조체; 및
- d. 상기 플레튼에 전기적으로 연결된 출력단을 갖고, 플라즈마 도핑을 위해 상기 플라즈마 내의 이온을 상기 기관 쪽으로 끌어당기는 음 전위를 갖는 바이어스 전압 과형을 발생시키는 바이어스 전압 전력 공급기; 및
- e. 상기 구조체 상에 흡수된 막을 조사하여 상기 흡수된 막을 탈착시키고 복수의 뉴트럴을 발생시키는 방사원을 포함하되, 상기 복수의 뉴트럴이 상기 이온이 상기 기관 쪽으로 끌어당겨지는 동안 상기 플라즈마로부터의 이온을 산란시킴으로서 컨포멀 플라즈마 도핑을 수행하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서, 상기 구조체는 상기 기관을 포함하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서, 상기 기관의 온도를 상기 막의 흡수를 강화하는 온도로 변경하는 온도 제어기를 더 포함하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서, 상기 기관 근처에 흡수 가스를 투입하는 노즐을 더 포함하고, 상기 흡수 가스는 상기 막의 흡수를 강화하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서, 상기 방사원은 광학적 방사원을 포함하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 6

청구항 5에 있어서, 상기 광학적 방사원은 플레시 램프, 레이저 및 발광 다이오드 중 적어도 하나를 포함하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 7

청구항 1에 있어서, 상기 방사원은 상기 펄스 플라즈마를 포함하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서, 상기 방사원은 전자 빔 방사원을 포함하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 9

청구항 1에 있어서, 상기 방사원은 엑스레이 방사원을 포함하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 10

청구항 1에 있어서, 상기 방사원은 상기 흡수된 막을 급속히 탈착하는 방사 버스트(burst)를 발생시키는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 11

청구항 1에 있어서, 상기 흡수된 막을 탈착함으로써 생성되는 상기 뉴트럴은, 도핑 균일성을 감소시키지 않는 국부적으로 높은 뉴트럴 밀도를 상기 기관 근처에 제공하는 플라즈마 도핑 장치.

청구항 12

- a. 플레튼 상에 기관을 위치하고;
- b. 상기 플레튼 근처에 위치하는 구조체상에 막을 흡수하고;
- c. 상기 플레튼 근처에 플라즈마를 발생시키고;
- d. 상기 구조체상의 흡수된 막을 탈착함으로써 복수의 뉴트럴을 발생시키고; 및
- e. 플라즈마 도핑을 위하여 상기 플라즈마 내의 이온을 상기 기관 쪽으로 끌어당기는 음 전위를 갖는 바이어스 전압 파형으로 상기 플레튼을 바이어스하는 것을 포함하되, 상기 복수의 뉴트럴이 이온이 상기 기관 쪽으로 끌어당겨지는 동안 상기 플라즈마로부터의 이온을 산란시킴으로써 컨포멀 플라즈마 도핑을 수행하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서, 상기 기관상에 흡수된 막을 탈착하는 것은 상기 기관상에 흡수된 막을 조사하는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서, 상기 기관상에 흡수된 막을 조사하는 것은 상기 흡수된 막을 급속히 탈착하는 방사 버스트(burst)를 발생시키는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 15

청구항 13에 있어서, 상기 기관상에 흡수된 막을 조사하는 것은 상기 흡수된 막을 광학적 방사로 조사하는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 16

청구항 13에 있어서, 상기 기관상에 흡수된 막을 조사하는 것은 상기 흡수된 막을 전자 빔 방사로 조사하는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 17

청구항 13에 있어서, 상기 기관상에 흡수된 막을 조사하는 것은 상기 흡수된 막을 엑스레이 방사로 조사하는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 18

청구항 12에 있어서, 상기 흡수된 막을 탈착하는 것과 상기 음 전위를 갖는 바이어스 전압 파형으로 상기 플레튼을 바이어스 하는 것은 시간상으로 동시에 발생하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 19

청구항 12에 있어서, 상기 흡수된 막을 탈착하는 것과 상기 음 전위를 갖는 바이어스 전압 파형으로 상기 플레튼을 바이어스 하는 것은 시간상으로 동기화되는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 20

청구항 12에 있어서, 상기 구조체 상에 막을 흡수하는 것은 상기 기관의 온도를 상기 막의 흡수를 강화하는 온도로 제어하는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 21

청구항 12에 있어서, 상기 구조체 상에 막을 흡수하는 것은 상기 기관을 상기 플레튼에 위치하기 전에 상기 구조체 상에 막을 흡수하는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 22

청구항 12에 있어서, 상기 구조체 상에 막을 흡수하는 것은 상기 기관 근처에 흡수 가스를 투입하는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 23

청구항 12에 있어서, 상기 복수의 뉴트럴을 발생시키는 것은 도핑 균일성을 감소시키지 않는 국소적으로 높은 뉴트럴 밀도를 상기 기관 근처에 제공하는 것을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 방법.

청구항 24

- a. 기관을 지지하는 플레튼 근처에 위치하는 구조체 상에 막을 흡수하기 위한 수단;
- b. 도펀트 종을 포함하는 이온을 발생시키기 위한 수단; 및
- c. 상기 도펀트 종을 포함하는 이온을 산란시키는 복수의 뉴트럴을 생성함으로써 컨포멀 도핑을 수행하도록 상기 구조체 상에 흡수된 막을 탈착하기 위한 수단을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 장치.

청구항 25

청구항 24에 있어서, 상기 구조체는 상기 기관을 포함하는 컨포멀 플라즈마 도핑 장치.

청구항 26

청구항 24에 있어서, 상기 도펀트 종을 포함하는 이온을 발생시키기 위한 수단은 상기 도펀트 종을 포함하는 이온 빔을 발생시키는 것을 포함하는 컨포멀 도핑 장치.

청구항 27

청구항 24에 있어서, 상기 도펀트 종을 포함하는 이온을 발생시키기 위한 수단은 상기 도펀트 종을 포함하는 플라즈마를 발생시키는 것을 포함하는 컨포멀 도핑 장치.

명세서

배경 기술

- [0001] (본원에 사용된 소제목은 구조적 목적으로만 사용되고 본원에 개시된 발명을 제한하도록 이해되어서는 안 된다.)
- [0002] 플라즈마 공정은 수십 년간 반도체 및 다른 산업에서 폭넓게 사용되어 왔다. 플라즈마 공정은 세정, 식각, 밀링(milling) 및 증착과 같은 업무에 사용된다. 더욱 최근에, 플라즈마 공정은 도핑에 사용되어 왔다. 플라즈마 도핑은 종종 PLAD 또는 플라즈마 잠입 이온 주입(plasma immersion ion implantation, PIII)으로 언급된다. 플라즈마 도핑 시스템은 최근의 몇몇 전기적 또는 광학적 소자의 도핑 요구사항들을 충족하도록 발전되어 왔다.
- [0003] 플라즈마 도핑 시스템은 기본적으로 종래 빔라인 이온 주입 시스템(beam-line ion implantation system)과는 상이한데, 종래 시스템은 전기장으로 이온을 가속한 후 질량 대 전하비(mass-to-charge ratio)에 따라 이온을 여과하여 주입용으로 요구되는 이온을 선택한다. 대조적으로, 플라즈마 도핑 시스템은 도펀트 이온을 포함하는 플라즈마에 표적(target)을 잠입시키고 일련의 음 전압 펄스로 표적을 바이어스 시킨다. 용어 '표적'은 본원에서 이온 주입되는 기관 또는 웨이퍼와 같은, 주입되는 작업대상물(workpiece)을 의미하도록 정의된다. 표적상의 음 바이어스(negative bias)는 표적 표면으로부터 전자를 축출(repel)하고, 이로써 양 이온의 쉬스(sheath)를 생성하도록 한다. 플라즈마 쉬스(sheath) 내의 전기장은 이온을 표적쪽으로 가속하고, 이로써 이온을 표적 표면으로 주입시킨다.
- [0004] 본 발명은 컨포멀 플라즈마 도핑에 대한 것이다. 용어 '컨포멀 도핑'은 본원에서 일반적으로 표면 지형(surface features)의 각도를 유지하는 방법으로 평평한 및 비-평평한 표면 지형의 도핑을 의미하도록 정의된다. 용어에서, 컨포멀 도핑은 종종 평평한 및 비-평평한 지형 모두에 대하여 균일한 도핑 프로파일로 평평한 및 비-평평한 지형을 도핑하는 것으로 언급된다. 그러나, 본원에서 정의된 컨포멀 도핑은, 반드시 필요한 것은 아니지만, 기관의 평평한 및 비-평평한 지형 모두에 대하여 균일한 도핑 프로파일을 가질 수 있다.

발명의 내용

도면의 간단한 설명

- [0005] 본 발명은 바람직하고 전형적 실시예들에 따라 그들의 추가적 이점과 함께 첨부된 도면과 함께 다음에서 더 구체적이고 상세히 설명된다. 도면은 반드시 축척에 맞지는 않으며, 대신에 본 발명의 원리를 예시하기 위해 대체로 과장될 수 있다.
- 도 1은 본 발명에 따른 컨포멀 도핑을 수행하는 플라즈마 도핑 시스템의 개략도를 예시한다.
- 도 2A는 본 발명에 따른 플라즈마 도핑에 적합한 펄스 RF 파형(pulsed RF waveform)을 예시한다.
- 도 2B는 플라즈마 도핑을 수행하기 위한 바이어스 기간 동안 음전압을 기관에 인가하는 바이어스 전압 공급에 의하여 발생되는 바이어스 전압 파형을 예시한다.
- 도 2C는 본 발명에 따른 뉴트럴(neutrals)을 발생시키기 위하여 흡수된 막층을 탈착하는 방사원에 의하여 발생되는 강도 파형을 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0006] 본원에서 '일 실시예' 또는 '실시예'는 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 포함된 실시예와 관련하여 설명되는 특별한 특징, 구조 또는 특성을 뜻한다. 본원의 다양한 곳에서 보이는 '일 실시예에서'라는 문구는 반드시 모두가 동일한 실시예를 언급하는 것은 아니다.
- [0007] 본 발명의 방법들의 개별 단계들은 본 발명이 작동 가능한 한 임의의 순서 및/또는 동시에 수행될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 또한, 본 발명의 장치 및 방법들은 본 발명이 작동 가능한 한 개시된 실시예들 중 임의의 수 또는 모두를 포함할 수 있다는 것이 이해되어야 한다.
- [0008] 본 발명이 이제 첨부된 도면에 도시된 전형적 실시예들을 참조하여 더욱 상세하게 설명될 것이다. 본 발명이 다양한 실시예들 및 예들과 관련하여 설명되지만, 본 발명이 그러한 실시예들에 한정되도록 의도되진 않는다. 오히려, 해당 기술의 당업자들에게 이해될 것인 바와 같이, 본 발명은 다양한 대안, 변형 및 균등물을 포함한다. 본원의 교시에 접근할 수 있는 해당 기술의 통상의 당업자들은 추가적 이행, 변형 및 실시예들 뿐 아니라 다른 분야의 사용을 인지할 것인데, 이들은 본원에 설명된 본 발명의 범위에 속한다. 예를 들어, 본 발명은 플라즈마 도핑과 관련하여 기술되지만, 컨포멀 도핑을 개선하기 위하여 이온을 산란시키기 위한 뉴트럴을 발생시키기 위한 방법 및 장치는 또한 종래의 빔-라인 이온 주입 시스템에 적용될 수 있다.
- [0009] 3차원 소자 구조는 ULSI 회로의 이용가능한 표면적을 증가시킬 뿐 아니라 서브-65nm 기술 노드(nodes)로 소자 축소(device scaling)를 달성하도록 발전되어 왔다. 예를 들어, DRAM에 사용되는 3차원 트랜치 커패시터, 및 FinFET(이중 또는 3중 게이트) 및 리세스된 채널 어레이 트랜지스터(RCAT: recessed channel array transistors)와 같은 수직 채널 트랜지스터를 사용하는 다양한 유형의 소자가 연구소에서 개발되어 왔다. 이러한 3차원 소자의 많은 수가 소자상의 상이한 지형들의 컨포멀 도핑을 필요로 한다. 또한, 현대 전자 및 광학적 소자의 많은 다른 유형 및 나노기술 마이크로구조가 컨포멀 도핑을 필요로 한다.
- [0010] 컨포멀한 3차원 주입은 공지의 이온 주입 방법으로 달성하기가 매우 어렵다. 특히, 컨포멀 또는 3차원 주입은 매우 적은 범위의 주입각을 필요로 하는 고밀도 (high densities), 고피치(high pitches) 및/또는 큰 수직 종횡비(vertical aspect ratios)를 갖는 소자상에서 달성하기가 어렵다.
- [0011] 컨포멀 이온 주입을 수행하는 많은 공지의 방법은 3차원 주입 범위(coverage)를 획득하기 위하여 다단계의 각진 (angled) 빔-라인 이온 주입을 사용한다. 이 공지된 방법들에서, 표적은 복수의 각진 주입이 수행되도록 이온 빔에 대해 복수의 각도로 미리 설정된 시간 동안 물리적으로 위치한다. 각진 다중 빔 라인 주입 수행은 수행되는 이온 주입의 횟수와 동등한 인자만큼 주입 처리량을 크게 감소시킬 수 있다. 컨포멀 도핑의 이 방법은 연구 및 개발 목적으로 제작된 몇몇 저밀도 구조체에서 성공적으로 사용되었으나, 대부분의 소자 제조에 실용적이지 않다.
- [0012] 플라즈마 도핑은 컨포멀 및 3차원 주입에 매우 적합하다. 플라즈마 도핑 장치에서, 양이온의 쉬스는 쉬스 경계와 표적 표면 사이에 전기장을 발생시킨다. 이 전기장은 이온을 표적 쪽으로 가속하고 이온을 표적 표면으로 주입시킨다. 쉬스 두께가 국소적 표면 형태에 대해 수직 입사각으로 표면을 충돌하는 이온에 의해 초래되는 표면에서의 기복(undulation) 치수보다 작거나 같을 때 쉬스 경계가 표적의 표면 지형에 잘 일치하기 때문에 컨포멀 플라즈마 도핑이 수행될 수 있다. 이 현상은 플라즈마 잠입(immersion) 도핑을 사용하여 큰 표적을 컨포멀하게

주입하는 방법에서 사용될 수 있다. 그러나, 이 현상을 사용하는 방법은 밀집 및/또는 고 중형비 구조를 갖는 작은 표적에는 잘 작동하지 않는다.

[0013] 컨포멀 플라즈마 도핑은 또한 플라즈마에서 이온 각의 특정한 원하는 분포를 야기하는 플라즈마 내 이온/뉴트럴 산란을 위한 조건을 생성함으로써 수행될 수 있다. 그러나, 단지 제한된 범위의 이온 각만이 이온/뉴트럴 산란을 사용하여 플라즈마 도핑 시스템에 생성될 수 있을 뿐이다. 아크 방전(arc discharge) 및 마이크로 방전(micro discharge)과 같은 원치 않는 방전이 플라즈마 내에서 발생할 가능성이 플라즈마 내의 뉴트럴 밀도가 증가함에 따라 증가하기 때문에 이온/뉴트럴 산란이 제한된다. 또한, 전체 플라즈마 균일성은 뉴트럴의 밀도가 증가함에 따라 감소한다. 따라서, 이온/뉴트럴 산란이 특정 수준에 도달할 때, 대부분의 플라즈마 도핑 공정에서 허용되지 않을 원치 않는 방전 및 상대적으로 빈약한 균일성이 있을 것이다.

[0014] 컨포멀 도핑은 이온 주입용의 이온을 산란시키기 위하여 플라즈마 외부에 있는 뉴트럴 소스를 사용함으로써 본 발명으로 달성된다. 일 실시예에서, 외부 뉴트럴 소스는 주입용 이온을 산란시키기 위해 플라즈마 내의 이온과 상호작용을 하도록 위치하는 흡수성 막층(absorbent film layer)을 포함한다. 예를 들어, 흡수성 막층은 주입되는 표적상에 증착될 수 있다. 또한, 흡수성 막층은 표적 근처 또는 공정 챔버 내에 있는 구조체상에 증착될 수 있다.

[0015] 도 1은 본 발명에 따른 컨포멀 도핑을 수행하는 플라즈마 도핑 시스템(100)의 개략도를 예시한다. 이것은 본 발명에 따른 컨포멀 도핑을 수행할 수 있는 플라즈마 도핑 시스템의 많은 가능한 설계 중 하나일 뿐이라는 것이 이해되어야 한다. 플라즈마 도핑 시스템(100)은 평면 및 나선 RF 코일 모두와 도전성 상부 섹션(top section)을 갖는 유도 결합 플라즈마 소스(101)를 포함한다. 유사한 RF 유도 결합 플라즈마 소스가 2004. 12. 20일자로 출원되고 본원의 출원인에게 양도된 미국특허 출원번호 10/905,172 '도전성 상부 섹션을 갖는 RF 플라즈마 소스'에 개시되어 있다. 미국특허 출원번호 10/905,172의 전체 명세서에는 본원에 참고문헌으로 포함된다. 플라즈마 도핑 시스템(100)에 보이는 플라즈마 소스(101)는 플라즈마 도핑 어플리케이션에 매우 잘 맞는데, 그것은 상기 플라즈마 소스가 매우 균일한 이온 플럭스(flux)를 제공할 수 있고 상기 소스가 또한 2차 전자 방출에 의해 발생된 열을 효율적으로 방출(dissipate)시키기 때문이다.

[0016] 더욱 구체적으로, 플라즈마 도핑 시스템(100)은 외부 가스 소스(104)에 의하여 공급되는 공정 가스를 수용하는 플라즈마 챔버(102)를 포함한다. 공정가스는 전형적으로 회석 가스에서 회석되는 도펀트 종을 포함한다. 외부 가스 소스(104)는, 비례 밸브(106)를 통하여 플라즈마 챔버(102)에 결합되는데, 상기 챔버(102)에 공정 가스를 공급한다. 몇몇 실시예들에서, 가스 배플(baffle)이 가스를 플라즈마 소스(101) 내로 분산시키는데 사용된다. 압력계(108)는 상기 챔버(102) 내부의 압력을 측정한다. 챔버(102)내의 배출 포트(exhaust port, 110)는 챔버(102)를 배기하는 진공 펌프(112)에 결합된다. 배출 밸브(114)는 배출 포트(110)를 통한 배출 컨덕턴스를 조절한다.

[0017] 가스 압력 제어기(116)는 비례 밸브(106), 압력계(108) 및 배출 밸브(114)에 전기적으로 접속된다. 가스 압력 제어기(116)는 압력계(108)에 응답하는 피드백 루프(feedback loop)로 배출 컨덕턴스와 공정 가스 유량(flow rate)을 제어함으로써 플라즈마 챔버(102)내에서 원하는 압력을 유지한다. 배출 컨덕턴스는 배출 밸브(114)로 제어된다. 상기 공정 가스 유량은 비례 밸브(106)로 제어된다.

[0018] 상기 챔버(102)는 대체로 수평 방향으로 연장하는 유전 물질로 형성된 제1 부분(120)을 포함하는 챔버 상부(118)를 포함한다. 챔버 상부(118)의 제2 부분(122)은 제1 부분(120)으로부터 대체로 수직 방향으로 소정 높이 연장하는 유전 물질로 형성된다. 제1 및 제2 부분(120, 122)은 본원에서 통상 유전체 창(dielectric window)으로 칭해진다. 상기 챔버 상부(118)에 대해 수많은 변형이 있음을 이해하여야 한다. 예를 들어, 본 명세서에 참조로 편입된 미국 특허 출원번호 제10/905,172호에 기술된 바와 같이 상기 제1 및 제2 부분(120, 122)이 직각이 되지 않도록 하기 위하여 상기 제1 부분(120)이 일반적으로 커브 방향으로 연장되는 유전체로 구성될 수 있다. 다른 실시예에 있어서, 상기 챔버 상부(118)는 평면 표면만을 포함한다.

[0019] 제1 및 제2 부분(120,122)의 형태 및 치수는 특정 성과를 달성하기 위하여 선택될 수 있다. 예를 들어, 당해 분야의 기술자는 챔버 상부(118)의 제1 및 제2 부분(120,122)의 치수가 플라즈마의 균일성을 개선하기 위하여 선택될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 일 실시예에서, 수평 방향의 제2 부분(122)을 가로지르는 길이에 대한 수직 방향에서의 제2 부분(122)의 높이의 비가 더 균일한 플라즈마를 수득하기 위하여 조정된다. 예를 들어, 하나의 특정 실시예에서, 수평 방향에서의 제2 부분(122)을 가로지르는 길이에 대한 수직 방향에서의 제2 부분(122)의 높이의 비는 1.5 내지 5.5 범위에 있다.

- [0020] 제1 및 제2 부분(120,122)의 유전 물질은 RF 안테나로부터 챔버(102) 내부의 플라즈마로 RF 전력을 전송하기 위한 매체(medium)를 제공한다. 일 실시예에서, 제1 및 제2 부분(120,122)을 형성하는데 사용된 유전 물질은 공정 가스에 화학적으로 내성(resistant)이고 좋은 열 특성을 갖는 고순도 세라믹 재료이다. 예를 들어, 몇몇 실시예들에서, 상기 유전 물질은 99.6% Al_2O_3 또는 AlN이다. 다른 태양에서, 유전 물질은 이트리아(Yttria) 및 야그(YAG)이다.
- [0021] 챔버 상부(118)의 리드(lid, 124)는 수평 방향에서 제2 부분(122)을 가로지르는 길이로 연장하는 전도성 재료로 형성된다. 많은 실시예들에 있어서, 리드(124)를 형성하는데 사용되는 재료의 전도성은 열 부하를 방출하고 2차 전자 방출로부터 기인하는 대전 효과를 최소화할 정도로 충분히 높다. 전형적으로, 리드(124)를 형성하는데 사용되는 전도성 재료는 공정 가스에 화학적으로 내성이다. 몇몇 실시예들에서, 상기 전도성 재료는 알루미늄 또는 실리콘이다.
- [0022] 리드(124)는 케르즈(Chemrz) 및/또는 칼렉스(Kalrex) 재료로 형성한 O-링과 같은 플루오로-카본 중합체로 만든 할로젠 내성 O-링을 구비하여 제2 부분(122)에 결합될 수 있다. 리드(124)는 전형적으로 제2 부분(122)에 대한 압축을 최소한으로 하면서, 제2 부분에 리드(124)를 밀봉하기에 충분한 압축을 제공하는 방식으로 실장된다. 몇몇 작동 모드들에서, 리드(124)는 도 1에 도시된 바와 같이 RF 및 DC 접지된다. 또한, 몇몇 실시예들에서, 리드(124)는 공정 중에 발생된 열 부하를 방출하기 위하여 리드(124) 및 주변 영역의 온도를 제어하는 냉각 시스템을 포함한다. 상기 냉각 시스템은 냉각제 소스로부터 유체 냉각제를 순환시키는 리드(124) 내 냉각 유로를 포함하는 유체 냉각 시스템일 수 있다.
- [0023] 몇몇 실시예들에서, 챔버(102)는 라이너(liner, 125)를 포함하는데, 상기 라이너는 플라즈마 챔버(102)의 내부 금속 벽을 가격하는 플라즈마 내 이온들에 의하여 스퍼터링된 금속으로부터 플라즈마 챔버(102)의 내부의 라인-오브-사이트 쉴딩(line-of-site shielding)을 제공함으로써 금속 오염을 방지하거나 크게 감소시키도록 위치한다. 이러한 라이너는 본원 출원인에게 양도된 2007. 1. 16일에 출원된 미국특허 출원번호 11/623,739 '금속 오염을 줄이기 위한 라이너를 구비하는 플라즈마 소스'에 개시되어 있다. 미국특허 출원번호 11/623,739의 전체 내용은 참고문헌으로서 본원에 포함된다.
- [0024] 몇몇 실시예에서, 플라즈마 챔버 라이너(125)는 온도 제어기(127)를 포함한다. 상기 온도 제어기(127)는, 본 발명에 따른 막 탈착 동안 뉴트럴을 발생시키는 막층의 흡수에 충분한 상대적으로 낮은 온도에서 라이너의 온도를 유지하기에 충분하다.
- [0025] RF 안테나는 챔버 상부(118)의 제1 부분(120) 및 제2 부분(122)의 적어도 하나에 가까이 위치한다. 도 1의 플라즈마 소스(101)는 서로 전기적으로 절연된 2개의 분리된 RF 안테나를 도시한다. 그러나 다른 실시예에서는, 두 개의 분리된 RF 안테나는 전기적으로 연결된다. 도 1에 도시된 실시예에서, 복수의 권수(turns)를 갖는 평면 코일 RF 안테나(126)(종종 평면 안테나 또는 수평 안테나로 불림)가 챔버 상부(118)의 제1 부분(120)에 인접하여 위치한다. 또한, 복수의 권수를 갖는 나선 코일 RF 안테나(128)(종종 나선 안테나 또는 수직 안테나로 불림)가 챔버 상부(118)의 제2 부분(122)을 둘러싼다.
- [0026] 몇몇 실시예들에 있어서, 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코일 RF 안테나(128)의 적어도 하나가 유효 안테나 코일 전압을 감소시키는 커패시터(129)로 중단된다. 용어 '유효 안테나 코일 전압'은 본원에서 RF 안테나들(126,128)을 가로지르는 전압 강하를 의미하도록 정의된다. 달리 말해, 유효 코일 전압은 '이온에 의해 보이는' 전압 또는 플라즈마 내 이온들에 의해 경험되는 등가 전압이다.
- [0027] 또한, 몇몇 실시예들에서, 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코일 RF 안테나(128)의 적어도 하나가 Al_2O_3 유전체 창 재료의 유전상수에 비하여 상대적으로 낮은 유전상수를 갖는 유전층(134)을 포함한다. 상기 상대적으로 낮은 유전상수의 유전층(134)은 유효 안테나 코일 전압을 또한 감소시키는 용량성 전압 디바이더를 효과적으로 형성한다. 또한, 몇몇 실시예들에 있어서, 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코일 RF 안테나(128)의 적어도 하나가 유효 안테나 코일 전압을 또한 감소시키는 패러데이 차폐(136)를 포함한다.
- [0028] RF 전력 공급기와 같은 RF 소스(130)는 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코일 RF 안테나(128)의 적어도 하나에 전기적으로 연결된다. 많은 실시예들에서, RF 소스(130)는 RF 소스(130)로부터 RF 안테나(126, 128)로 전송되는 전력을 최대화하기 위하여 RF 소스(130)의 출력 임피던스를 RF 안테나(126, 128)의 임피던스에 매칭시키는 임피던스 매칭 네트워크(132)에 의해 RF 안테나(126, 128)에 결합된다. 임피던스 매칭 네트워크(132)의 출력으로부터 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코일 RF 안테나(128)의 어느 하나 혹은 둘 모두로 전기적 연결이 될 수 있음을 보여주기 위하여 임피던스 매칭 네트워크(132)의 출력으로부터 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코

일 RF 안테나(128)까지 선회선이 도시되어 있다.

- [0029] 몇몇 실시예들에 있어서, 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코일 RF 안테나(128)의 적어도 하나가 유체 냉각될 수 있도록 형성된다. 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코일 RF 안테나(128)의 적어도 하나의 냉각은 RF 안테나(126, 128)에 전달하는 RF 전력에 의해 초래되는 온도 구배를 감소시킬 것이다. 나선 코일 RF 안테나(128)는 코일에서 권선수를 줄일 수 있는 션트(shunt, 129)를 포함할 수 있다.
- [0030] 몇몇 실시예들에 있어서, 플라즈마 소스(100)는 플라즈마 점화기(138)를 포함한다. 다양한 형태의 플라즈마 점화기가 본 발명의 플라즈마 소스(101)와 함께 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 플라즈마 점화기(138)는 플라즈마를 점화하는 것을 돕는 아르곤 같은 쉽게 이온화할 수 있는 가스인 가격 가스(strike gas)의 저장소(140)를 포함한다. 상기 저장소(140)는 고 컨덕턴스 가스 연결로 플라즈마 챔버(102)에 결합된다. 파열 밸브(burst valve, 142)는 상기 저장소(140)를 공정 챔버(102)로부터 분리한다. 다른 실시예에서는, 가격 가스 소스가 저 컨덕턴스 가스 연결을 이용하여 파열 밸브(142)에 직접 배관된다. 몇몇 실시예들에서, 저장소(140)의 일부가 초기 고유량 파열 후에 가격 가스의 일정한 유량을 제공하는 한정된 컨덕턴스 구멍 또는 계량 밸브에 의해 분리된다.
- [0031] 플레튼(144)은 공정 챔버(102)에서 플라즈마 챔버(102) 상부(118)로부터 소정 높이 아래에 위치한다. 플레튼(144)은 플라즈마 도핑을 위하여, 본원에서 기관(146)이라고 불리우는 표적(target)을 보유한다. 도 1에서 도시된 실시예에서, 플레튼(144)은 플라즈마 소스(101)에 평행하다. 그러나, 플레튼(144)은 또한 플라즈마 소스(101)와 관련하여 기울어질 수 있다. 몇몇 실시예들에 있어서, 플레튼(144)은 적어도 한 방향으로 기관(146)을 병진, 스캔, 왕복 이동시키는 이동 가능한 스테이지에 기계적으로 결합된다. 일 실시예에서, 이동 가능한 스테이지는 기관(146)을 진동 또는 왕복 이동시키는 진동 발생기 또는 오실레이터이다. 병진, 진동 및/또는 왕복 이동은 그림자 효과(shadowing effect)를 감소시키거나 제거할 수 있고 기관(146) 표면에 충돌하는 이온 빔 플럭스(flux)의 균일성 및 정합성(conformality)을 개선할 수 있다.
- [0032] 많은 실시예들에서, 기관(146)은 플레튼(144)에 전기적으로 연결된다. 바이어스 전압 전력 공급기(148)가 플레튼(144)에 전기적으로 연결된다. 바이어스 전압 전력 공급기(148)는 플라즈마 내의 이온이 플라즈마로부터 추출되어 기관(146)에 충돌하도록 플레튼(144) 및 기관(146)을 바이어스 하는 바이어스 전압을 발생시킨다. 바이어스 전압 전력 공급기(148)는 DC 전력 공급기, 펄스 전력 공급기 또는 RF 전력 공급기일 수 있다.
- [0033] 본 발명의 일 실시예에서, 플라즈마 도핑 시스템(100)은 플레튼(146)의 온도 및 기관(146)의 온도를 제어하는데 사용되는 온도 제어기(150)를 포함한다. 기관(146)은 플레튼(146)과 양호하게 열 접촉하여 위치한다. 또한, 일 실시예에서, 냉각된 전자 클램프(Eclamps, 151)가 기관(146)을 플레튼(146)에 고정하고 또한 기관(146)의 온도를 제어하는데 사용된다. 온도 제어기(150) 및/또는 냉각된 전자 클램프(151)는 본 발명에 따른 막 탈착 동안 뉴트릴을 발생시키는 막층(146')의 흡수에 충분한 상대적으로 낮은 온도에서 기관(146)의 온도를 유지하도록 설계된다.
- [0034] 몇몇 실시예에서, 표적 또는 기관(146) 이외의 구조체(154)가 뉴트릴 소스로 사용된다. 많은 유형의 구조체들이 사용될 수 있다. 예를 들어, 구조체(154)는 온도 제어기(150)(또는 다른 온도 제어기)에 의하여 냉각되고, 단위 면적당 비교적 큰 부피의 원자 또는 분자를 흡수하도록 설계된 표면 지형을 갖는 구조체일 수 있다. 예를 들어, 구조체(154)는 수직 및 수평 표면 모두에서 막을 흡수하는 복수의 고 종횡비 지형들을 가질 수 있다.
- [0035] 또한, 일 실시예에서, 막층(146')을 흡수하는데 사용되는 제어된 가스량은 기관(146)상에서의 막층(146')의 제 흡수를 향상시키기 위하여 바이어스 전압 전력 공급기(148)에 의해 발생된 바이어스 전압 펄스에 대하여 미리 설정된 시간에 기관(146)으로 인도된다. 다양한 실시예에서, 가스는 플라즈마 도핑을 위하여 사용되는, 도펀트 종 및 희석 가스를 포함하는, 가스 소스(104)의 가스와 동일한 가스일 수 있거나, 상이한 가스일 수 있다. 일 특정 실시예에서, 별개의 흡수 가스가 제2 외부 가스 소스(156) 및 기관(146) 및/또는 구조체(154) 쪽으로 인도되는 노즐(nozzle, 158)에 의하여 공급된다. 밸브(160)는 유량 및 노즐(158)을 통한 흡수 가스의 배출 타이밍을 제어한다.
- [0036] 다양한 실시예에서, 노즐(158)은 단일 노즐 또는 노즐 어레이일 수 있다. 또한, 별개의 가스 소스를 갖는 복수의 노즐이 사용될 수 있다. 하나보다 많은 유형의 가스가 복수의 노즐로부터 분배될 수 있다. 노즐(158)은 또한 기관(146) 또는 구조체(154)에 대해 상대적인 다양한 위치에 위치할 수 있다. 예를 들어, 일 실시예에서, 노즐(158)은 기관(146) 또는 구조체(154) 상부에 직접 위치한다. 또한, 몇몇 실시예에서, 가스 배플은 기관(146) 또는 구조체(154) 근처에서 흡수 가스의 부분 압력을 국소적으로 증가시키기 위하여 기관(146) 또는 구조체(154)

가까이에 위치한다. 또한, 몇몇 실시예에서, 노즐(158)은 플라즈마에 전기적 접지(ground)를 제공하는 양극(anode)에 위치한다.

[0037] 몇몇 실시예에서, 바이어스 전압 전력 공급기(148)의 제어 출력(control output)은 바이어스 전압 전력 공급기(148)에 의해 발생된 펄스 및 밸브(160)의 작동이 시간상으로 동기화되도록 밸브(160)의 제어 입력에 전기적으로 연결된다. 다른 실시예에서, 제어기는 흡수가스가 재흡수 시간 동안 기관(146) 또는 구조체(154) 가까이에 투입되도록 바이어스 전압 전력 공급기(148) 및 밸브(160) 모두의 작동을 제어하는데 사용된다. 재흡수는 전형적으로 플라즈마 도핑이 중단되는 동안 수행된다. 그러나, 재흡수는 플라즈마 도핑 동안에 또한 수행될 수 있다.

[0038] 본 발명의 일 실시예에서, 플라즈마 도핑 시스템은 흡수된 막(146')을 급속히 탈착하는 방사 펄스 또는 버스트(burst)를 공급하는 방사원(152)을 포함한다. 다양한 형태의 방사원이 사용될 수 있다. 예를 들어, 다양한 실시예에서, 방사원(152)은 플래시 램프, 레이저 또는 발광 다이오드와 같은 광원일 수 있다. 또한, 방사원(152)은 전자빔 소스 또는 엑스레이 소스일 수 있다. 몇몇 실시예에서, 플라즈마 자체가 방사를 발생시킨다.

[0039] 당해 분야의 기술자는 본 발명의 특징과 함께 사용될 수 있는 플라즈마 소스(101)의 많은 다양한 가능한 변형들이 있음을 이해할 것이다. 예를 들어, '경사 플라즈마 도핑'이란 명칭으로 2005. 4. 25일자 출원된 미국 특허 출원번호 제10/908,009호의 플라즈마 소스의 기재를 참조할 수 있다. 또한, '컨포멀 도핑 장치 및 방법'이란 명칭으로 2005. 10. 13일자 출원된 미국 특허 출원번호 제11/163,303호의 플라즈마 소스의 기재를 참조할 수 있다. 또한, '컨포멀 도핑 장치 및 방법'이란 명칭으로 2005. 10. 13일자 출원된 미국 특허 출원번호 제11/163,307호의 플라즈마 소스의 기재를 참조할 수 있다. 또한, '전자적으로 조절가능한 주입각을 구비한 플라즈마 도핑'이란 명칭으로 2006. 12. 4일자 출원된 미국 특허 출원번호 제11/566,418호의 플라즈마 소스의 기재를 참조할 수 있다. 미국 특허 출원번호 제10/908,009호, 제11/163,303호, 제11/163,307호 및 제11/566,418호의 전체 명세서는 여기에 참고문헌으로 포함된다.

[0040] 작동시, RF 소스(130)는 RF 안테나들(126,128) 중 적어도 하나에서 전파하는 RF 전류를 발생시킨다. 즉, 평면 코일 RF 안테나(126) 및 나선 코일 RF 안테나(128) 중 적어도 하나는 활성 안테나(active antenna)이다. 용어 '활성 안테나'는 본원에서 전력 공급기에 의하여 직접 구동되는 안테나로 정의된다. 본 발명의 플라즈마 공정 장치의 많은 실시예들에서, RF 소스(130)는 펄스 모드에서 작동한다. 그러나 RF 소스(130)는 연속 모드(continuous mode)에서도 작동할 수 있다.

[0041] 몇몇 실시예들에 있어서, 평면 코일 안테나(126) 및 나선 코일 안테나(128) 중 하나는 기생 안테나이다. 용어 '기생 안테나'는 여기에서 활성 안테나와 전자기 통신을 하나, 전력 공급기에 직접 연결되지 않은 안테나를 뜻하는 것으로 정의된다. 달리 말해, 기생 안테나는 전력 공급기에 의해 직접 여기되지 않고, 기생 안테나와 전자기 통신에 위치되는 활성 안테나에 의해 여기된다. 도 1에 도시된 실시예에서, 활성 안테나는 RF 소스(130)에 의하여 전력이 공급되는 평면 코일 안테나(126) 및 나선 코일 안테나(128) 중 하나이다. 발명의 몇몇 실시예들에 있어서, 기생 안테나의 일단은 안테나 동조 기능을 제공하기 위하여 접지 전위에 전기적으로 연결된다. 이 실시예에서, 기생 안테나는 기생 안테나 코일에서 유효 권선수를 변경하는데 사용되는 코일 조정기(150)를 포함한다. 급속 단락과 같은 수많은 다양한 형태의 코일 조정기가 사용될 수 있다.

[0042] RF 안테나(126,128)의 RF 전류는 그 후에 챔버(102) 내로 RF 전류를 유도한다. 챔버(102)의 RF 전류는 챔버(102)에 플라즈마를 발생하도록 공정 가스를 여기하고 이온화한다. 플라즈마 챔버 라이너(125)는 플라즈마의 이온에 의하여 스퍼터링된 급속이 기관(146)에 도달하는 것을 차폐한다.

[0043] 바이어스 전압 전력 공급기(148)는 플라즈마 내의 이온을 기관(146) 쪽으로 끌어당기는 음 전압으로 기관(146)을 바이어스 한다. 음 전압 펄스 동안, 플라즈마 쉬스 내의 전기장은 이온을 기관(146) 쪽으로 가속하여 이온을 기관(146)의 표면에 주입한다.

[0044] 이온 주입용 이온을 산란시키는 뉴트럴을 생성하기 위해 막층을 흡수하고 그 후에 막층을 탈착하는 공정이 플라즈마 도핑의 정합성을 높이기 위해 사용된다. 다양한 형태의 외부 뉴트럴 소스가 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 기관(146) 자체가 뉴트럴 소스이다. 이 실시예에서, 기관(146)은 온도 제어기(150)에 의해 원자 또는 분자의 층(146')을 흡수하는 온도까지 냉각된다. 예를 들어, 기관(146)은 도펀트 종의 층 및 외부 가스 소스(104)에 의해 공급된 공정 가스에 존재하는 희석 가스의 층 중의 적어도 하나를 흡수하기 위하여 온도 제어기(150)에 의해 냉각될 수 있다. 예를 들어, AsH₃ 또는 B₂H₆와 같은 도펀트 종이 사용된다.

[0045] 또한, 기관(146)은 기관(146)이 가스 분자를 흡수하도록 기관(146)을 플라즈마 도핑 시스템(100)으로 적재

(load)하기 전에 미리 냉각될 수 있다. 그러나, 기관(146)이 적재 이전에 미리 냉각될 경우, 도핑 공정을 간섭하지 않을 원자 및 분자만 흡수되도록 조심해야 한다. 일 실시예에서, 기관(146)이 도펀트 중 및/또는 희석 가스 중 하나의 층만이 기관(146)의 표면상에 흡수되도록 이온 주입용으로 사용되는 도펀트 중 또는 희석 가스의 존재하에서 미리 냉각된다.

[0046] 다른 실시예에서, 표적 또는 기관(146) 이외의 구조체(154)가 뉴트럴 소스로서 사용된다. 다양한 형태의 구조체가 사용될 수 있다. 구조체(154)는 단위 면적당 비교적 높은 부피의 원자 또는 분자를 흡수하도록 설계된 표면 지형을 갖는 구조일 수 있다. 몇몇 실시예에서, 구조체(154)는 온도 제어기(150)에 의하여 냉각된다. 또는 별개의 온도 제어기가 사용될 수 있다. 다른 실시예에서, 구조체(154)는 구조체(154)를 플라즈마 도핑 시스템(100)에 삽입하기 전에 미리 냉각된다. 이러한 실시예들에서, 구조체(154)는 도핑 공정을 간섭하지 않을 원자 및 분자만 흡수되는 환경에서 미리 냉각된다. 예를 들어, 구조체(154)는 도펀트 중 및/또는 희석 가스의 층만이 기관(146)의 표면상에 흡수되도록 이온 주입용으로 사용되는 도펀트 중 또는 희석 가스의 존재하에서 미리 냉각될 수 있다.

[0047] 몇몇 실시예에서, 흡수 가스가 노즐(158)로부터 챔버(102)로 투입되고 기관(146)상에서 막층(146')의 재흡수를 향상시키기 위하여 기관(146)으로 인도된다. 흡수 가스는 플라즈마 도핑용으로 사용되는 가스 소스(104) 내의 도펀트 가스와 동일한 가스일 수 있으며 또는 방사원(152)에 의해 발생하는 방사에 노출되는 뉴트럴을 발생시키고 플라즈마 도핑 공정을 간섭하지 않는 다른 가스일 수 있다.

[0048] 몇몇 실시예에서, 바이어스 전압 전력 공급기(148)는 밸브(160)의 작동을 바이어스 전압 펄스의 생성과 시간상으로 동기화하는 전기적 신호를 밸브(160)로 보낸다. 다른 실시예에서, 제어기가 밸브(160)의 작동을 바이어스 전압 펄스의 생성과 시간상으로 동기화하는 전기적 신호를 밸브(160) 및 바이어스 전압 전력 공급기(148) 모두로 보낸다. 예를 들어, 제어기 또는 바이어스 전압 전력 공급기(148)는, 플라즈마 도핑이 중단되었을 때 흡수 가스가 재흡수 시간 동안 기관(146) 또는 구조체(154) 근처에 투입되도록, 밸브(160)를 여는 신호를 밸브(160)로 보낸다.

[0049] 흡수된 막층(146')은 그 후에 방사원(152)에 노출됨으로써 탈착된다. 많은 실시예에서, 흡수된 막층(146')은 급속히 탈착된다. 일 실시예에서, 흡수된 막층(146')은 플래시 램프, 레이저 및/또는 발광 다이오드와 같은 광 방사원에 노출됨으로써 탈착된다. 예를 들어, 가시광선 및/또는 자외선을 방출하는 플래시 램프가 흡수된 막층(146')을 급속히 탈착하기 위하여 사용될 수 있다. 몇몇 실시예에서, 플라즈마 소스(101)에 의해 발생하는 플라즈마가 방사원이다. 이러한 실시예에서, 흡수된 막층(146')은 플라즈마 소스(101)에 의해 발생하는 플라즈마에 노출됨으로써 탈착된다. 예를 들어, 플라즈마 소스(101)는 흡수되는 막층(146')을 급속히 탈착하도록 선택된 파라미터를 갖는 펄스 플라즈마를 발생시킬 수 있다.

[0050] 그 후, 생성된 탈착 가스 원자 및/또는 분자는 더 컨포멀한 주입을 달성하기 위해 기관(146)으로 끌어당겨지는 플라즈마에 의해 발생된 이온을 산란시키는 국소적으로 높은 뉴트럴 밀도를 제공한다. 국소적으로 높은 뉴트럴 밀도를 도입하는 것은 플라즈마 소스(101)에서 전체 압력을 중대하게 증가시키지 않을 것이고, 따라서, 원치않는 전기적 방전을 중대하게 발생시키지 않거나 및/또는 플라즈마 도핑 균일성의 상당한 감소를 초래하지 않을 것이다.

[0051] 다른 실시예에서, 다른 유형의 방사원이 흡수된 막층(146')을 탈착하기 위해 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 일 실시예에서, 전자 빔 소스가 흡수된 막층(146')으로 인도되는 전자 빔을 발생시키기 위하여 사용된다. 전자 빔은 흡수된 막층(146')을 급속히 탈착시킨다. 탈착된 가스 원자 및/또는 분자는 그 후에 더 컨포멀한 이온 주입을 달성하기 위하여 기관(146)으로 끌어당겨지는 플라즈마로부터의 이온을 산란하는 국소적으로 높은 뉴트럴 밀도를 제공한다.

[0052] 본 발명의 또 다른 실시예에서, 엑스레이 소스가 흡수된 막층(146')으로 인도되는 엑스레이 빔을 발생시키기 위해 사용된다. 엑스레이 빔은 흡수된 막층(146')을 급속히 탈착한다. 탈착된 가스 원자 및/또는 분자는 그 후에 더 컨포멀한 주입을 달성하기 위하여 기관(146)으로 끌어당겨지는 플라즈마로부터의 이온을 산란하는 국소적으로 높은 뉴트럴 밀도를 제공한다.

[0053] 도 2A 내지 도 2C는 본 발명에 따른 컨포멀 플라즈마 도핑을 수행하기 위한 플라즈마의 발생 및 외부 소스(즉, 플라즈마 이외의 소스)로부터의 뉴트럴의 발생을 도시하는 타이밍 다이어그램이다. 본 발명의 일 실시예에서, 플라즈마 소스(101)는 컨포멀 플라즈마 도핑 동안 펄스 동작 모드에서 작동된다. 도 2A는 본 발명에 따른 플라즈마 도핑에 적합한 펄스 RF 파형을 예시한다. 펄스 RF 파형(200)은 RF 펄스(202)가 개시될 때까지 접지 전위에

있다. RF 펄스(202)는 플라즈마 도핑에 적합하도록 선택된 P_{RF} (204)와 동일한 전력 수준을 갖는다. RF 펄스(202)는 펄스 기간 T_p (206) 후에 중단되고 그 후에 접지 전위로 돌아간다. 펄스 RF 파형(200)은 그 후에 원하는 플라즈마 파라미터 및 뉴트럴을 생성하는데 사용되는 흡수 막층(146')의 재흡수율에 의하여 결정되는 듀티 사이클로 정기적으로 반복된다.

[0054] 도 2B는 플라즈마 도핑을 수행하기 위한 바이어스 기간 T_{Bias} (256) 동안 전압(254)으로 음 전압 펄스(252)를 기관(146)에 인가하는 바이어스 전압 공급기(148)에 의하여 발생하는 바이어스 전압 파형(250)을 예시한다. 음 전압(254)은 플라즈마 내의 이온을 기관(146) 쪽으로 끌어당긴다. 바이어스 기간 T_{Bias} (256)은 플라즈마가 바이어스 기간 T_{Bias} (256) 동안만 활성화되도록 펄스 RF 파형(200)의 펄스 기간 T_p (206)에 동기화될 수 있다. 바이어스 전압 파형(250)은 그 후에 원하는 플라즈마 공정 파라미터 및 또한 뉴트럴을 생성하는데 사용되는 흡수된 막층(146')의 재흡수율에 의하여 결정되는 듀티 사이클로 정기적으로 반복된다.

[0055] 다양한 실시예에서, 펄스 주파수 및 바이어스 전압 파형(250)의 듀티 사이클모두는 막(146')의 재흡수가 기관(146) 또는 구조체(154)상에서 발생하기에 충분한 시간이 있도록 선택된다. 예를 들어, 일 실시예에서, 펄스 주파수 및 바이어스 전압 파형(250)의 듀티 사이클은 충분한 재흡수가 개별 펄스 사이에서 발생하도록 선택된다. 다른 실시예에서, 바이어스 전압 파형(250)은 미리 설정된 갯수의 펄스를 갖는 펄스 열(pulse train) 및 미리 설정된 시간을 갖는 펄스 열 사이의 지연을 포함하며, 여기서 상기 지연(delay)은 막(146')상의 재흡수가 기관(146) 또는 구조체(154)상에서 발생하기에 충분하다. 예를 들어, 일 실시예에서, 펄스 열 사이의 지연이 밀리초 범위에 있고 100-1,000 펄스를 포함하는 펄스 열들을 갖는 바이어스 전압 파형(250)이 컨포멀 플라즈마 도핑을 위한 충분한 뉴트럴을 발생시키기 위하여 사용된다.

[0056] 도 2C는 본 발명에 따른 뉴트럴을 발생시키기 위하여 흡수된 막층(146')을 탈착하는 방사원의 강도 I (282) 파형을 예시한다. 도 2C에 도시된 실시예에서, 방사원의 강도 I (282)는 RF 펄스(202)의 개시(onset)에서 급속히 펄스된다. 다양한 다른 실시예에서, 방사원의 강도 I (282)는 더욱 점진적으로 개시될 수 있다는 것이 이해되어야 한다. 또한, 도 2C에서 도시된 실시예에서, 방사 기간 T_R (284)은 펄스 기간 T_p (206) 및 바이어스 기간 T_{Bias} (256)의 부분이다. 다양한 실시예에서, 방사 기간 T_R (284)은 펄스 기간 T_p (206) 및/또는 바이어스 기간 T_{Bias} (256)과 동일하거나 펄스 기간 T_p (206) 및/또는 바이어스 기간 T_{Bias} (256)보다 길 수 있다. 방사 기간 T_R (284)의 원하는 길이는 막(146')의 재흡수율 및 강도 I (282)와 관련된다.

[0057] 방사원(152)은 플라즈마 내의 이온을 기관(146)쪽으로 끌어당기는 음 전압 펄스(252)로 기관(146)을 바이어스하는 바이어스 전압 전력 공급기(148)에 동기화될 수 있다. 예를 들어, 방사원(152)은 방사원이 컨포멀 플라즈마 도핑을 위하여 이온을 기관(146)으로 끌어당기는 음 전압 펄스(252) 바로 전, 또는 음 전압 펄스(252)와 동시에 방사의 버스트를 제공하도록 바이어스 전압 전력 공급기(148)와 동기화될 수 있다. 펄스 RF 파형(200)의 듀티 사이클은 흡수된 막층(146')이 음 전압 펄스(252) 사이에서 충분히 재흡수되도록 선택된다.

[0058] 당해 분야의 기술자는 컨포멀 도핑을 위한 본 발명이 종래 빔 라인 이온 주입 시스템에서 또한 사용될 수 있음을 이해할 것이다. 빔 라인 이온 주입 시스템은 당해 기술에서 공지되어 있다. 이러한 시스템들의 표적 또는 기관은 본원에서 개시된 막을 흡수하기 위하여 사용될 수 있다. 또한, 도 1과 관련하여 기술된 구조체(154)와 같은 구조가 본 발명에 다른 막을 흡수하기 위하여 사용될 수 있다. 방사원은 그 후에 본원에서 기술한 뉴트럴을 발생시키기 위하여 흡수된 막을 탈착하기 위하여 사용될 수 있다. 뉴트럴은 이온 빔으로부터 이온을 산란하고, 이로써 더 컨포멀한 이온 주입 프로파일을 주입한다.

[0059] 본 발명이 다양한 실시예 및 예들과 함께 설명되었지만, 본 발명은 그러한 실시예들에 한정되도록 의도되지 않는다. 오히려, 당업자에 의해 이해될 것인 바, 본 발명은 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않으면서 만들어질 수 있는 다양한 대안, 변형 및 균등물을 포함한다.

도면2

