



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년06월01일  
(11) 등록번호 10-1626565  
(24) 등록일자 2016년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/265 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2011-7012444  
(22) 출원일자(국제) 2009년10월27일  
심사청구일자 2014년09월02일  
(85) 번역문제출일자 2011년05월31일  
(65) 공개번호 10-2011-0091722  
(43) 공개일자 2011년08월12일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2009/062172  
(87) 국제공개번호 WO 2010/051266  
국제공개일자 2010년05월06일  
(30) 우선권주장  
61/110,475 2008년10월31일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
US0759521 B1  
US20050199946 A1  
US20060148220 A1  
US20060088784 A1

(73) 특허권자  
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드  
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애  
브뉴 3050  
(72) 발명자  
포시네브, 피터 아이.  
미국 95132 캘리포니아 샌어제이 시에라 빌리지  
플레이스 1255  
스콧나-캐슬, 매튜 디.  
미국 95037 캘리포니아 모건 힐 존 텔퍼 드라이브  
17045  
포아드, 마지드 아리  
미국 94087 캘리포니아 써니베일 웨라톤 드라이브  
640  
(74) 대리인  
특허법인 남앤드남, 남상선

전체 청구항 수 : 총 15 항

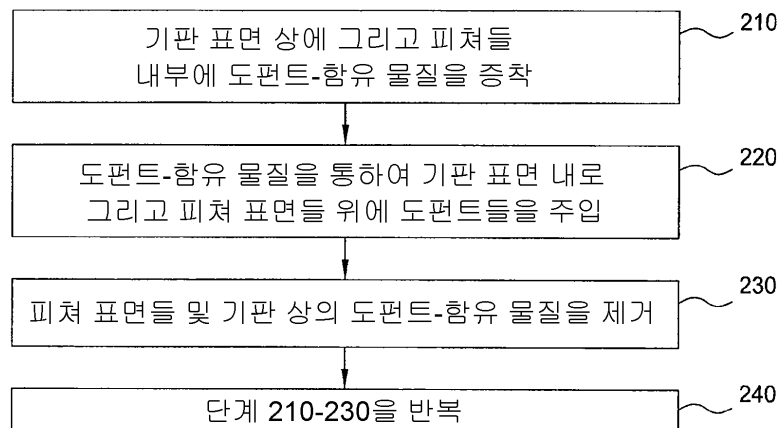
심사관 : 퇴\_김상연

(54) 발명의 명칭 P3I 챔버에서 동작 도핑의 개선

(57) 요약

플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스에 의해 기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법들이 제공된다. 일 실시예에서, 기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법은 처리 챔버 내에 기관을 제공하는 단계 - 상기 기관은 하나 또는 둘 이상의 피쳐들이 내부에 형성된 기관 표면을 포함하고, 각각의 피쳐는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 가짐 -; 이온들을 생성하도록 구성된 반응 가스를 포함하는 가스 혼합물로부터 플라즈마를 발생시키는 단계; 상기 기관 표면 상에 그리고 상기 기관 피쳐의 적어도 하나의 수평 표면 상에 물질층을 증착하는 단계; 상기 플라즈마로부터의 이온들을 등방성 프로세스에 의해 상기 기관 내에 그리고 적어도 하나의 수평 표면 내에 그리고 적어도 하나의 수직 표면 내에 주입하는 단계; 및 이방성 프로세스에 의해 상기 기관 표면 및 상기 적어도 하나의 수평 표면 상에서 상기 물질층을 식각하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

플라즈마 투입식(immersion) 이온 주입 프로세스에 의해 기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법으로서,

처리 챔버 내에 기관을 제공하는 단계 — 상기 기관은 하나 또는 둘 이상의 피쳐(feature)들이 내부에 형성된 기관 표면을 포함하고, 각각의 피쳐는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 가짐 —;

상기 기관을 제공하는 단계 이후, 상기 기관 표면 상에 그리고 상기 기관 표면의 하나 또는 둘 이상의 피쳐들의 적어도 하나의 수평 표면 상에 물질층을 증착하는 단계;

상기 물질층을 증착하는 단계 동안 또는 그 이후, 등방성(isotropic) 프로세스에 의해 플라즈마로부터의 이온들을 상기 수평 표면들 중 적어도 하나 및 상기 수직 표면들 중 적어도 하나 내에 주입하는 단계; 및 그 다음에,

이방성(anisotropic) 프로세스에 의해 상기 기관 표면 및 상기 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들을 식각하는 단계

를 포함하는 기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 플라즈마로부터의 이온들을 주입하는 단계 및 상기 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들을 식각하는 단계는 하나 또는 둘 이상의 사이클들에서 순차적으로 수행되는,

기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 3

플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스에 의해 기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법으로서,

처리 챔버 내에 기관을 제공하는 단계 — 상기 기관은 하나 또는 둘 이상의 피쳐들이 내부에 형성된 기관 표면을 포함하고, 각각의 피쳐는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 가짐 —;

상기 기관을 제공하는 단계 이후, 이온들을 생성하도록 구성된 반응 가스를 포함하는 가스 혼합물로부터 플라즈마를 발생시키는 단계;

상기 플라즈마를 발생시키는 단계 이후, 상기 기관 표면 상에 그리고 상기 수평 표면들 중 적어도 하나 상에 상기 플라즈마로부터 물질층을 증착하는 단계;

상기 플라즈마를 발생시키는 단계 이후, 상기 플라즈마로부터의 이온들을 등방성 프로세스에 의해 상기 기관 내에, 그리고 상기 수평 표면들 중 적어도 하나 및 상기 수직 표면들 중 적어도 하나 내에 주입하는 단계;

상기 이온들을 주입하는 단계 이후, 상기 수평 표면들 중 적어도 하나로부터 상기 수직 표면들 중 적어도 하나로 상기 물질층의 일부분, 상기 주입된 이온들의 일부분, 또는 이들의 조합물들을 스퍼터링하는 단계; 및

상기 물질층의 일부분을 스퍼터링하는 단계 이후, 등방성 프로세스에 의해 상기 기관 표면, 상기 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들, 및 상기 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 식각하는 단계

를 포함하는 기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 반응 가스는 붕소-함유 가스, 비소-함유 가스, 인-함유 가스 및 이들의 조합물들로 이루어진 그룹에서 선

택된 가스를 포함하는,  
기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,  
상기 반응 가스는  $B_2H_6$ ,  $AsH_3$ ,  $PH_3$ , 및 이들의 조합물들로 이루어진 그룹에서 선택된 가스를 포함하는,  
기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 6

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서,  
상기 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들을 식각하는 단계는,  
    할로젠-함유 가스로부터 선택된 식각 가스를 제공하는 단계; 및  
    상기 할로젠-함유 가스로부터 플라즈마를 발생시키는 단계를 포함하는,  
기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 7

제 6 항에 있어서,  
상기 식각 가스는 불활성 가스 또는 수소 가스를 더 포함하는,  
기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 8

제 3 항에 있어서,  
상기 플라즈마로부터의 이온들을 주입하는 단계, 상기 주입된 이온들을 스퍼터링하는 단계, 및 상기 하나 또는 둘 이상의 수평 표면을 식각하는 단계는 하나 또는 둘 이상의 사이클들에서 순차적으로 수행되는,  
기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 9

제 3 항에 있어서,  
상기 가스 혼합물로부터의 물질을 상기 기관 표면 상에 증착하는 단계 및 등방성 프로세스에 의해 상기 플라즈마로부터의 이온들을 상기 기관 내에 주입하는 단계는 동시에 수행되는,  
기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 10

제 1 항 또는 제 3 항에 있어서,  
상기 이온들은 100 Å 미만의 깊이로 주입되는,  
기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

#### 청구항 11

플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스에 의해 기관 내에 이온들을 주입하기 위한 방법으로서,  
처리 챔버 내에 기관을 제공하는 단계 — 상기 기관은 하나 또는 둘 이상의 피쳐들이 내부에 형성된 기관 표면을 포함하고, 각각의 피쳐는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 가짐 —;  
상기 기관을 제공하는 단계 이후, 이온들을 생성하도록 구성된 반응 가스를 포함하는 가스 혼합물로부터 플라즈

마를 발생시키는 단계;

상기 플라즈마를 발생시키는 단계 이후, 상기 기판 표면 상에 그리고 기판 피처의 상기 수평 표면들 중 적어도 하나 상에 물질층을 증착하는 단계;

상기 플라즈마를 발생시키는 단계 이후, 상기 플라즈마로부터의 이온들을 등방성 프로세스에 의해 상기 기판 내에, 그리고 상기 수평 표면들 중 적어도 하나 내에, 그리고 상기 수직 표면들 중 적어도 하나 내에 주입하는 단계; 및

상기 이온들을 주입하는 단계 이후, 상기 수평 표면들 중 적어도 하나로부터 상기 수직 표면들 중 적어도 하나로, 상기 물질층의 일부분, 상기 주입된 이온들의 일부분, 또는 이들의 조합물들을 스퍼터링하는 단계

를 포함하는 기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

## 청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 물질층을 증착하는 단계 및 상기 플라즈마로부터의 이온들을 주입하는 단계는 동시에 수행되는,

기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

## 청구항 13

제 3 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 주입된 이온들을 스퍼터링하는 단계는 상기 기판 표면을 불활성 가스 플라즈마에 노출하는 단계를 포함하는,

기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

## 청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 물질층을 증착하는 단계 및 상기 플라즈마로부터의 이온들을 주입하는 단계는 동일한 프로세스에서 수행되는,

기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

## 청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 물질층을 증착하는 단계, 상기 플라즈마로부터의 이온들을 주입하는 단계, 및 스퍼터링하는 단계는 동일한 챔버에서 수행되는,

기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 일반적으로 반도체 제조 프로세스들 및 디바이스(device)들의 분야에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 플라즈마 투입식(immersion) 이온 주입 프로세스에 의해 기판 내에 이온들을 주입하는 방법들에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 집적회로들은 기판(예, 반도체 웨이퍼) 상에 형성되어 상기 회로 내에서 다양한 기능들을 수행하도록 상호작용하는 백만개가 넘는 마이크로-전자 필드 효과 트랜지스터들(예, 상보형 금속-산화물-반도체(CMOS) 필드 효과 트랜지스터들)을 포함할 수 있다. CMOS 트랜지스터는 기판 내에 형성되는 소스 및 드레인 영역들 사이에 배치된 게이트 구조물을 포함한다. 게이트 구조물은 일반적으로 게이트 전극 및 게이트 유전체층을 포함한다. 게이트

전극은 게이트 유전체층 아래의 드레인 및 소스 영역들 사이에 형성된 채널 영역에서 전하 캐리어들의 흐름을 제어하기 위해 게이트 유전체층 위에 배치된다.

[0003] 이온 주입 프로세스는 전형적으로 이온들을 기판 내에 주입 또는 도핑하기 위해 사용되어, 기판 상에 목표된 프로파일 및 농도로 게이트 및 소스 드레인 구조물을 형성한다. 이온 주입 프로세스 동안, 상이한 프로세스 가스들 또는 가스 혼합물들은 이온 소스 중(species)을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 프로세스 가스들이 이온 주입 처리 챔버(예, 캘리포니아, 산타클레라의 어플라이드 머티어리얼스 사로부터 상업적으로 이용가능한 P3i 챔버) 내에 공급됨에 따라, 가스들에는 이온들을 해리(dissociate)시키기 위한 프로세스들이 수행되고, 그 다음에 이온들은 기판의 표면 내에 그리고 기판의 표면을 향하여 가속된다. 기판 표면으로 가속되는 이온들은 예를 들어 일방향성 운동과 같이, 전형적으로 선형 운동을 하기 때문에, 이온들은 대부분 구조물의 측면벽이 아니라 기판 표면 상에 형성되는, 예를 들어 패턴들 또는 트렌치들과 같은 구조물의 바닥부 표면 내에 주입된다. 비-등각(non-conformal) 이온 도핑은 기판 표면에 걸쳐서, 특히 기판 표면 내에 형성된 피쳐 한정물들(feature definitions) 내에 불충분한 및/또는 불균일한 이온 농도, 프로파일, 치수(dimension), 및 분포를 야기할 수 있으며, 이에 따라 전체 전기 디바이스 성능에 악영향을 줄 수 있다. 임계 치수들이 축소됨에 따라, 이온 주입의 정밀도가 더욱더 중요하게 된다.

[0004] 따라서, 기판 표면 상에 그리고 피쳐 한정물들 내에 이온들의 보다 등각인 주입을 제공하기 위한 개선된 이온 주입 프로세스가 필요하다.

### 발명의 내용

[0005] 밸런싱된(balanced) 식각-증착 프로세스를 갖는 플라즈마 투입식(immersion) 이온 주입 프로세스에 의해 기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법들이 제공된다. 일 실시예에서, 기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법은 처리 챔버 내에 기판을 제공하는 단계 - 상기 기판은 내부에 하나 또는 둘 이상의 피쳐(feature)들이 형성된 기판 표면을 갖고, 각각의 피쳐는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 가짐 -; 이온들을 생성하도록 구성된(adapted) 반응 가스를 포함하는 가스 혼합물로부터 플라즈마를 발생시키는 단계; 상기 기판 표면 상에 그리고 상기 기판 피쳐의 적어도 하나의 수평 표면 상에 물질층을 증착하는 단계; 상기 플라즈마로부터의 이온들을 등방성(isotropic) 프로세스에 의해 상기 기판 내에, 적어도 하나의 수평 표면 내에 그리고 적어도 하나의 수직 표면 내에 주입하는 단계; 및 이방성(anisotropic) 프로세스에 의해 상기 기판 표면 상에서 그리고 상기 적어도 하나의 수평 표면 상에서 상기 물질층을 식각하는 단계를 포함한다.

[0006] 다른 실시예에서, 기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법은 처리 챔버 내에 기판을 제공하는 단계 - 상기 기판은 내부에 하나 또는 둘 이상의 피쳐들이 형성된 기판 표면을 포함하고, 각각의 피쳐는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 가짐 -; 이온들을 생성하도록 구성된 반응 가스를 포함하는 가스 혼합물로부터 플라즈마를 발생시키는 단계; 상기 기판 표면 상에 그리고 상기 기판 피쳐의 적어도 하나의 수평 표면 상에 물질층을 증착하는 단계; 등방성 프로세스에 의해 상기 플라즈마로부터의 이온들을 상기 기판 내에, 적어도 하나의 수평 표면 및 적어도 하나의 수직 표면 내에 주입하는 단계; 상기 물질층의 일부분, 상기 주입된 이온들의 일부분, 또는 이들의 조합들을 상기 적어도 하나의 수평 표면으로부터 적어도 하나의 수직 표면으로 스퍼터링하는 단계; 및 등방성 프로세스에 의해 상기 기판 표면과 상기 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 식각하는 단계를 포함한다.

[0007] 다른 실시예에서, 기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법은 처리 챔버 내에 기판을 제공하는 단계 - 상기 기판은 내부에 하나 또는 둘 이상의 피쳐들이 형성된 기판 표면을 포함하고, 각각의 피쳐는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들을 가짐 -; 상기 기판 표면 상에 그리고 상기 기판 피쳐의 적어도 하나의 수평 표면 상에 물질층을 증착하는 단계; 이온들을 생성하도록 구성된 반응 가스를 포함하는 가스 혼합물로부터 플라즈마를 발생시키는 단계; 등방성 프로세스에 의해 상기 플라즈마로부터의 이온들을 상기 기판 내에, 적어도 하나의 수평 표면 및 적어도 하나의 수직 표면 내에 주입하는 단계; 및 이방성 프로세스에 의해 상기 기판 표면 상에서 그리고 상기 적어도 하나의 수평 표면 상에서 상기 물질층을 식각하는 단계를 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

[0008] 본 발명의 앞서 언급된 피쳐들이 상세히 이해될 수 있는 방식으로, 앞서 간단히 요약된 본 발명의 보다 특정한 설명은 실시예들을 참조로 이루어질 수 있으며, 실시예들의 일부는 첨부된 도면들에 도시된다. 그러나, 첨부된 도면들은 본 발명의 전형적인 실시예들만을 도시하므로, 그 범주를 제한하는 것으로 고려되어서는 안되며, 본

발명은 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있다는 점을 유의한다.

도 1a-1b는 본 발명을 실시하기 위해 적합한 플라즈마 투입식 이온 주입 툴(tool)의 일 실시예를 도시한다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스를 위한 방법을 도시하는 공정도를 도시한다.

도 3a-3d는 본 발명의 일 실시예에 따라 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스를 위한 방법의 개략적인 측면도들을 도시한다.

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따라 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스를 위한 방법을 도시하는 공정도를 도시한다.

도 5a-5d는 본 발명의 다른 실시예에 따라 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스를 위한 방법의 개략적인 측면도들을 도시한다.

이해를 촉진시키기 위해, 도면들에 공통적인 동일한 엘리먼트들을 지정하기 위해, 가능한 경우, 동일한 참조 번호들이 사용되었다. 일 실시예의 엘리먼트들 및 피쳐들은 추가적인 인용 없이 다른 실시예들에 유리하게 포함될 수 있다는 점이 고려된다.

그러나, 첨부된 도면들은 본 발명의 예시적인 실시예들만을 도시하므로, 그 범주를 제한하는 것으로 고려되어서는 안되며, 본 발명은 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있다는 점을 유의한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0009] 본 발명의 실시예들은 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스에 의해 기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법들을 제공한다. 본 발명은 그 중에서도, 기판 상에 형성되는 구조물들에 대한, 폴리(poly) 도핑, 카운터-폴리(counter-poly) 도핑, 울트라 셸로우 접합(ultra shallow junction), 및 등각 도핑(conformal doping)을 포함하는 게이트 구조물 또는 소스/드레인 영역 형성에 사용될 수 있지만, 이들에 제한되지 않는다. 이온 주입 프로세스는 DRAM, 로직 제품들, 및 플래시 메모리와 같은 상이한 애플리케이션들에 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 이온 주입 프로세스는 예를 들어 붕소-함유 가스와 같은, 반응 가스를 포함하는 가스 혼합물을 공급함으로써 수행된다. 플라즈마가 발생되어 가스 혼합물로부터 이온들을 해리시키고, 이에 따라 전기적으로 바이어싱된 기판을 향하여 가속되어 전기적으로 바이어싱된 기판 내에 주입, 및/또는 기판 표면 상의 물질층으로 증착되는 이온들의 소스를 형성한다. 주입된 이온들은 또한 도펀트들로 지칭될 수 있다. 증착된 물질은 부분적으로 또는 완전하게 제거되어 기판 표면에 배치된 도펀트 물질을 야기할 수 있다. 증착 및 제거 프로세스는 기판 표면에 배치된 구조물들의 바닥부 및 측벽에서 등각의 도핑 프로파일을 제공한다. 대안적으로, 증착된 물질은 스퍼터링될 수 있거나 그렇지 않으면 식각 프로세스 이전에 기판 표면 상에 재증착될 수 있다. 추가적인 대안적 실시예에서, 증착된 물질은 이온 주입 이전에 개별적인 프로세스에 의해 증착될 수 있다.

[0010] 도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따른 이온 주입 프로세스를 실시하기 위해 사용될 수 있는 플라즈마 처리 챔버(100)를 도시한다. 프로세스가 실시될 수 있는 한 가지 적합한 반응기 챔버는 캘리포니아, 산타클레라의 어플라이드 머티어리얼스 사로부터 이용가능한 P3i™ 반응기 챔버이다. 본 명세서에서 제시된 방법들은 다른 제조사들로부터의 것들을 포함하는 다른 적절하게 구성된 플라즈마 반응기들에서 실시될 수 있다는 점을 고려한다. 다른 적절한 반응기 챔버들은 2006년 8월 22일자로 발행된 미국특허번호 제7,094,670호 및 2002년 12월 17일자로 발행된 미국특허번호 제6,494,986호에 제시된 챔버들을 포함하며, 상기 두 특허들은 이로써 인용된 청구범위 및 본 명세서의 설명과 불일치 하지 않는(not inconsistent with) 범주까지 참조로 본 명세서에 포함된다.

[0011] 처리 챔버(100)는 프로세스 영역(104)을 둘러싸는, 바닥부(124), 최상부(126), 및 측벽들(122)을 갖는 챔버 몸체(102)를 포함한다. 기판 지지 어셈블리(128)는 챔버 몸체(102)의 바닥부(124)로부터 지지되고 처리를 위한 기판(106)을 수용하도록 구성된다. 가스 분배 플레이트(130)는 기판 지지 어셈블리(128)에 대향하는, 챔버 몸체(102)의 최상부(126)에 결합된다. 펌핑 포트(132)는 챔버 몸체(102) 내에 한정되고 진공 펌프(134)에 결합된다. 진공 펌프(134)는 스로틀 밸브(136)를 통하여 펌핑 포트(132)에 결합된다. 가스 소스(152)는 기판(106) 상에서 수행되는 프로세스들을 위한 기체 전구체(precursor) 화합물들을 공급하도록 가스 분배 플레이트(130)에 결합된다.

[0012] 도 1a에 도시된 처리 챔버(100)는 도 1b의 사시도에서 가장 잘 도시된 플라즈마 소스(190)를 추가적으로 포함한다. 플라즈마 소스(190)는 서로에 대해 가로지르도록(transverse)(또는 도 1b에 도시된 예시적인 실시예로서



서로 직교하도록) 배치되는, 챔버 몸체(102)의 최상부(126) 외부에 장착된 한 쌍의 개별적인 외부 요각형 도관들(reentrant conduits)(140, 140')을 포함한다. 제 1 외부 도관(140)은 최상부(126) 내에 형성된 개구(198)를 통하여 챔버 몸체(102) 내의 프로세스 영역(104)의 제 1 측면 안으로 결합된 제 1 단부(140a)를 갖는다. 제 2 단부(140b)는 프로세스 영역(104)의 제 2 측면 내에 결합된 개구(196)를 갖는다. 제 2 외부 요각형 도관(140')은 프로세스 영역(104)의 제 3 측면 내에 결합된 개구(194)를 갖는 제 1 단부(140a'), 및 프로세스 영역(104)의 제 4 측면 내로의 개구(192)를 갖는 제 2 단부(140b')를 갖는다. 일 실시예에서, 제 1 및 제 2 외부 요각형 도관들(140, 140')은 서로 직교하도록 구성되며, 이에 따라 챔버 몸체(102)의 최상부(126)의 주변 둘레에서 약 90도 간격들로 배치된 각각의 외부 요각형 도관들(140, 140')의 2개의 단부들(140a, 140a', 140b, 140b')을 제공한다. 외부 요각형 도관들(140, 140')의 직교 구성은 플라즈마 소스가 프로세스 영역(104)에 걸쳐서 균일하게 분배되도록 허용한다. 제 1 및 제 2 외부 요각형 도관들(140, 140')은 프로세스 영역(104) 내에서 플라즈마 분포를 제어하기 위해 사용되는 다른 구성들을 가질 수 있다는 점을 고려한다.

[0013] 자기적으로 투과성(magnetically permeable)인 링형 코어들(torroidal cores)(142, 142')은 외부 요각형 도관들(140, 140') 중 대응하는 외부 요각형 도관의 일부분을 둘러싼다. 전도성 코일들(144, 144')은 각각의 임피던스 정합 회로들 또는 엘리먼트들(148, 148')을 통하여 각각의 RF 플라즈마 소스 전력 소스들(146, 146')에 결합된다. 각각의 외부 요각형 도관들(140, 140')은 각각의 외부 요각형 도관들(140, 140')의 2개의 단부들(140a, 140b)(및 140a', 140b') 사이의 연속적인(절연성 환형 링(150, 150')이 없는 경우) 전기 경로를 방해(interrupt)하는 절연성 환형 링(150, 150')에 의해 각각 방해되는 중공형(hollow) 전도성 튜브이다. 기관 표면에서의 이온 에너지는 임피던스 정합 회로 또는 엘리먼트(156)를 통하여 기관 지지 어셈블리(128)에 결합된 RF 플라즈마 바이어스 전력 발생기(154)에 의해 제어된다.

[0014] 도 1a를 다시 참조하면, 프로세스 가스 소스(152)로부터 공급되는 기체 화합물들을 포함하는 프로세스 가스들은 오버헤드 가스 분배 플레이트(130)를 통하여 프로세스 영역(104) 내에 유입된다. RF 플라즈마 소스 전력 소스(146)는 전력 애플리케이션들, 즉 코어 및 코일(142, 144)로부터 도관(140)에 공급된 가스들로 결합되어, 외부 요각형 도관(140) 및 프로세스 영역(104)을 포함하는 제 1 폐쇄된 링형 경로에서 순환하는 플라즈마 전류를 생성한다. 또한, RF 플라즈마 소스 전력 소스(146')는 다른 전력 애플리케이션들, 즉 코어 및 코일(142', 144')로부터 제 2 도관(140') 내의 가스들로 결합되어, 제 1 링형 경로를 가로지르는(예를 들어, 직교하는) 제 2 폐쇄된 링형 경로에서 순환하는 플라즈마 전류를 생성한다. 제 2 링형 경로는 제 2 외부 요각형 도관(140') 및 프로세스 영역(104)을 포함한다. 각각의 경로들에서 플라즈마 전류들은 서로 동일하거나 약간 오프셋될 수 있는 각각의 RF 플라즈마 소스 전력 소스들(146, 146')의 주파수들에서 발진(oscillate)(예를 들어, 역방향)한다.

[0015] 일 실시예에서, 플라즈마 가스 소스(152)는 기관(106)에 주입되는 이온들을 제공하기 위해 사용될 수 있는 상이한 프로세스 가스들을 제공한다. 프로세스 가스들의 적절한 예들은  $B_2H_6$ ,  $AsH_3$ ,  $PH_3$ ,  $PF_3$ ,  $BF_3$ , 및 이들의 조합물들을 포함한다. 각 플라즈마 소스 전력 소스들(146, 146')의 전력은 이들의 조합된 효과가 프로세스 가스 소스(152)로부터 공급된 프로세스 가스들을 효율적으로 해리시키고 기관(106)의 표면에서 목표된 이온 플럭스(flux)를 생성하도록 동작된다. RF 플라즈마 바이어스 전력 발생기(154)의 전력은 선택된 레벨에서 제어되며, 상기 선택된 레벨에서, 프로세스 가스들로부터의 해리(dissociation)에 의해 형성된 이온들은 기관 표면을 향하여 가속될 수 있고 목표된 이온 주입량(dose)으로 기관(106)의 최상부면 아래에 목표된 깊이로 주입될 수 있다. 제어되는 RF 플라즈마 소스 전력 및 RF 플라즈마 바이어스 전력의 조합은 처리 챔버(100) 내에서 충분한 운동량(momentum) 및 목표된 이온 분포를 갖는 가스 혼합물에서 이온을 해리시킨다. 이온들은 기관 표면을 향하여 바이어싱되고 추진(drive)되며, 이에 따라 기관 표면으로부터 목표된 이온 농도, 분포 및 깊이로 기관 내에 이온들을 주입한다.

[0016] 예를 들어, 약 200 W 미만과 같은 상대적으로 낮은 RF 바이어스 전력으로, 상대적으로 낮은 플라즈마 이온 에너지가 달성될 수 있다. 낮은 이온 에너지를 갖는 해리된 이온들은 기관 표면으로부터 약 1Å 내지 약 100Å의 얇은 깊이로 주입될 수 있다. 대안적으로, 약 1000 W 보다 높은 것과 같은, 높은 RF 바이어스 전력으로부터 제공 및 발생하는 높은 이온 에너지를 갖는 해리된 이온들은 기관 표면으로부터 실질적으로 100Å을 초과하는 깊이를 가지면서 기관 내에 주입될 수 있다. 더욱이, 공급된 프로세스 가스들과 상이한 타입들의 이온 중 및 제어되는 이온 에너지는 이온들이 기관(106) 내에 주입되어, 기관(106) 상에 게이트 구조물 및 소스 드레인 영역과 같은 목표된 디바이스 구조물들을 형성하도록 허용한다.

[0017] 도 2, 3a-3d 및 도 4, 5a-5d에서 본 명세서에 제시된 프로세스는 종래의 프로세스들에 비해 개선된 등각성(conformality)을 제공하는 것으로 관찰되었다. 등각성은 피쳐 한정물(feature definition)의 모든 표면에서의

도펀트의 주입이며 등각성 비율(conformality ratio)로 표시된다. 등각성 비율은 측벽 도펀트 주입량(즉, 투여량(dose)) 대 피처 바닥부 및/또는 최상부면 도펀트 주입량의 비율로서 정의된다. 예를 들어, 구조물 최상부면에서의 붕소와 같은 도펀트 주입량(주입은 웨이퍼 표면에 수직인 수직 방향임)이 약  $10^{16}$  atoms/cm<sup>2</sup>이고, 구조물 측벽으로의 도펀트 주입량이 약  $7 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>2</sup>인 경우, 등각성 비율은 약 70%일 것이다. 등각성 비율은 본 명세서에서 제시된 주입 프로세스들에 의해 약 20% 내지 약 90%일 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에서 제시된 프로세스들에 따라, 붕소는 약 50% 내지 약 90%의 등각성으로 주입될 수 있고, 비소는 약 20% 내지 약 30%의 등각성으로 주입될 수 있다.

[0018] 도 2 및 도 3a-3d를 참조하면, 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스에 의해 기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법이 설명된다. 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스를 위한 방법을 도시하는 공정도를 도시한다. 도 3a-3d는 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스를 위한 방법의 개략적인 측면도들을 도시한다.

[0019] 상기 방법은 본 명세서의 도 1a-1b에 제시된 것처럼, 처리 챔버(100)와 같은 플라즈마 투입식 이온 주입 처리 챔버에서 수행될 수 있거나, 또는 다른 적절하게 구성된 챔버에서 수행될 수 있다.

[0020] 상기 방법은 처리 챔버(100) 내에 기판을 제공함으로써 시작된다. 일 실시예에서, 기판은 실리콘 산화물, 실리콘 탄화물, 결정성 실리콘(예를 들어, Si<100> 또는 Si<111>), 변형(strained) 실리콘, 실리콘 게르마늄, 도핑된 또는 도핑되지 않은 폴리실리콘, 도핑된 또는 도핑되지 않은 실리콘 웨이퍼들, 도핑된 실리콘, 게르마늄, 갈륨 비소, 갈륨 질화물, 유리, 및 사파이어와 같은 물질일 수 있다. 기판은 직사각형 및 정사각형 패널(panel)들 뿐만 아니라, 200mm 또는 300mm 직경 웨이퍼들과 같은 다양한 치수들을 가질 수 있다. 달리 언급되지 않는 한, 본 명세서에서 제시되는 실시예들 및 예들은 300mm 직경을 갖는 기판들 상에서 수행된다. 기판이 게이트 구조물을 형성하기 위해 사용되는 실시예들에서, 폴리실리콘층은 기판 상의 게이트 유전체층 상에 배치될 수 있다.

[0021] 피처(310)는 도 3a에 도시된 것처럼 기판(300) 내에 형성될 수 있다. 피처는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들(312) 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들(314)을 가질 수 있다. 기판(300)은 도핑될 물질을 포함할 수 있는데, 예를 들어 p형 도핑을 위한 n형 물질 또는 n형 도핑을 위한 p형 물질을 포함할 수 있다. 기판 표면의 상부면은 목표된 구조물을 위해 도핑될 수 있는 물질(316)을 포함할 수 있거나, 또는 부가적인 피처들(310)로부터 도펀트 분리(isolation)를 제공하기 위해 도핑되지 않을 수 있다.

[0022] 210에서, 증착을 위한 물질을 제공하거나/제공하고 주입 프로세스를 위한 이온 종을 제공할 수 있는 가스 혼합물은 도 1a의 처리 챔버(100)와 같은 처리 챔버 내에 공급된다. 가스 혼합물은 도 1a에 도시된 바와 같이, 프로세스 가스 소스(152)로부터 가스 분배 플레이트(130)로 공급될 수 있거나, 또는 다른 적절한 수단에 의해 공급될 수 있다.

[0023] 일 실시예에서, 처리 챔버 안으로 공급되는 가스 혼합물은 반응 가스를 포함한다. 반응 가스는 예를 들어 종래의 플라즈마 강화 화학적 기상 증착 프로세스로부터의 붕소, 갈륨, 비소, 인(phosphorous), 및 이들의 조합물들을 포함하는 도펀트 물질을 기판 표면 상에 그리고 피처들 내에 증착 및/또는 주입을 위해 제공할 수 있다. 일 실시예에서, 물질층을 증착하기 위해 사용될 수 있는 반응 가스들은 B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, AsH<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub>, PF<sub>3</sub>, BF<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, GaN, AsF<sub>5</sub>, 및 이들의 조합물들을 포함한다.

[0024] 증착된 도펀트-함유 물질층(340)은 등방성 또는 이방성 프로세스에 의해 증착될 수 있다. 도 3b는 이방성 프로세스에 의한 물질의 증착을 도시하며, 물질층(340)은 기판 피처(310) 및 기판의 수평 표면들(312) 상에 주로 형성된다. 도펀트-함유 물질층(340)은 약 5Å 내지 약 1000Å의 두께, 예를 들어 약 50Å 내지 약 100Å의 두께로 증착될 수 있다. 도펀트-함유 물질층(340)은 P3i 챔버에서의 RF 방전으로부터, 이방성 플라즈마 환경과 같은 플라즈마 프로세스에 의해 증착될 수 있다.

[0025] 반응 가스는 또한 220에서, 기판 내에 주입될 목표된 이온들을 제공할 수 있다. 주입될 이온들은 또한 도펀트 또는 도펀트 종으로 지칭될 수 있다. 예를 들어, 반응 가스는 기판의 도핑된 영역의 목표된 전기적 성능 및/또는 물리적 특성들을 생성하기 위해 전기 디바이스 내에 활성 도펀트들을 형성하기 위해 사용되는, 붕소, 갈륨, 비소, 인 및 이들의 조합물들과 같은 목표된 도펀트 종들의 소스를 제공할 수 있다.

[0026] 일 실시예에서, 이온 종 소스를 제공하기 위해 사용될 수 있는 반응 가스들은 B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, AsH<sub>3</sub>, PH<sub>3</sub>, PF<sub>3</sub>, BF<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, GaN, AsF<sub>5</sub>, 및 이들의 조합물들을 포함한다. 예를 들어, 반응 가스가 B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 가스인 실시예들에서, B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 가스는



$B_2H_5^+$ ,  $BH_2^+$  및  $H^+$  이온들의 형태로 이온 종을 생성하기 위해 주입 프로세스 동안 해리될 수 있다. 도 3c는 등방성 프로세스에 의한 기관 피쳐(300)의 수평(바다부; 312) 및 수직 표면들(측벽들; 314) 상에서의 이온들/도펀트들(350)의 주입 깊이를 도시한다. 주입되는 도펀트들(350)은 P3i 챔버의 RF 방전으로부터, 등방성 플라즈마 이온 환경과 같은 플라즈마 프로세스에 의해 주입될 수 있다.

[0027] 도펀트-함유 물질층(340)의 증착 및 도펀트들(350)의 이온 주입은 하나 또는 둘 이상의 플라즈마 증착 및 플라즈마 이온 주입 프로세스들에 의해 연속적으로 또는 동일한 프로세스에서 동시에 동일한 시간에 수행될 수 있다. 이온 주입 및 증착 프로세스의 일 실시예에서, 도펀트-함유 물질층(340)은 단계 210에서 증착된 다음, 물질층은 도 3b-3c에 도시된 것처럼, 하부에 놓이는 기관 표면을 위한 주입 프로세스의 단계 220에서 이온들, 도펀트들(350)로 충격이 가해진다. 이온 주입 및 증착 프로세스의 다른 실시예에서, 도펀트-함유 물질층(340)은 단계 210에서 증착되고, 도 3b에 도시된 프로세스 단계 없이, 도 3c에 도시된 것처럼, 도펀트들(350)은 동시에 동일한 시간에 동일한 프로세스 단계로 단계 220에서 주입된다. 두 프로세스들은 처리 챔버 내에서 인시튜(in situ)로 수행될 수 있거나, 또는 진공을 차단하지 않으면서 동일한 처리 툴 상에 배치된 챔버들에서 인시튜로 수행될 수 있으며, 이에 따라 기관의 단일 처리 통과 동안 프로세스들이 수행되도록 허용한다.

[0028] 본 발명의 일 실시예에서, 증착된 물질 및 주입된 이온들은 기관 표면 내의 붕소 이온들 및 기관의 표면 상의 붕소 증착층과 같이, 동일한 원소를 갖는다. 대안적으로, 이온들, 도펀트 종들, 및 증착 물질, 증착 종들은 도펀트 종으로서 붕소 그리고 증착 종으로서 실란과 같이, 상이한 원소들을 갖는다.

[0029] 220에서, 이온 주입 프로세스는 가스 혼합물로부터 생성된 이온들을 기관 내로 주입하기 위해 수행된다. RF 소스 전력은 처리 챔버 내의 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하기 위해 인가된다. 플라즈마는, 이온 종으로서 가스 혼합물을 해리시켜서 기관 내에 주입하기 위해 가스 혼합물에서 임의의 유량 변화들 동안 연속적으로 발생된다. RF 바이어스 전력은 가스 혼합물로부터 이온 종을 해리시켜서 해리된 이온 종을 기관 표면을 향해 그리고 기관 표면으로부터 목표된 깊이로 추진시키기 위해 RF 소스 전력과 함께 인가될 수 있다. 처리 챔버에 인가된 RF 소스 및 바이어스 전력은 목표된 에너지 레벨에서 제어될 수 있고, 이에 따라 이온 종이 해리되어 기관에서 목표된 주입량 및 깊이로 도핑될 수 있도록 허용한다. 앞서 설명된 프로세스의 일 실시예에서, 도펀트들로도 또한 공지된 이온들은 약  $5 \times 10^{14}$  atoms/cm<sup>2</sup> 내지 약  $5 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>2</sup> 범위의 주입량에서 100Å 미만의 깊이로 주입될 수 있다. 이온 주입 프로세스는 도펀트-물질 증착을 유발할 수 있다. 도펀트들의 농도는 atoms/cm<sup>3</sup>으로 표현되고 도펀트들의 주입량/투여량으로부터 계산될 수 있다.

[0030] 프로세스의 일 실시예에서, 이온 주입은 도 3a 및 3c에 도시된 것처럼 하나의 처리 단계에서 제어되는 증착으로 수행된다. 그러한 증착 및 주입 프로세스에서, 소스 RF 전력은 약 100와트 내지 약 5,000와트에서 유지될 수 있다. 바이어스 RF 전력은 약 100볼트 내지 약 15,000볼트의 RF 전압에서 약 100와트 내지 약 10,000와트로 유지될 수 있다. 챔버 압력은 약 1 mTorr 내지 약 500 mTorr에서 유지될 수 있다. 기관 온도는 약 10°C 내지 약 500°C에서 유지될 수 있다.

[0031] 다른 실시예에서, 처리 챔버 내에 공급된 가스 혼합물은 불활성 가스를 포함할 수 있다. 적절한 불활성 가스들의 예들은 N<sub>2</sub>, Ar, He, Xe, 및 Kr 등을 포함한다. 처리 챔버 내의 불활성 가스는 가스 혼합물에서의 이온 충격을 촉진시키고, 이에 따라 프로세스 가스 충돌의 확률을 효율적으로 증가시킬 수 있고, 이온 종의 감소된 재결합을 유발한다. 불활성 가스는 약 10 sccm 내지 약 2,000 sccm의 레이트에서, 예를 들어 약 50 sccm 내지 약 500 sccm의 레이트에서 처리 챔버 내로 유동될 수 있다.

[0032] 동시적인 증착 및 주입 프로세스의 일 실시예는 디보란(diborane)(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 또는 아르신(arsine)(AsH<sub>3</sub>)과 같은 반응 가스를 약 10sccm 내지 약 1,000sccm의 유량에서, 예를 들어 약 50 sccm 내지 약 100 sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 제공하는 단계; 약 200볼트 내지 약 10,000볼트(V)의 전압에서, 예를 들어 약 500V 내지 약 1,500V의 전압에서 바이어스를 인가하는 단계; 약 1 mTorr 내지 약 100 mTorr, 예를 들어 약 7 mTorr 내지 약 15 mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 15°C 내지 약 500°C, 예를 들어 약 25°C 내지 약 45°C의 웨이퍼 척 온도를 유지하는 단계를 포함하고, 주입 프로세스는 약 100W 내지 약 2,000W의 소스 전력, 예를 들어 약 200W 내지 약 300W의 소스 전력에서, 약 1초 내지 약 60초의 지속시간(duration), 예를 들어 약 10초 내지 약 30초의 지속시간에서 이루어진다.

[0033] 그러한 프로세스의 일 예는 약 50 sccm의 유량에서 디보란(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)을 처리 챔버 내에 제공하는 단계; 약 1,000V의 전압에서 바이어스를 인가하는 단계; 약 15mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 25°C의 웨이퍼 척 온도를 유

지하는 단계를 포함하고, 주입 프로세스는 약 200W의 소스 전력에서, 약 20초의 지속시간에서 이루어진다. 약 70%의 등각성 비율이 상기 프로세스에 대해 관측되었다. 상기한 프로세스는 또한 도펀트들(350)을 주입하기 위해서뿐만 아니라, 도펀트-함유 물질층(340)을 증착하기 위해 사용될 수 있다.

[0034] 증착된 물질층은 기판 피처의 측벽들 안으로가 아니라 기판 피처의 수평 부분 안으로 이방성으로 증착되는 것으로 관측되었으며, 가스 혼합물로부터 해리된 이온들은 기판 피처의 수평 부분 내에 그리고 기판 피처의 수직 부분들, 측벽들 내에 등방성으로 주입되어, 개선된 등각 주입을 제공하는 것으로 관측되었다. 증착된 물질층들로 주입되는 도펀트들은 보다 제한된 깊이로 주입되었고, 이에 따라 피처 측벽들 내에 주입된 도펀트들에 의한 개선된 등각성을 허용하는 것으로 판단된다. 대안적으로, 도펀트-함유 물질층(340)은 피처 표면들 상에서 등방성으로 증착될 수 있다.

[0035] 식각 프로세스는 도 3d에 도시된 것처럼 230에서 기판 피처의 수평 부분들 및 수직 부분들 내에 주입된 이온들을 유지하면서 기판 피처의 수평 부분 상에서 도펀트-함유 물질층(340) 증착의 일부 또는 전부를 제거하기 위해 사용될 수 있고, 대안적으로, 일부의 주입된 도펀트들을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 식각 프로세스는 이방성 식각 프로세스일 수 있다. 그러나, 예를 들어 도펀트-함유 물질층(340)이 피처 한정물의 수직 표면들, 측벽들(314) 상에 증착될 때, 등방성 식각 프로세스가 사용될 수 있다. 식각 프로세스는 진공을 차단하지 않으면서, 동일한 처리 툴 상에 배치된 챔버들에서 또는 동일한 챔버에서 본 명세서에서 제시된 증착 및/또는 주입 프로세스들과 인시튜로 수행될 수 있고, 이에 따라 프로세스들이 기판의 단일 처리 통과 동안 수행될 수 있도록 허용한다.

[0036] 적절한 식각 가스들은 할로젠-함유 화합물들을 포함한다. 식각 화합물들의 예들은  $\text{NF}_3$  및  $\text{CF}_4$ 를 포함한다. 수소 가스 및/또는 불활성 가스들은 식각 가스 내에 포함될 수 있다. 대안적으로, 수소 플라즈마 프로세스는 증착된 물질층을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 다른 대안적인 실시예에서, 불활성 가스의 스퍼터링 플라즈마는 증착된 물질층을 제거하기 위해 사용될 수 있다.

[0037] 식각 프로세스의 일 실시예는 질소 삼불화물( $\text{NF}_3$ )과 같은 식각 가스를 약 25sccm 내지 약 1000sccm의 유량에서, 예를 들어 약 50sccm 내지 약 100sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 제공하는 단계; 아르곤 가스(Ar)와 같은 불활성 가스를 약 10sccm 내지 약 1,000sccm의 유량에서, 예를 들어 약 100sccm 내지 약 200sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 제공하는 단계; 약 7mTorr 내지 약 100mTorr의 챔버 압력, 예를 들어 약 7mTorr 내지 약 15mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 15°C 내지 약 90°C, 예를 들어 약 25°C 내지 약 35°C의 웨이퍼 척 온도를 유지하는 단계; 및 약 100W 내지 약 2,000W, 예를 들어 약 200W 내지 약 250W의 소스 전력을 인가하는 단계를 포함한다.

[0038] 그러한 식각 프로세스의 일 예는 약 200sccm의 유량에서 수소( $\text{H}_2$ )를 처리 챔버 내에 제공하는 단계; 약 15mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 25°C의 웨이퍼 척 온도를 유지하는 단계; 및 약 500W의 소스 전력을 인가하는 단계를 포함한다.

[0039] 도 2를 참조하면, 동작들(210-230)은 목표된 이온 주입 결과들을 제공하기 위해 하나 또는 둘 이상의 순차적인 동작들로 240에서 반복 또는 주기적으로 수행될 수 있다. 동작들(210, 220)은 일 사이클 동안 동시적으로 동일한 시간에 수행될 수 있다. 동작들(210-230)은 1 내지 약 20 사이클들, 예를 들어 약 3 내지 약 5 사이클들로 반복될 수 있다.

[0040] 도 4 및 도 5a-5d를 참조하면, 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스에 의해 이온들을 기판 내에 주입하기 위한 방법이 제시된다. 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스를 위한 방법을 나타내는 공정도를 도시한다. 도 5a-5d는 본 발명의 다른 실시예에 따른 플라즈마 투입식 이온 주입 프로세스를 위한 방법의 개략적인 측면도들을 도시한다.

[0041] 상기 방법은 도 1a-1b에서 제시된 것처럼, 처리 챔버(100)와 같은 플라즈마 투입식 이온 주입 처리 챔버, 또는 다른 적절하게 구성된 챔버에서 수행될 수 있다.

[0042] 상기 방법은 처리 챔버 내에 기판을 제공함으로써 시작된다. 일 실시예에서, 기판(500)은 실리콘 산화물, 실리콘 탄화물, 결정성 실리콘(예를 들어,  $\text{Si}<100>$  또는  $\text{Si}<111>$ ), 변형 실리콘, 실리콘 게르마늄, 도핑 또는 비도핑된 폴리실리콘, 도핑 또는 비도핑된 실리콘 웨이퍼들, 도핑된 실리콘, 게르마늄, 갈륨 비소, 갈륨 질화물, 유리, 및 사파이어와 같은 물질일 수 있다. 기판은 직사각형 또는 정사각형 패널 뿐만 아니라, 200mm 또는 300mm 직경의 웨이퍼들과 같은, 다양한 치수들을 가질 수 있다. 달리 언급되지 않는 한, 본 명세서에서 제시된 실시

예들 및 예들은 300mm 직경을 갖는 기관들에 대해 수행된다. 기관이 게이트 구조물을 형성하기 위해 사용되는 실시예들에서, 폴리실리콘 층은 기관 상의 게이트 유전체층 상에 배치될 수 있다.

- [0043] 피쳐 한정물(510)은 도 5a에 도시된 것처럼 기관(500) 내에 형성될 수 있다. 피쳐는 하나 또는 둘 이상의 수평 표면들(512) 및 하나 또는 둘 이상의 수직 표면들(514)을 가질 수 있다. 기관(500)은 도핑될 물질, 예를 들어 p형 도핑을 위한 n형 물질 또는 n형 도핑을 위한 p형 물질을 포함할 수 있다. 기관 표면의 상부면은 목표된 구조물을 위해 도핑될 수 있는 물질(516)을 포함할 수 있거나, 또는 부가적인 피쳐들(510)의 도펀트 분리를 제공하기 위해 도핑되지 않을 수 있다.
- [0044] 410에서, 가스 혼합물은 처리 챔버 내에 공급된다. 가스 혼합물은 증착을 위한 물질, 및/또는 주입 프로세스를 위한 이온 종을 제공할 수 있다. 가스 혼합물은 도 1a에 제시된 것처럼 프로세스 가스 소스(152)로부터 가스 분배 플레이트(130)로 공급될 수 있거나, 또는 다른 적절한 수단에 의해 공급될 수 있다.
- [0045] 일 실시예에서, 처리 챔버(100) 내에 공급된 가스 혼합물은 반응 가스를 포함한다. 반응 가스는 예를 들어 종래의 플라즈마 강화 화학적 기상 증착 프로세스로부터의, 붕소, 갈륨, 비소, 및 이들의 조합물들을 포함하는, 기관 표면 상의 증착을 위한 물질을 제공할 수 있다. 일 실시예에서, 물질층을 증착하기 위해 사용될 수 있는 반응 가스들은  $B_2H_6$ ,  $AsH_3$ ,  $PH_3$ ,  $PF_3$ ,  $BF_3$ ,  $P_2H_5$ ,  $GaN$ ,  $AsF_5$ , 및 이들의 조합물들을 포함한다.
- [0046] 증착된 물질층(540)은 등방성 또는 이방성 프로세스에 의해 증착될 수 있다. 도 5b는 이방성 프로세스에 의한 물질의 증착을 도시하고, 상기 물질은 기관의 수평 표면들(512) 및 기관 피쳐 한정물(510) 상에 주로 형성된다. 물질(540)은 약 5Å 내지 약 1,000Å, 예를 들어 약 50Å 내지 약 100Å의 두께로 증착될 수 있다. 증착된 물질(540)은 P3i 챔버의 RF 방전으로부터, 등방성 플라즈마 환경과 같은 플라즈마 프로세스에 의해 증착될 수 있다.
- [0047] 반응 가스는 또한 기관 내에 주입될 목표된 도펀트들/이온들을 제공할 수 있다. 예를 들어, 반응 가스는 기관의 도핑된 영역의 목표된 전기적 성능 및/또는 물리적 특성들을 생성하기 위해 전기 소자 내에 활성 도펀트들을 형성하는데 사용되는, B, P, Ga, As 등과 같은 목표된 이온 종의 소스를 제공할 수 있다.
- [0048] 일 실시예에서, 이온 종 소스를 제공하기 위해 사용될 수 있는 반응 가스들은  $B_2H_6$ ,  $AsH_3$ ,  $PH_3$ ,  $PF_3$ ,  $BF_3$ ,  $P_2H_5$ ,  $GaN$ ,  $AsF_5$ , 및 이들의 조합물들을 포함한다. 예를 들어, 반응 가스가  $B_2H_6$  가스인 실시예들에서,  $B_2H_6$  가스는  $BH^{2+}$ ,  $BH_2^+$  및  $H^+$  이온들의 형태의 이온 종을 생성하기 위해 주입 프로세스 동안 해리될 수 있다.
- [0049] 도 5b는 수평 표면(512) 내에 증착된 도펀트-함유 물질(540)을 이용한 도펀트들(550)의 주입의 일 실시예를 도시한다. 대안적으로, 도펀트-함유 물질(540)의 증착 동안 어떠한 도펀트 주입도 일어나지 않을 수 있다. 추가적인 대안적 실시예에서, 도펀트들은 피쳐 한정물(510)의 수직 표면들, 측벽들(514) 내에 주입될 수 있다. 도 5c는 본 명세서에서 제시된 도펀트 재분배 프로세스 이후에, 기관(500)의 수평 및 수직 표면들(512, 514) 상의 이온들/도펀트들(550)의 주입 깊이를 도시한다. 이온 주입 프로세스는 등방성 프로세스 또는 이방성 프로세스일 수 있고, 이들 중 등방성이 현재의 프로세스를 위해 바람직하다. 물질 증착 프로세스는 등방성 프로세스 또는 이방성 프로세스일 수 있고, 이들 중 이방성이 현재의 프로세스를 위해 바람직하다.
- [0050] 도펀트-함유 물질(540)의 증착 및 도펀트들(550)의 이온 주입은 하나 또는 둘 이상의 플라즈마 증착 및 플라즈마 이온 주입 프로세스들에 의해 연속적으로 또는 동일한 프로세스에서 동일한 시간에 수행될 수 있다.
- [0051] 이온 주입 및 증착 프로세스의 일 실시예에서, 도 5b에 도시된 바와 같은 동작들(410, 420)을 조합함으로써, 동일한 프로세스에서, 도펀트-함유 물질(540)이 증착되고 도펀트들(550)이 주입되며, 도펀트-함유 물질(540), 도펀트들(550), 또는 이들의 조합물들은 예를 들어 스퍼터링에 의해, 도 5c에 도시된 것처럼 430에서 재분배되어 도펀트-함유 물질들을 재증착하고 피쳐 한정물의 측벽들 내에 도펀트들을 주입(또는 도펀트들을 추가적으로 주입)한다. 그러한 하나의 프로세스에서, 도펀트-함유 물질(540) 및 도펀트들(550)은 피쳐 한정물(510)의 수평 표면들 상에만 형성된다. 이온 주입 및 증착 프로세스의 다른 실시예에서, 상기 프로세스는 대안적인 동작(420)을 사용하고, 여기서 도펀트-함유 물질(540)이 증착된 다음, 도펀트들(550)이 순차적인 프로세스들에서 주입되며, 물질층 및 도펀트들은 예를 들어 스퍼터링에 의해 재분배되어, 도펀트-함유 물질들을 재증착하고 피쳐 한정물의 측벽들 내에 도펀트들을 주입(또는 도펀트들을 추가적으로 주입)한다.
- [0052] 이온 주입 및 증착 프로세스의 다른 실시예에서, 도펀트-함유 물질(540)은 420에서의 주입을 통해 또는 주입 없이 410에서 증착되고, 물질층은 예를 들어 스퍼터링에 의해 430에서 재분배되어, 도펀트-함유 물질들을 재분배

하고 피쳐 한정물의 측벽들 내에 도펀트들을 주입한다. 그 다음, 도펀트-함유 물질들 및 재분배 도펀트-함유 물질들은 피쳐 한정물로부터 제거될 수 있다. 그러한 프로세스에 대한 등각성 비율은 약 50% 내지 약 90%인 것으로 관측되었다.

[0053] 도펀트-함유 물질(540)은 수직 및/또는 수평 방향들로의 최소한의 주입으로 또는 주입 없이 등방성으로 증착된다. 증착 프로세스 동안 임의의 도펀트들의 주입은 또한 430에서 재분배될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 증착된 물질 및 주입된 이온들은 기판 표면 내의 붕소 이온들 및 이의 표면 상의 붕소 증착된 층과 같이, 동일한 원소들이다.

[0054] 증착 및 이온 주입 프로세스들 둘다는 처리 챔버 내에서 인시튜로 수행될 수 있거나, 또는 진공을 차단함이 없이 동일한 처리 톨 상에 배치된 챔버들에서 인시튜로 수행될 수 있으며, 이에 따라 프로세스들이 기판의 단일 처리 통과 동안 수행될 수 있도록 허용한다.

[0055] 도펀트-함유 물질(540) 증착, 및 그러한 프로세스에서의 임의의 주입은 가스 혼합물의 플라즈마를 발생시킴으로써 수행될 수 있다. RF 소스 전력은 처리 챔버 내에서 가스 혼합물로부터 플라즈마를 발생시키기 위해 인가된다. 또한, 물질층을 증착하도록 가스 혼합물을 해리시키기 위해 공급되는 가스 혼합물에서의 비율 변화 동안 연속적으로 발생하는 플라즈마는 이온 종을 생성하여 기판 내에 주입할 수 있다. RF 바이어스 전력은 RF 소스 전력과 함께 인가되어, 가스 혼합물로부터의 도펀트 종을 해리시키고 해리된 도펀트 종을 기판 표면을 향하여 그리고 기판 표면으로부터 목표된 깊이로 추진할 수 있다. 처리 챔버에 인가되는 RF 소스 및 바이어스 전력은 목표된 에너지 레벨에서 제어될 수 있고, 이에 따라 도펀트 종이 해리되어 기판 상에 목표된 물질 두께로 증착될 수 있도록 허용한다. 본 발명의 일 실시예에서, 도펀트-함유 물질(540)은 플라즈마 챔버의 RF 방전으로부터, 등방성 플라즈마 환경과 같은 플라즈마 프로세스에 의해 약 5Å 내지 약 1,000Å의 두께로, 예를 들어 50Å 내지 약 100Å의 두께로 증착될 수 있고, 임의의 주입이 수행되는 경우, 도펀트들은 약  $5 \times 10^{14}$  atoms/cm<sup>2</sup> 내지 약  $5 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>2</sup> 범위의 주입량으로 100Å 미만의 깊이로 주입될 수 있다.

[0056] 상기 프로세스의 일 실시예에서, 이온 주입은 도 5b에 도시된 것처럼 하나의 처리 단계에서 제어되는 증착으로 수행된다. 그러한 증착 및 주입 프로세스에서, 소스 RF 전력은 약 100와트 내지 약 5,000와트에서 유지될 수 있다. 바이어스 RF 전력은 약 100볼트 내지 약 15,000볼트의 RF 전압에서 약 100와트 내지 약 10,000와트에서 유지될 수 있다. 챔버 압력은 약 1 mTorr 내지 약 500 mTorr에서 유지될 수 있다. 기판 온도는 약 10℃ 내지 약 500℃에서 유지될 수 있다.

[0057] 다른 실시예에서, 처리 챔버 내에 공급되는 가스 혼합물은 불활성 가스를 포함할 수 있다. 적절한 불활성 가스들의 예들은 N<sub>2</sub>, Ar, He, Xe, 및 Kr 등을 포함한다. 처리 챔버 내의 불활성 가스는 가스 혼합물에서의 이온 충격을 촉진시키고, 이에 따라 프로세스 가스 충돌의 확률을 효율적으로 증가시키며, 이온 종의 감소된 재결합을 유발한다. 불활성 가스는 약 10sccm 내지 약 2,000sccm, 예를 들어 약 50sccm 내지 약 500sccm의 유량에서 처리 챔버 내로 유동될 수 있다.

[0058] 증착(및 주입) 프로세스의 일 실시예는 디보란(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 또는 아르신(AsH<sub>3</sub>)과 같은 반응 가스를 약 10sccm 내지 약 1,000sccm의 유량에서, 예를 들어 약 50sccm 내지 약 100sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 제공하는 단계; 약 200볼트 내지 약 10,000볼트(V)의 전압, 예를 들어 약 500V 내지 약 1,500V의 전압에서 바이어스를 인가하는 단계; 약 1 mTorr 내지 약 100 mTorr, 예를 들어 약 7 mTorr 내지 약 25 mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 15℃ 내지 약 500℃, 예를 들어 약 25℃ 내지 약 45℃의 웨이퍼 척 온도를 유지하는 단계를 포함하고, 주입 프로세스는 약 100W 내지 약 2,000W, 예를 들어 약 200W 내지 약 300W의 소스 전력에서, 약 1초 내지 약 60초, 예를 들어 약 10초 내지 약 30초의 지속시간에서 이루어진다.

[0059] 그러한 프로세스의 일 예는 약 100sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 디보란(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)을 제공하는 단계; 약 1,000V의 전압에서 바이어스를 인가하는 단계; 약 15 mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 25℃의 챔버 온도를 유지하는 단계를 포함하고, 주입 프로세스는 약 200W의 소스 전력에서, 약 30초의 지속시간에서 이루어진다. 등각성 비율은 약 70%일 수 있다.

[0060] 가스 혼합물로부터 해리된 이온들 및 증착된 물질층은 기판 피쳐의 측벽들로가 아니라, 주로 기판 피쳐의 수평 부분 내로 증착 및 주입되는 경향이 있다. 해리된 이온들이 챔버 내에서 계속적으로 증가함에 따라, 구조물/트렌치의 바닥부 내에 주입되는 이온들은 포화 레벨(saturated level)에 도달할 수 있는 반면에, 구조물 및/또는 트렌치의 측벽들은 목표된 양의 주입된 이온들을 여전히 갖지 않을 수 있다. 보다 많은 양의 이온들을 챔버 내



에 계속적으로 공급하는 것은 주입량을 증가시켜 이에 따라 구조물/트렌치의 측벽 내에 주입되는 이온들의 농도를 증가시키기보다는, 기판 표면의 바닥부 상에 누적되는 원치않는 증착을 유발할 수 있다.

[0061] 증착된 물질 및 주입된 이온들(540)은 기판 피처의 수평 표면으로부터 기판 피처의 수직 표면들로 재분배될 수 있다. 도펀트 함유 물질(540) 및 도펀트들(550)의 재분배는 예를 들어, 제스퍼터링 프로세스, 아르곤 스퍼터링 프로세스, 또는 이들의 조합들에 의해 달성될 수 있다. 재분배된 도펀트-함유 물질(560)은 기판 피처 한정물(510)의 수직 표면들 상에 100Å 미만의 두께로, 예를 들어 1Å 내지 50Å 두께로 증착될 수 있고, 도펀트들 및 재분배된 도펀트들은 약  $5 \times 10^{14}$  atoms/cm<sup>2</sup> 내지 약  $5 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>2</sup> 범위의 주입량으로 100Å 미만의 깊이로 주입될 수 있다. 등각성 비율은 도펀트-함유 물질(540) 및 재분배된 도펀트-함유 물질(560)의 제거 이후에 재분배로부터 약 70% 내지 약 90%일 수 있다.

[0062] 제스퍼터링 프로세스의 일 실시예는 약 10sccm 내지 약 1,000sccm, 예를 들어 약 100sccm 내지 약 200sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 스퍼터링 불활성 가스 및 선택적으로 수소 가스를 제공하는 단계; 약 200볼트 내지 약 7,000볼트(V), 예를 들어 약 500V 내지 약 1,000V의 전압에서 바이어스를 인가하는 단계; 약 7 mTorr 내지 약 100 mTorr, 예를 들어 약 10 mTorr 내지 약 15 mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 5초 내지 약 50초, 예를 들어 약 10초 내지 약 20초의 단계 지속시간에서, 약 15℃ 내지 약 90℃, 예를 들어 약 25℃ 내지 약 45℃의 웨이퍼 척 온도, 약 100W 내지 약 5,000W, 예를 들어 약 200W 내지 약 300W의 소스 전력을 유지하는 단계를 포함한다. 제스퍼터링된 또는 재증착된 물질은 100Å의 깊이로 증착 또는 주입될 수 있다. 등각성 비율은 약 70% 내지 약 90%일 수 있다.

[0063] 그러한 제스퍼터링 프로세스의 일 예는 약 200sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 아르곤을 제공하는 단계; 약 1,000V의 전압에서 바이어스를 인가하는 단계; 약 7 mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 10초의 지속시간에서 약 25℃의 웨이퍼 온도, 약 200W의 소스 전력을 유지하는 단계를 포함한다. 재증착된 물질은 100Å의 깊이로 증착될 수 있다. 등각성 비율은 약 80%일 수 있다.

[0064] 재분배 프로세스는 P3i 챔버와 같은 처리 챔버 내에서 인시튜의 증착 및/또는 주입 프로세스들과 인시튜로 수행될 수 있거나, 또는 진공을 차단함이 없이 동일한 처리 툴 상에 배치된 챔버들에서 인시튜로 수행될 수 있으며, 이에 따라 프로세스들이 기판의 단일 처리 통과 동안 수행될 수 있도록 허용한다.

[0065] 재분배 프로세스 이후에, 식각 프로세스는 도펀트-함유 물질(540) 및 재분배 도펀트-함유 물질(560)의 일부 또는 전부를 제거하기 위해 사용될 수 있고, 대안적으로, 440에서 도 5d에 도시된 것처럼 기판 피처의 수평 부분들 및 수직 부분들 내에 주입된 이온들을 유지하면서 기판 피처의 수평 부분 상의 일부 이온들을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 식각 프로세스는 수직 표면들보다는 수평 표면들로부터 보다 많은 물질을 제거하기 위해 등방성 프로세스일 수 있다. 식각 프로세스는 진공을 차단함이 없이, 동일한 처리 툴 상에 배치된 챔버들에서 본 명세서에 제시된 증착 및/또는 주입 및/또는 재분배 프로세스들과 인시튜로 수행될 수 있으며, 이에 따라 프로세스들이 기판의 단일 처리 통과 동안 수행될 수 있도록 허용한다.

[0066] 적절한 식각 가스들은 할로젠-함유 화합물들을 포함한다. 식각 화합물들의 예들은 NF<sub>3</sub>, 플루오르화탄소(fluorocarbons), 및 이들의 조합물들을 포함한다. 수소 가스 및/또는 불활성 가스들은 식각 가스 내에 포함될 수 있다. 대안적으로, 수소 플라즈마 프로세스는 증착된 물질층을 제거하기 위해 사용될 수 있다. 다른 대안적인 실시예에서, 불활성 가스의 스퍼터링 플라즈마는 증착된 물질층을 제거하기 위해 사용될 수 있다.

[0067] 식각 프로세스의 일 실시예는 질소 삼불화물(NF<sub>3</sub>)과 같은 식각 가스를 약 25sccm 내지 약 1,000sccm, 예를 들어 약 100sccm 내지 약 200sccm의 유량으로 처리 챔버 내에 제공하거나, 또는 아르곤 가스(Ar)를 약 10sccm 내지 약 1,000sccm, 예를 들어 약 100sccm 내지 약 200sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 제공하는 단계; 약 5 mTorr 내지 약 200 mTorr, 예를 들어 약 10 mTorr 내지 약 20 mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 15℃ 내지 약 90℃, 예를 들어 약 25℃ 내지 약 35℃의 웨이퍼 온도를 유지하는 단계; 및 약 100W 내지 약 2,000W, 예를 들어 약 200W 내지 약 300W의 소스 전력을 인가하는 단계를 포함한다.

[0068] 식각 프로세스의 일 예는 약 100 sccm의 유량에서 처리 챔버 내에 수소 가스를 제공하는 단계; 약 15 mTorr의 챔버 압력을 유지하는 단계; 약 25℃의 챔버 온도를 유지하는 단계; 및 약 500W의 소스 전력을 인가하는 단계를 포함한다.

[0069] 도 4를 참조하면, 동작들(410-440)은 목표된 이온 주입 결과들을 제공하기 위해 하나 또는 둘 이상의 순차적인 동작들로 450에서 반복되거나 또는 주기적으로 수행될 수 있다. 동작들(410, 420)은 일 사이클 동안 동일한 시



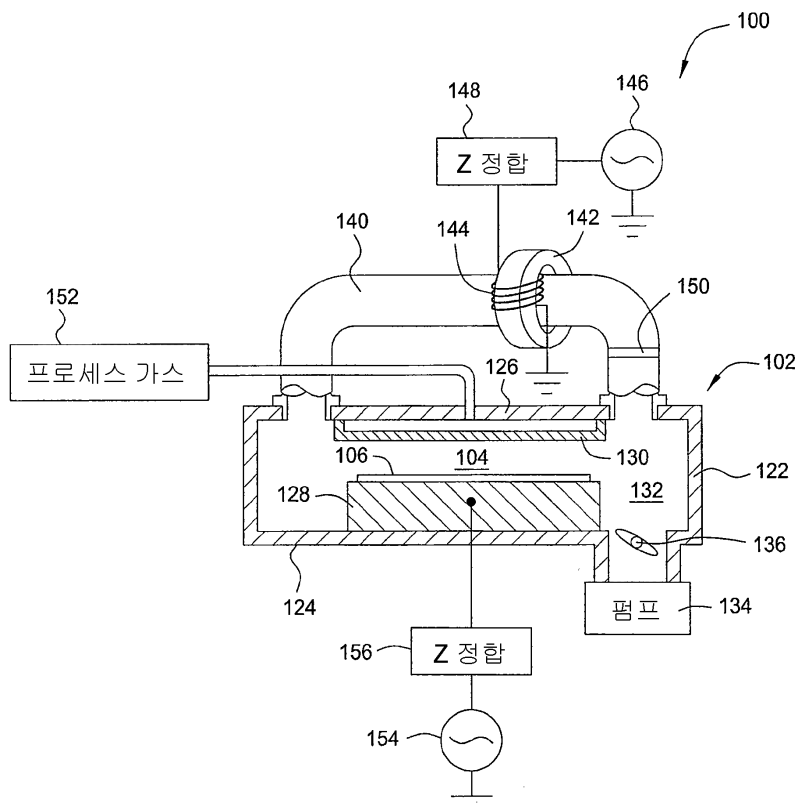
간에 수행될 수 있다. 동작들(410-440)은 1 내지 약 20 사이클들, 예를 들어 약 3 내지 약 5 사이클들에서 반복될 수 있다.

[0070] 따라서, 플라스마 투입식 이온 주입 프로세스에 의해 기판 내에 이온들을 주입하기 위한 방법들이 제공된다. 개선된 방법은 바람직하게는 기판 표면 상에 목표된 주입 프로파일을 형성하기 위한 목표된 양의 도펀트들을 주입시키고, 이에 따라 기판에 걸쳐서 균일하게 도핑된 이온 주입량을 제공하며 기판 상에 목표된 전기적 성능을 갖는 전기 소자들을 형성할 수 있다.

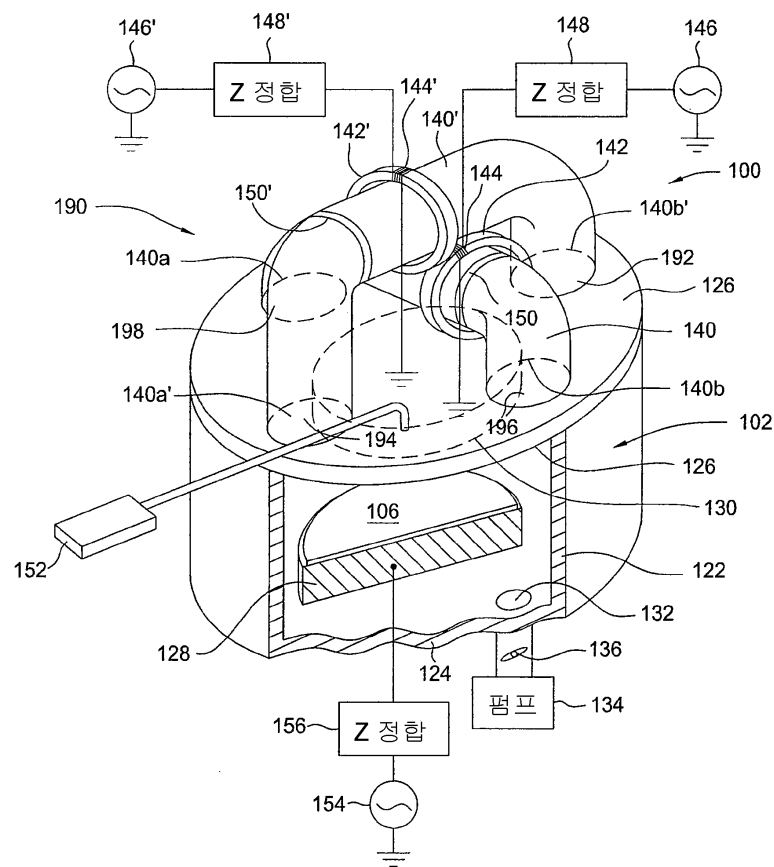
[0071] 전술한 설명은 본 발명의 실시예들에 관한 것이지만, 본 발명의 다른 실시예들 및 추가적인 실시예들은 그 기본 범주를 벗어남이 없이 안출될 수 있고, 그 범주는 이하의 청구범위에 의해 결정된다.

## 도면

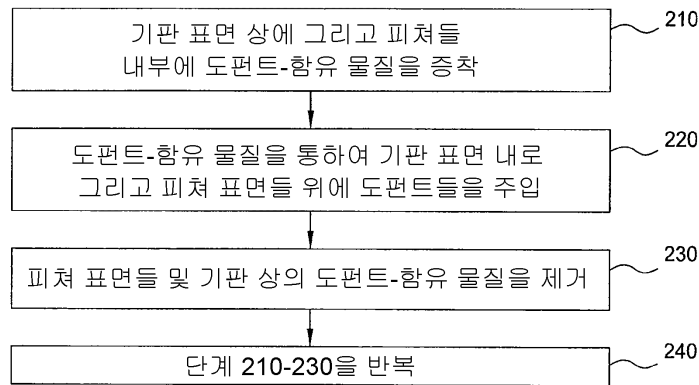
### 도면1a



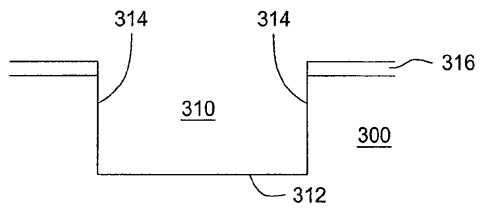
도면1b



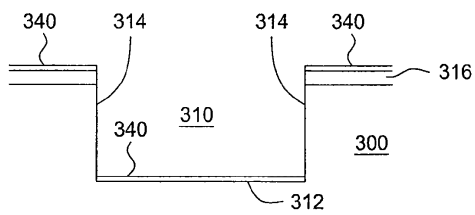
도면2



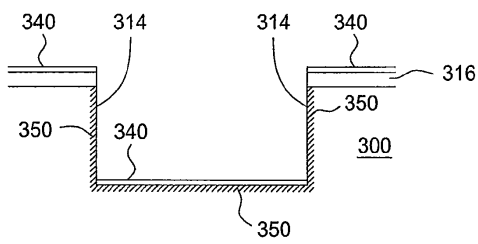
도면3a



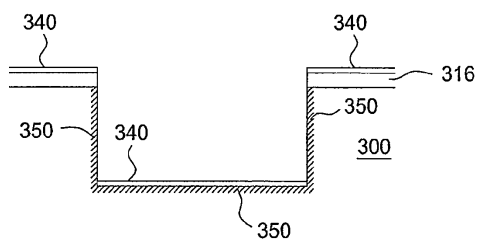
도면3b



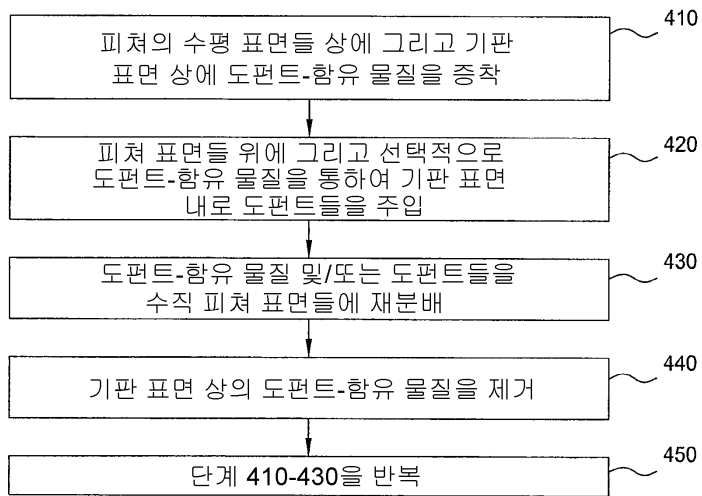
도면3c



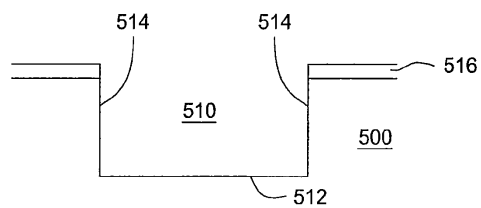
도면3d



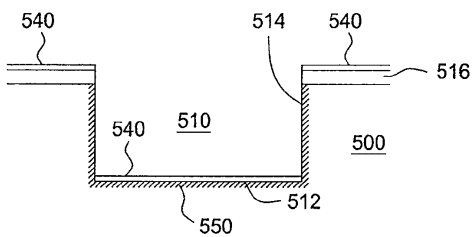
도면4



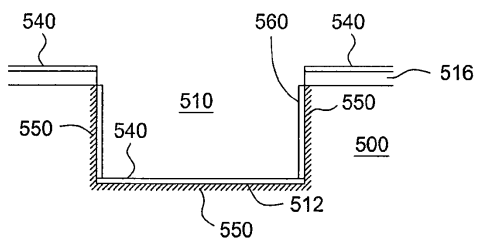
도면5a



도면5b



도면5c



도면5d

