



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년01월30일
(11) 등록번호 10-1815746
(24) 등록일자 2017년12월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/223 (2006.01) H01J 37/32 (2006.01)
H01L 29/66 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/2236 (2013.01)
H01J 37/32412 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-7031579
(22) 출원일자(국제) 2014년04월03일
심사청구일자 2015년11월03일
(85) 번역문제출일자 2015년11월03일
(65) 공개번호 10-2015-0138369
(43) 공개일자 2015년12월09일
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/032814
(87) 국제공개번호 WO 2014/165669
국제공개일자 2014년10월09일
(30) 우선권주장
61/808,321 2013년04월04일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2002184710 A
WO2012066779 A1
US20090233427 A1
US20110272763 A1

(73) 특허권자
도쿄엘렉트론가부시키키가이샤
일본 도쿄도 미나토구 아카사카 5초메 3반 1고
(72) 발명자
벤트쥬 피터
미국 텍사스주 78739 오스틴 레드몬드 로드 10843
네모토 다케나오
일본 981-3215 미야기켄 센다이 이즈미쿠 기타나
카야마 1-12-3
(74) 대리인
(뒷면에 계속)
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 20 항

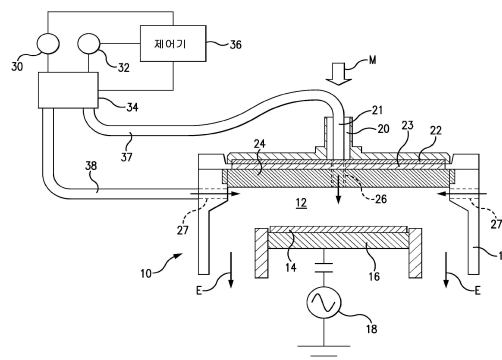
심사관 : 박종민

(54) 발명의 명칭 펄스화 가스 플라즈마 도핑 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 도펀트로 기판의 표면을 도핑하기 위한 방법 및 장치에 관한 것으로, 도펀트는 예를 들어, 포스핀 또는 아르신이다. 도핑은 낮은 농도의 도펀트로 주로 헬륨 또는 아르곤과 같은 불활성 가스로 수행된다. 등각의 도핑을 제공하기 위해, 바람직하게 도펀트의 모노층(monolayer)을 형성하기 위해, 가스 흐름 유입 위치는 도핑 프로세스 동안 스위칭되고, 가스 혼합물은 주로 제 1 시간 주기 동안 프로세스 챔버에서 중심 최상부 포트를 통해 유입된 다음에 제 2 시간 주기 동안 주로 주변 또는 에지 분사 포트를 통해 가스 혼합물이 유입되고, 스위칭은 플라즈마 프로세스로서 교번 방식으로 계속한다.

대표도



(52) CPC특허분류

H01J 37/3244 (2013.01)

H01J 37/32449 (2013.01)

H01L 29/66803 (2013.01)

(72) 발명자

우에다 히로카즈

일본 981-3131 미야기켄 센다이 이즈미쿠 아자시로
미즈사와 2 나나키타 502

고바야시 유우키

일본 981-3332 미야기켄 구로카와군 도미야마치 아
카이시다이 4-4-3

호리고메 마사히로

일본 981-3137 미야기켄 센다이 이즈미쿠 오사와
3쵸메 2-1

명세서

청구범위

청구항 1

플라즈마 프로세싱(plasma processing)을 위한 방법에 있어서,

기판을 플라즈마 프로세싱 챔버(chamber)—상기 플라즈마 프로세싱 챔버는 기판 홀더 반대편에 최상부 벽을 가지고, 주변 벽은 상기 기판 홀더를 둘러싸— 내로 로딩(loading)하고 상기 기판 홀더 상에 상기 기판을 배치하는 단계;

상기 플라즈마 프로세싱 챔버 내에 플라즈마를 형성하는 단계;

상기 플라즈마 프로세싱 챔버의 최상부 중심 구역(top central region)에 위치되는 적어도 하나의 가스 분사 포트(gas injection port)로부터 상기 플라즈마 프로세싱 챔버 내로, 제 1 흐름 속도(flow rate)로 제 1 시간 주기 동안 제 1 가스 혼합물—상기 제 1 가스 혼합물은 도펀트 종(dopant species)을 포함함—을 유입시키는 단계;

상기 제 1 가스 혼합물의 유입에 후속하여, 상기 플라즈마 프로세싱 챔버의 주변 구역에 위치되는 적어도 하나의 가스 분사 포트로부터 상기 플라즈마 프로세싱 챔버 내로, 제 2 흐름 속도로 제 2 시간 주기 동안 제 2 가스 혼합물—상기 제 2 가스 혼합물은 도펀트 종을 포함함—을 유입시키는 단계; 및

상기 기판 상에 형성되는 구조상에 도펀트 종의 층을 형성하기 위해 상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키고 상기 제 2 가스 혼합물을 유입시키는 단계를 반복하는 단계

를 포함하는, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 플라즈마 프로세싱 챔버는 상기 플라즈마를 형성하는 마이크로파 플라즈마 소스(microwave plasma source)를 포함하는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 플라즈마 소스는 슬롯화(slotted) 안테나 플라즈마 소스 또는 표면파 플라즈마(surface wave plasma: SWP) 소스인 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 도펀트 종은 As, P 또는 B 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제 1 가스 혼합물 및 상기 제 2 가스 혼합물은 각각 500 sccm 내지 1500 sccm의 흐름 속도로 공급되는 헬륨(helium) 또는 아르곤(argon) 중 적어도 하나를 함유하고, 상기 제 1 및 제 2 가스 혼합물은 각각 상기 각각의 제 1 가스 혼합물 및 상기 제 2 가스 혼합물의 총 가스 흐름의 10% 이하의 속도로 공급되는 도펀트 함유 가스를 더 포함하고, 상기 도펀트 함유 가스는 아르신(arsine), 포스핀(phosphine) 또는 붕소화 수소(borine) 중 적어도 하나를 포함하고;

상기 제 1 시간 주기 및 상기 제 2 시간 주기 각각의 지속기간은 0.5초 내지 10초이고;

상기 제 1 및 제 2 가스 혼합물의 유입 동안, 상기 기판은 200℃ 이하의 온도로 유지되고;

상기 기판 상에 형성되는 상기 구조는 복수의 Fin-FET을 포함하고, 상기 도펀트 종의 층은 상기 Fin-FET 상에 형성되는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제 1 시간 주기 동안 상기 플라즈마 프로세싱 챔버에 진입하는 도펀트는 상기 플라즈마 프로세싱 챔버의 상기 최상부 중심 구역에 위치되는 상기 적어도 하나의 가스 분사 포트를 통해 진입하고, 상기 제 2 시간 주기 동안 상기 플라즈마 프로세싱 챔버에 진입하는 도펀트는 상기 플라즈마 프로세싱 챔버의 상기 주변 구역에 위치되는 상기 적어도 하나의 가스 분사 포트를 통해 진입하는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제 1 가스 혼합물 및 상기 제 2 가스 혼합물은 헬륨 및 아르곤으로 이루어지는 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 가스를 포함하고, 상기 도펀트 종은 아르신 또는 포스핀 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 플라즈마는 마이크로파 파워 소스를 사용하여 형성되고, 상기 플라즈마는 상기 마이크로파 파워 소스를 사용하여 상기 제 1 시간 주기 및 상기 제 2 시간 주기 동안 유지되는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 제 1 가스 혼합물은 헬륨 또는 아르곤 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 제 1 가스 혼합물은 상기 제 1 가스 혼합물의 총 흐름의 부피 중 0.01% 내지 0.1%의 부피로 PH_3 또는 AsH_3 중 적어도 하나를 더 포함하고, 상기 제 2 가스 혼합물은 헬륨 또는 아르곤 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 제 2 가스 혼합물은 상기 제 2 가스 혼합물의 상기 총 흐름 중 0.01% 내지 0.1%의 양으로 PH_3 또는 AsH_3 중 적어도 하나를 더 포함하는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제 1 시간 주기 및 상기 제 2 시간 주기는 각각 0.5초 내지 10초의 지속기간을 가지는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 제 1 시간 주기 및 상기 제 2 시간 주기는 각각 2초 내지 10초의 지속기간을 가지는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 제 1 시간 주기 및 상기 제 2 시간 주기는 각각 0.5초 내지 10초의 지속기간을 가지고, 상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키고 상기 제 2 가스 혼합물을 유입시키는 단계를 반복하는 단계를 포함하는 총 프로세스 시간은 30초 내지 60초인 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키고 상기 제 2 가스 혼합물을 유입시키는 단계 이후에,

상기 제 1 및 제 2 가스 혼합물의 유입을 중단시킨 후에 상기 기판을 어닐링(annealing)하는 단계를 더 포함하는, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 기판 홀더는 상기 기판 홀더에 연결되는(coupled) RF 파워 소스(power source)로 RF-바이어스되는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 가스 혼합물의 유입 동안, 상기 기판은 100℃ 내지 200℃의 온도로 유지되고, 또한 상기 제 1 및 제 2 가스 혼합물의 각각은,

(i) 500 sccm 내지 1500 sccm의 흐름 속도로 공급되는 헬륨 또는 아르곤 중 적어도 하나; 및

(ii) 15 sccm 내지 50 sccm의 흐름 속도로 공급되는 도펀트 함유 가스

를 포함하고,

상기 도펀트 함유 가스는 PH_3 또는 AsH_3 중 적어도 하나의 2% 이하의 부피로 포함하는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 16

플라즈마 프로세싱(plasma processing)을 위한 방법에 있어서,

기판을 플라즈마 프로세싱 챔버(chamber)—상기 플라즈마 프로세싱 챔버는 기판 홀더 반대편의 상기 플라즈마 프로세싱 챔버의 측면상에 최상부 벽을 가지고, 주변 벽은 상기 기판 홀더를 둘러싸— 내로 로딩(loading)하고 상기 기판 홀더 상에 상기 기판을 배치하는 단계;

마이크로파 에너지(microwave energy) 또는 표면파 플라즈마 소스(surface wave plasma source) 중 적어도 하나를 사용하여 상기 플라즈마 프로세싱 챔버에서 플라즈마를 형성하는 단계;

상기 플라즈마 프로세싱 챔버의 최상부 벽(top wall) 상에 위치되고 상기 기판의 중심 근처에 위치되는 적어도 하나의 가스 분사 포트(gas injection port)로부터 상기 플라즈마 프로세싱 챔버 내로, 제 1 흐름 속도(flow rate)로 제 1 시간 주기 동안 제 1 가스 혼합물—상기 제 1 가스 혼합물은 도펀트 종(dopant species)을 포함함—을 유입시키는 단계;

상기 제 1 시간 주기의 완료에 후속하여, 상기 기판의 주변 근처에 위치되는 적어도 하나의 가스 분사 포트로부터 상기 플라즈마 프로세싱 챔버 내로, 제 2 흐름 속도로 제 2 시간 주기 동안 상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키는 단계; 및

도펀트 종의 층이 상기 기판 상에 형성되는 구조 상에 형성되도록 상기 기판의 중심 근처 위치로부터 상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키는 단계와 상기 기판의 주변 근처 위치로부터 상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키는 단계를 교번시키는 단계를 반복하는 단계

를 포함하는, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 제 1 가스 혼합물은 500 sccm 내지 1500 sccm의 흐름 속도로 유입되는 불활성 가스를 포함하고, 상기 제 1

가스 혼합물은 15 sccm 내지 50 sccm의 흐름 속도로 유입되는 도펀트 함유 가스를 더 포함하고,

상기 제 1 시간 주기 및 상기 제 2 시간 주기는 각각 0.5초 내지 10초의 지속기간을 가지는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 도펀트 함유 가스는 도펀트 함유 가스의 2% 이하의 부피로 존재하는 AsH_3 또는 PH_3 중 적어도 하나를 포함하고,

상기 기판 상에 형성되는 상기 구조는 복수의 Fin-FET를 포함하고 상기 도펀트 층의 층은 상기 Fin-FET 상에 형성되는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 제 1 시간 주기 동안 제 1 가스 혼합물을 유입시키는 단계는 상기 제 1 시간의 주기의 적어도 일부동안 상기 기판 홀더에 RF 파워를 인가하는 단계를 포함하거나, 상기 제 2 시간 주기 동안 상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키는 단계는 상기 제 2 시간 주기의 적어도 일부 동안 상기 기판 홀더에 RF 파워를 인가하는 단계를 포함하고,

상기 기판의 중심 근처 위치로부터 상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키는 단계와 상기 기판의 주변 근처 위치로부터 상기 제 1 가스 혼합물을 유입시키는 단계를 교번시키는 단계를 반복하는 단계 이후에, 상기 제 1 가스 혼합물의 공급을 중단한 후에 상기 기판을 어닐링하는 단계 및 상기 플라즈마를 소거하는(extinguishing) 단계를 더 포함하는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

청구항 20

제19항에 있어서,

상기 어닐링하는 단계는,

제 1 온도로 상기 기판을 어닐링하는 단계; 및

상기 제 1 온도로 어닐링한 후에 제 2 온도로 상기 기판을 어닐링하는 단계를 포함하고,

상기 제 2 온도는 상기 제 1 온도보다 높고,

상기 방법은 상기 제 1 가스 혼합물을 사용하여 상기 도펀트 층을 형성한 후에 상기 기판 상에 추가 층(further layer)을 형성하지 않고서 상기 제 1 온도로 어닐링을 수행하는 단계를 더 포함하는 것인, 플라즈마 프로세싱을 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 그 전체가 된 본원에 인용에 의해 포함되는 2013년 4월 4일에 출원된 가 출원번호 제 61/808,321 호에 대해 우선권을 주장한다.

[0002] 본 발명은 플라즈마 도핑(plasma doping)에 관한 것으로, 특히 기판의 표면을 도핑하기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다. 본 발명은 기판 상에 형성되는 핀(fin) 형상화 구조와 같은 토포그래피 구조(topographic structure)를 가지는 실리콘 기판을 도핑하는데 특히 유용하다.

배경 기술

[0003] 도핑은 기판 재료 특성을 변경시키기 위한 기판 내로의 원자의 삽입을 지칭한다. 그 특성은 예를 들어, 전기 이동도(electrical mobility), 굴절률, 표면 반응도, 기계적 특성 또는 더 구체적으로 전기 밴드 구조

(electrical band structure)를 포함할 수 있다. 가장 흔한 도핑 적용은 게이트, 소스 및 드레인과 같은 전기 디바이스 내로의 도너(donor) 및 억셉터(acceptor) 중의 주입(implant)이다. 도핑 프로세스는 원자 주입 단계(atom infusion step) 후에 열 적용을 포함하는 전기 활성화 단계(electrical activation step)를 포함할 수 있다. 플라즈마 도핑은 프로세싱되는 반도체 기판 상의 핀(fin) 구조 또는 다른 비-평탄화(non-planar) 전기 구조의 도핑을 위한 저에너지 이온 주입에 대한 대안이다. 전자 사이클로트론 공명(electron cyclotron resonance: ECR) 플라즈마 및 유도성 결합 플라즈마(inductively coupled plasma: ICP)인 플라즈마가 플라즈마 도핑을 위해 사용되었다. 더 최근에, 마이크로파 플라즈마 소스(microwave plasma source), 특히 표면파 기반 플라즈마 소스(surface wave based plasma source)가 플라즈마 도핑을 위해 사용되었다. 전형적으로, 플라즈마 도핑 소스는 중심 및 에지 가스 분사(gas injection)를 사용한다. 웨이퍼/기판 반대편의 샤워꼭지(showerheads)로부터의 가스 분사를 사용하면 ECR, ICP 또는 마이크로파 구동 소스에 구현하는 것이 어렵기 때문에 이러한 중심 또는 주변 가스 분사가 사용된다.

[0004] 기판을 도핑하는데 있어서, 기판의 표면이 기판 표면에 걸쳐 도펀트(dopant)로 불균일하게 포화되는 경우와 같이 기판에 걸쳐 등각의(conformal) 또는 균일한 도핑을 제공하는데 있어서 문제가 발생할 수 있다. 특정 영역에 과다량의 도펀트가 주입될 수 있고 이에 의해 도펀트 종(dopant species)이 클러스터(clusters)를 형성할 수 있다. 여기서, 클러스터는 기판 상에 형성되는 도펀트 원자의 결합된 다중-원자(bonded multi-atom)(>2) 그룹을 지칭한다. 클러스터는 또한 도펀트 원자 및 산소와 같은 다른 원자로 이루어질 수 있다. 도펀트의 클러스터가 형성되면, 이 클러스터는 저온(예를 들어, 비소 도핑을 위해 약 460°C)에서 휘발성이 됨에 따라 기판이 어닐링될 때 증착 후에 용이하게 제거될 수 있거나 승화될(sublimated) 수 있다. 그 결과는 국소적 구역에서의 도펀트의 손실이고 기판의 표면 저항도는 기판에 걸쳐 불균일할 것이다. 추가로, 특정 영역이 불충분하게 도핑된다면, 기판의 표면 저항도는 기판에 걸쳐 불균일할 것이다. 또한, 특정 도핑 기술은 과도하게 높은 이온 에너지를 발생시킬 수 있고, 이 고에너지는 바람직하지 않게 도핑되는 기판 상에 형성되는 피처를 손상시킬 수 있다. 예를 들어 고에너지 이온은 Fin-FET(핀-형 전계 효과 트랜지스터(fin-like field effect transistors))의 코너를 손상시킬 수 있거나, 과도하게 기판 내로 관통할 수 있어 손상된 재료(실리콘 핀 또는 게이트 구조)를 생성한다. 세정 단계는 일부 손상을 제거할 수 있더라도, 과도한 손상은 예를 들어, 다이의 n 및 p(도너 및 억셉터) 구역을 마스크하는 일부로서 사용된 만큼 세정 단계에서 제거될 양을 초과할 수 있다.

[0005] 비-평탄 표면의 도핑은 또한 열악한 조망 요인(view factor) 또는 기하학 때문에 부분적으로 도전과제이다. 등각 플라즈마 도핑(conformal plasma doping)은 전형적으로 웨이퍼의 평면상에 입사하는 등방성 각도 분포를 가지는 도펀트 플럭스(dopant flux) 또는 표면 법선(surface normal)에 대해 전형적으로 $30 - 45$ 도로 이방성 각도 분포를 가지는 도펀트 플럭스를 사용한다. 예를 들어, 종래의 $30-45$ 도 주입으로, 동일한 도펀트의 플럭스가 수직 및 수평 표면에 입사한다. 이것은 완벽하게 수직이고 수평이며 이웃하는 수직 표면에 의해 그늘지지 않는 수직 표면을 가지는 구조에 대해 적합하다. 비교적 키가 큰 구조에 인접하는 1보다 큰 어스펙트 비(aspect ratios)의 골짜기에 인접하는 표면은 그러나, 비교적 적은 도펀트를 받는다. 이들 구조의 예는 Fin-FET 디바이스, 수직 NAND 플래시 메모리 구조 및 CMOS 이미지 센서를 포함한다. 추가로, 많은 구조가 평탄하지 않고 기판에 수직이거나 평행한 토포그래피를 갖추고 있지 못하다. 이들 구조의 예는 이미지 센서, 높은 원통형 구조를 가지는 광전(photonic) 디바이스, 실리콘 나노와이어(nanowires) 또는 리세스를 가지는 게이트 구조를 포함한다.

선행기술문헌

특허문헌

(특허문헌 0001) 미국공개특허공보 US2001/0054601 (2001.12.27.)

(특허문헌 0002) 미국공개특허공보 US2010/0041207 (2010.02.18.)

(특허문헌 0003) 국제공개특허공보 W02001/161965호 (2011.12.29)

발명의 내용

[0006] 본 발명은 기판 상에 형성되는 구조를 가지는 기판의 표면을 도핑하기 위한 유용한 방법 및 장치를 제공한다. 본 발명은 FinFET 디바이스와 같은 핀 구조를 가지는 표면을 도핑하기 위해 특히 유용하지만, 본 발명은 또한 다른 도핑 적용을 위해 사용될 수 있다. 바람직한 형태에 따르면, 가스 혼합물은 중심 위치 또는 중심 분사 포

트(또는 포트들)로부터의 유입과 챔버 주변에 위치되는 복수의 가스 유입 포트에 의한 주변 유입 중에서 교번 방식으로 유입된다. 더 구체적으로, 본 발명의 일 예에 따르면, 제 1 시간 주기 동안, 주로 (헬륨, 수소 또는 아르곤과 같은) 불활성 가스 및 도펀트 가스(바람직하게 포스핀(phosphine) 또는 아르신(arsine))를 포함하는 가스 혼합물은 프로세스 챔버의 최상부에 위치되는 중심 분사 포트를 통해 분사된다. 그 후에, 챔버의 최상부에서의 중심 포트를 통과하는 흐름은 본질적으로 중단되고, 가스는 챔버 측면의 주변 포트를 통해 제 2 시간 주기 동안 유입된다. 제 1 및 제 2 시간 주기의 지속기간은 동일하거나 서로 다를 수 있고, 바람직하게는 챔버의 평균 가스 흐름 체류 시간(residence time)보다 커야 한다. 예를 들어, 제 1 및 제 2 시간 주기는 각각 약 0.5-10 초, 더 바람직하게는 약 2-10초일 수 있다. 도핑 프로세스가 완료될 때까지(예를 들어, 총 프로세스에 대해 약 30-60초) 흐름 교번이 계속된다.

[0007] 일 예에 따르면, 흐름이 중심 분사 포트(또는 포트들)를 통과할 때, 주변 포트를 통과하는 흐름은 완전히 중단되지 않고, 유사하게, 흐름이 주변 포트를 통과할 때, 중심 포트에 대한 흐름이 완전히 중단되지 않는다. 이것은 예를 들어, 분사를 위한 주된 위치로서 활용되지 않는 기간 동안 형성하는 포트 또는 디포짓(deposits) 내로의 역류(backflow)가 발생할 수 있는 문제점을 회피한다. 그러나, 주된 분사 위치로서 사용되지 않는 시간 동안 포트를 통과하는 흐름은 바람직하게는 작게, 바람직하게는 총 흐름 중 20% 미만으로, 더 바람직하게는 총 흐름 중 10% 미만 또는 총 흐름 중 5% 미만으로 유지된다. 바람직하게는, 비-주류(non-primary) 포트(들)를 통과하는 흐름은 챔버 내로의 주류 유량 체제(regime)가 정해진 시간에 가스 혼합물이 주로 분사되는 포트로부터 비롯되는 것을 또한 보장하면서 역류를 회피하는데 충분하다.

[0008] 바람직한 예에 따르면, 낮은 플라즈마 포텐셜(plasma potential)을 가지는 플라즈마를 형성하고 유지하기 위해 마이크로파 에너지가 활용된다. 낮은 플라즈마 포텐셜은 기관에 대한 이온 유발 손상 가능성을 방지하거나 감소시킨다. 추가로, RF 바이어스를 제공하도록 프로세싱 동안 기관이 배치될 때 기관 지지부 또는 하부 전극에 RF 파워 소스가 인가될 수 있다. 이 장치는 특히 상술한 그리고 이하에 더 상세하게 설명되는 교번 가스 흐름과 조합하여, 유용한 도핑을 위해 낮은 에너지 이온을 제공한다. 그러나, 그 이온 에너지는 (불활성 가스의 이온을 가지는) 기관의 실리콘 표면을 비정질화(amorphize) 또는 랜덤화하는데 그리고 그에 의해 표면이 도펀트를 수용하고 도펀트로 포화되게 할 수 있는데 충분하다.

도면의 간단한 설명

[0009] 본 발명 및 그에 의해 달성되는 장점의 더 완전한 인식은 특히 도면과 함께 고려할 때 본원의 상세한 설명으로부터 이해될 것이다:

도 1은 본 발명에 따라 사용될 수 있는 플라즈마 프로세싱 챔버의 일 예를 예시한다;

도 2는 중심부에서 주변부로 가스 유입의 다양한 비(또는 퍼센티지(percentages))에 대한 웨이퍼에 걸친 저장도의 변화를 예시하고, 여기서 그 비는 프로세스 전반에서 고정된다;

도 3은 중심부에서 에지로의 흐름의 서로 다른 비 또는 비율(proportions)에 대한 챔버 내의 가스 해리의 모델링을 예시한다;

도 4는 본 발명에 따른 프로세스의 일 예의 흐름도이다;

도 5는 도 4의 프로세스의 일부분의 진행을 나타내는 흐름도이다; 그리고

도 6은 본 발명에 따른 프로세스의 일 예의 진행의 개략적 예시이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 도면을 참조하면, 본 발명의 실시예의 예시가 설명될 것이다. 본 발명의 상세 및 장점이 도시되는 예를 참조하여 설명되더라도, 본 발명은 구체적으로 본원에 설명된 것과 다르게 실시될 수 있음이 이해될 것이다. 예를 들어, 본 발명은 본원에 설명된 피쳐(features)의 서브세트(subset) 또는 서브세트들을 활용하여, 그리고 다른 것이 아니고 특정 장점 또는 이점을 활용함으로써 실시될 수 있다. 따라서, 본 발명은 본원에 구체적으로 설명된 것과 다르게 실시될 수 있음이 이해될 것이다.

[0011] 도 1은 본 발명에 따라 사용될 수 있는 플라즈마 프로세싱 장치를 도시한다. 도시된 바와 같이, 그 장치는 플라즈마가 발생하는 프로세싱 공간(12)을 밀봉하는 프로세싱 챔버(10)를 포함한다. 웨이퍼(14)는 기관 지지부(16) 상에 지지된다. 바람직한 실시예에서, 바이어스, 바람직하게는 RF 바이어스가 웨이퍼 지지부에 바이어스를 제공하기 위해 RF 소스(18)에 의해 웨이퍼 지지부에 인가된다. 그러나, 이 파워 소스는 바람직한 형태로 플

플라즈마를 발생시키거나 유지하기 위해 활용되지 않고 오히려, 웨이퍼를 향해 이온을 끌어당기도록 바이어스로서 제공된다. 예로서, RF 바이어스는 13.56 MHz의 주파수를 가질 수 있다. 또한, 예시로서, RF 파워의 파워 레벨은 0-750 와트일 수 있다. 파워 레벨은 또한 이것이 하부 전극상에 바이어스를 생성할 것임에 따라, 플라즈마를 발생시키는 소스의 파워 레벨에 의존하여 변화할 수 있다. 따라서, 플라즈마를 발생시키는데 있어서 더 많은 파워량을 위해, 더 낮은 파워량이 RF 파워 소스(18)에 의해 하부 전극에 인가될 수 있다. 플라즈마를 형성하는데 사용되는 파워는 또한 바이어싱을 위한 파워의 별개 인가가 필요하지 않도록, 하부 전극 또는 기판 지지부 상에 바이어스를 제공하는데 충분할 수 있다. 예를 들어, 이온을 기판에 끌어들이기 위해 RF 파워 없이 5000W 이상의 마이크로파 파워가 사용될 수 있다.

[0012] 플라즈마를 발생시키고 유지하기 위해, 마이크로파 소스는 플라즈마를 형성하기 위해 동축 도파관(coaxial wave guide)(20), 저속과 플레이트(slow wave plate)(22), 방사상 라인 슬롯 안테나(radial line slot antenna)(23) 및 최상부 유전체 플레이트 또는 석영에 의해 마이크로파 에너지를 공급하는 마이크로파 소스를 사용하여 화살표(M)에 의해 개략적으로 도시되는 마이크로파 에너지를 공급한다. 플라즈마를 발생시키기 위해 사용되는 파워 소스의 주파수는 변화할 수 있고, 예시로서, 약 800 MHz 내지 10 GHz 범위에서의 주파수가 사용될 수 있다. 가스는 공급 라인(37, 38)으로부터 공급되고 챔버의 최상부 벽 또는 석영을 통해 연장하는 중심 포트(26)를 통해, 그리고 챔버의 측면 또는 주변 벽(11)을 통해 연장하는 복수의 주변 포트(27)를 통해 분사된다. 도시된 예에서, 동축 도파관(20)은 공동(hollow)이고 포트(26)에 대해 도파관(20)뿐 아니라 저속과 플레이트(22), 슬롯화 안테나(23) 및 석영 윈도우(24)를 통해 연장하는 개구 또는 통로(21)를 통해 가스가 공급된다. 교번 공급장치는 또한 중심부 가스 유입이 그와 같은 구조를 통과할 필요가 없도록 활용될 수 있다. 중심부 및/또는 주변부 분사를 위해 다양한 대안이 활용될 수 있음이 이해될 것이다. 예를 들어, 단일 중심 포트(26) 대신에, 복수의 중심 포트가 제공될 수 있다. 추가로, 주변 포트(27)가 챔버의 측벽을 통해 연장하는 것으로 예시되더라도, 이들 포트에 더하여 또는 이 포트에 대한 대안으로서, 챔버의 최상부 구역을 통해 연장하는 주변에 위치한 포트를 포함할 수 있거나, 플라즈마 프로세싱 챔버의 주변 구역 내로 가스 혼합물을 분사하기 위해 챔버 내에 포지셔닝되는(positioned) 가스 분사 링(gas injection ring)을 활용할 수 있다. 추가로, 주변 분사 위치(27)가 기판에 관하여 동일한 방사상 위치에 있을지라도, 가스 분사의 추가적인 제어를 제공하기 위해 복수의 서로 다른 방사상 위치에 주변 가스 분사가 제공될 수 있다. 이는 서로 다른 방사상 위치에서의 포트, 서로 다른 위치에서의 챔버의 최상부에서의 분사 포트를 가지는 가스 분사 링에 의해, 또는 측벽을 통한 분사와 조합하여 진술한 바 중 하나 또는 그 이상을 사용함으로써 달성될 수 있다. 마이크로파 파워는 예를 들어, 전형적인 챔버를 위해 1kW 또는 10kW일 수 있고, 또한 예시로서, 약 3-5 kW의 파워가 사용될 수 있다. 안테나상의 파워 밀도는 예로서, 평탄한 방사상 라인 슬롯화 안테나에 대해 1 W/cm^2 내지 10 W/cm^2 일 수 있다. 진술한 바는 바람직한 범위이지만, 다른 파워량 또는 파워 레벨이 사용될 수 있다.

[0013] 바람직하게, 하나 또는 그 이상의 챔버 부분은 프로세싱 동안 자연적 또는 선천적 구성 및 소모로 인해, 프로세싱 동안 산소 및 실리콘의 소스를 제공한다. 예를 들어, 챔버는 이트륨 산화물 (Y_2O_3)로 코팅될 수 있고, 다른 부분은 실리콘 및 산소가 프로세싱 동안 플라즈마에 존재하도록, 실리카(silica), 예를 들어 실리카 윈도우 또는 포커스 링(focus ring)으로 형성될 수 있다. 이하에 논의된 바와 같이, 산소(및 실리콘)는 프로세싱에서 유용한 역할을 수행할 수 있지만, 소량만이 필요하고, 따라서 산소가 가스 혼합물의 특정 첨가물일 필요는 없다. 원한다면, 소량의 산소가 가스 혼합물에 추가될 수 있지만, 산소 소요량이 비교적 작기 때문에, 기존의 챔버 부분 또는 산소 및/또는 실리콘의 소스를 제공하는 챔버 부분의 선택에 의해 만족스러운 산소의 기여도가 제공될 수 있다. 가스 공급 또는 가스 소스는 30, 32에 제공되는 하나 또는 그 이상의 가스 소스로 개략적으로 도시된다. 주로, 가스 혼합물은 소스(30)로부터 공급될 수 있는 헬륨 또는 아르곤과 같은 주된 플라즈마 형성 가스인 불활성 가스로 형성될 것이다. 추가로, 도펀트-함유 가스가 제공되고, 도펀트는 바람직하게는 아르신 또는 포스핀이다. 붕소-기반 도펀트 가스와 같은 다른 도펀트가 사용될 수 있다. 예를 들어, 도펀트-함유 가스는 헬륨과 같은 캐리어 가스(carrier gas)에 희석되는 AsH_3 , B_2H_6 , 또는 PH_3 와 같은 저농도의 도펀트-수소 가스(dopant-hydrogen gas)를 포함할 수 있다. 또한 비소, 인 또는 붕소의 서로 다른 플루오르화물 또는 수소화물과 같은 다른 도펀트 가스가 또한 사용될 수 있고, 진술한 바는 단원자, 이원자, 3원자 또는 다른 형태로 제공될 수 있다. 붕소 도핑을 위해 B_{10}H_x 와 같은 클러스터 이온이 또한 사용될 수 있다. 기판으로부터 원격으로 발생하는 도펀트 중 및 다른 원자의 다중원자(multiatom) 배치로 클러스터 이온이 결합되고 플라즈마 내로 유입될 것이다. 클러스터 이온은 그 큰 덩어리로 인해 클러스터 원자 당 저 에너지를 가지고, 기판을 손상시키지

않고서 기관과의 충돌시에 흡어진다든 점에서 유용할 수 있다. 예시로서, 도펀트 화합물은 2퍼센트 미만, 더 바람직하게는 도펀트 함유 가스의 1퍼센트 미만일 수 있다(예를 들어, 0.7% AsH_3 , 나머지는 He, 임의선택적으로 도펀트 함유 가스에서의 추가적인 수소와 같은 소량의 추가적인 첨가물). 따라서, 도펀트 자체는 특히 전체 가스 흐름과 비교하여, 매우 소량만이 챔버 내로 유입된다. 챔버에 유입되는 도펀트량은 벽 또는 배기 펌프 포트에 대한 도펀트의 손실을 처리하기 위해 요구 선량(dose requirement)보다 크다. 예로서, 불활성 가스 중 헬륨 또는 아르곤 가스는 약 500 sccm 내지 약 1500 sccm의 흐름 속도로 유입되는 한편, 도펀트-함유 가스는 예를 들어, 15-50 sccm(예를 들어, 28 sccm)의 속도로 유입된다. 또한, 도펀트-함유 가스는 도펀트의 희석량(diluted amount)을 포함할 수 있고, 예를 들어 AsH_3 또는 PH_3 와 같은 도펀트의 0.7%를, 나머지는 He 또는 Ar과 같은 불활성 가스를 포함할 수 있다. 따라서, 예를 들어 30-60 초에 걸쳐 발생할 수 있는 전체 도핑 프로세스 전반에서, 도펀트 자체의 소량만이 전체 프로세스에 대해(또는 그 전반에) 도펀트 가스의 0.5(또는 그 이하) 내지 3.0 표준 큐빅 센티미터(standard cubic centimeters)(또는 0.5 내지 3 sccm)로 챔버 내에 실제로 분사된다. (불활성 가스 및 도펀트-함유 가스 둘 다를 포함하는) 총 가스 혼합물의 관점에서, 도펀트 화합물(예를 들어, AsH_3 또는 PH_3)은 예를 들어, 총 혼합물 또는 총 가스 흐름 중 약 0.01% 내지 0.1%일 수 있다. 추가적인 엘리먼트는 또한 프로세스 방안에 따라 불활성 가스 또는 도펀트 함유 가스에 포함될 수 있다. 예를 들어, 추가적인 수소는 또한 도펀트 함유 가스 또는 불활성 가스로 유입됨으로써 가스 혼합물(예를 들어, 1-3 sccm)에 제공될 수 있다. 가스는 화살표 E로 표시되는 배기가스로 적합한 펌프에 의해 챔버로부터 배출된다.

[0014] 이상적으로, 기관 상에, 특히 Fin-FET들과 같은 기관의 구조상에 또는 10^{15} atoms/cm² 정도로 형성되는 도펀트 모노층의 선량당량(dose equivalent)을 제공한다. 프로세스 시간은 약 30-60 초, 더 전형적으로 약 40-60 초일 수 있다. 예를 들어 As와 같은 도펀트 원자의 플럭스는 초당 평방 센티미터 당 10^{13} - 10^{14} 원자일 수 있다. 총 이온 플럭스는 초당 평방 센티미터 당 10^{15} - 10^{16} 이온 정도일 수 있다. 따라서, 플라즈마에서의 이온의 대다수가 헬륨 이온과 같은 비-도펀트 이온이다. 결과적으로, 이하에 더 상세하게 논의되는 바와 같이, 프로세스의 초기 일부분 동안, 실리콘 표면의 비정질화 또는 랜덤화가 먼저 발생할 것이고, 그 후에 도펀트로 주입 및 포화된다.

[0015] 혼합 및/또는 스위칭 장치는 도 1에서 34로 도시된다. 가스가 이전에 혼합된다면, 장치(34)는 프로세스가 진행함에 따라 교번 방식으로 중심 포트(26)로부터 주변 포트(27)로의 흐름의 스위칭(또는 흐름의 비율)을 제어하기 위한 스위칭 장치일 수 있다. 가스가 이전에 혼합되지 않는다면, 개략적으로 34로 표현되는 장치는 혼합 장치 및 스위칭 어셈블리(switching assembly)를 포함할 수 있다. 가스 흐름 및 스위칭은 36으로 표현되는 제어기에 의해 제어된다. 도시된 예에서, 2개의 가스 공급 소스(30, 31)가 제공되고, 그 중 하나는 불활성 가스의 소스를 제공하고, 다른 하나는 도펀트 함유 가스의 소스이다(도펀트 화합물, 예를 들어, 헬륨 또는 아르곤과 같은 캐리어 가스로 희석된 아르신 또는 포스핀).

[0016] 원한다면, 불활성 가스에 대한 도펀트 가스의 농도 또는 비율은 혼합물이 주변에서 분사될 때와 비교하여 중심 분사를 위해 변화할 수 있다. 그러나, 장치 및 그 제어를 지나치게 복잡하지 않게 하도록, 그 흐름은 제 1 주기 동안 중심 분사 포트에 주로 있는 것으로부터 제 2 시간 주기 동안 주로 주변 포트를 통과하는 것으로 교번으로 발생하고, 그 흐름은 프로세스가 진행함에 따라 계속해서 교번하여 발생한다.

[0017] 그 흐름은 바람직하게는 흐름이 주로 주변 포트(27)를 통과할 때 중심 포트(26)에서 완전히 중단되지는 않는다. 유사하게, 흐름은 바람직하게는 흐름이 주로 중심 포트(26)를 통과할 때 주변 포트(27)로부터 완전히 중단되지는 않는다. 이에 의해 예를 들어, 흐름이 주로 다른 포트를 통과할 때 프로세싱 공간(12)으로부터 포트 내로 되돌아 역류가 생기면 발생할 수 있는 문제점이 회피된다. 그러나, 이하에 더 상세하게 논의되는 바와 같이, 흐름이 스위칭될 때, 흐름의 대다수, 적어도 총 유량 중 80%, 더 바람직하게는 총 유량 중 90%를 초과하고, 훨씬 더 바람직하게는 총 유량 중 95%를 초과하여 중심 또는 주변 포트를 통과한다. 정해진 시간에 주된 분사 위치로서 사용되지 않는 포트에 대해, 그 유량은 역류를 방지하는데 충분할 수 있다. 역류를 방지하기 위해, (도펀트 함유 가스 없는) 불활성 가스가 사용될 수 있거나, 대안적으로, 주된 분사 위치에 공급되는 동일한 혼합물이 사용될 수 있다.

- [0018] 테스트는 주변 포트와 비교하여 중심부에서의 총 흐름의 유량(flow amounts) 또는 퍼센티지의 정적 비(static ratios)로 수행되었다. 그러나, 동일한 퍼센티지 또는 비가 도핑 프로세스 전반에서 유지되었다. 예를 들어, 유량 중 30%가 중심 포트를 통과하고 유량 중 70%는 주변 포트를 통과하는 프로세스가 수행되었고, 이러한 비는 프로세스 전반에서 유지되었다. 프로세스 전반에 유지되는 에지와 중심부 흐름 사이의 서로 다른 퍼센티지 또는 비로 추가적인 테스트가 수행되었다. 웨이퍼에 걸친 (플라즈마 도핑 및 어닐링 후에) 표면 시트 저항도는 그 후에 도핑 및 프로세스 균일성을 반영하기 위해 측정되었다. 그 결과가 도 2에 도시되고, 여기서 웨이퍼 위의 숫자는 프로세스 전반에서 중심 포트를 통해 분사되는 총 흐름의 퍼센티지를 나타낸다. 도 2는 활성화 도펀트량에 반비례하는 최종 웨이퍼에 관한 저항도 측정을 개략적으로 나타낸다. 각 웨이퍼 밑의 퍼센티지 숫자는 표면 저항도의 균일성 표시이다. 더 낮은 퍼센티지는 더 양호한 균일성을 반영한다. 각 웨이퍼 내의 라인은 서로 다른 저항도의 구역을 나타낸다.
- [0019] 높은 비율의 중심 가스 분사는 도 2의 아래 행에서의 웨이퍼에 의해 나타난 바와 같은 웨이퍼의 중심에 포커싱된 낮은 저항도를 가지는 시트 저항 프로파일(sheet resistance profiles) 또는 표적 효과(bull's-eye effect)를 유도한다. 이러한 효과는 중심 가스 분사기로부터 중심부에서의 큰 도펀트 플럭스에 관련된다. 중심 분사로부터 에지 분사로의 천이는 도펀트 생산이 감소함으로 인해 시트 저항을 점진적으로 증가하게 한다(즉, 플라즈마 밀도가 전형적으로 챔버 에지 근처에서 낮음에 따라 에지 분사가 펌핑 포트 근처에 위치되고 도펀트 생산 속도를 감소시키기 때문에 도펀트 전구체(precursor)의 국소적 체류 시간이 더 짧다). 가스 분사는 대부분 에지 분사임에 따라, 에지에서의 시트 저항은 웨이퍼의 에지에 대한 도펀트 플럭스 소스의 근접도로 인하여 중심에 대해 감소한다. 시트 저항 균일성은 도펀트 플럭스 단독에 기인하는 것이 아니고 전구체 해리 부산물(precursor dissociation byproducts)(예를 들어, 수소) 또는 챔버 벽 또는 다른 챔버 부분으로부터의 재료(예를 들어, 산소 또는 실리콘) 또는 주입 가스(예를 들어, 이온, 빠른 뉴트럴(neutral)), 또는 재-증착(re-deposited) 실리콘 또는 도핑 종과 같은 웨이퍼 지탱 부산물(wafer borne by-products)을 포함하는, 웨이퍼에 대한 다른 종의 플럭스에 의해 영향받을 수 있음을 주목한다. 최대 시트 저항은 클러스터로의 높은 선량의 도펀트를 위한 포텐셜에 의해 또한 영향받는다. 클러스터는 전형적인 어닐링 온도에서 휘발성이고 전기적으로 비활성 상태임에 따라 어닐링 동안 전형적으로 소실되기 때문에 바람직하지 않다.
- [0020] 플럭스는 흐름범위에 의해 강하게 영향받을 수 있다. 흐름범위를 위한 조건은 스틱킹 계수(sticking coefficient)와 열 속도(thermal velocity)의 곱이 체류 시간에 의해 나누어지는 특성 챔버 길이 정도 또는 그 보다 작을 때 지배적인 인자(dominant factor)일 수 있다.
- [0021] 도 2에서 알 수 있는 바와 같이, 중심에 분사되는 혼합물의 더 큰 퍼센티지와 함께 비율이 증가함에 따라, 균일성은 약 60% 중심 분사까지 향상하기 시작한다. 그러나, 균일성은 그 후에 중심 분사가 약 80%로 증가함에 따라 다시 감소하기 시작한다. 추가로, 중심부에서의 분사량이 증가함에 따라, 웨이퍼의 중심 부분이 더 낮은 저항도(더 많은 도펀트량)를 가지는 농축 구역(concentrated region)을 가지면서, 표적 효과가 특히 두드러지게 된다.
- [0022] 상기에 언급한 바와 같이, 도펀트 분포는 또한 유체 역학 효과(fluid mechanics effects)에 의해 강하게 영향받을 수 있다. 분사기 근처의 도펀트 전구체의 빠른 생산 및/또는 동일한 유체 역학 경로에 의한 오염물의 웨이퍼로의 이송은 도펀트 종이 웨이퍼상에 도달하는 곳을 결정하는 경향이 있다. 전형적으로, 체류 시간은 가스 또는 이온이 챔버에 존재할 평균 체류 시간 또는 평균 시간량을 지칭한다(이는 챔버 크기 또는 기하학, 압력 및 가스 흐름 속도 또는 속도(velocity)에 의존할 것이다). 그러나, 에지 또는 주변부로부터의 흐름으로, 기하학이 중심 분사에 대해서와 다르기 때문에, 본원에서는 국소적 체류 시간을 고려해야 한다. 예를 들어, 주변에 분사된 가스 혼합물은 배기관에 더 가깝고, 더욱이, 가스가 또한 중심부로부터 동시에 분사된다면, 이러한 중심 흐름은 또한 배기관을 향해 흐른다. 도 3의 도면은 중심-투-에지(center-to-edge) 흐름을 변경함에 의한 챔버에서의 도펀트 분포의 모델링을 도시한다(예를 들어, 제일 왼쪽 도시에서의 75/25는 유량 중 75%가 챔버 중심에 있고 유량 중 25%는 챔버 에지에 있음을 의미한다). 도 3의 도시는 도펀트 종의 방사상 분포(radial distribution)를 도시하기 위해 챔버의 절반을 나타낸다(다시 말해, 각 도시의 좌측은 챔버 중심부이고, 각 도시의 우측은 측벽을 나타낸다). 제일 왼쪽 도시(75% 중심부 유량)로부터 알 수 있는 바와 같이, 도펀트는 챔버의 중심부에 농축된다. 중심 분사가 감소함에 따라 농도가 덜 집중되게 되더라도, 25/75 도시(25% 중심 분사, 75% 에지)는 도펀트 기여도의 관점에서 측면 분사로부터의 대응적인 상당한 영향의 결여를 반영한다. 실질적으로 모든 도펀트가 측면으로부터 흐를 때, 적어도 유량 중 80%가 측면으로부터 발생하는 경우에 발생하는 측면 분사의 가장 두드러진 효과를 반영하여, 상당한 도펀트 기여도가 명백해진다.
- [0023] 따라서, 주변 또는 에지 분사가 효과적이기 때문에, 그 분사는 흐름 중 상당수, 예를 들어 흐름 중 적어도 80%

이어야 한다. 그러나, 그와 같은 흐름 속도가 프로세스 전반에 유지된다면, 도 2에 관하여 상기에 논의된 바와 같은 열악한 균일성 결과가 발생한다. 따라서, 본 발명은 제 1 주기 동안 흐름이 주로 중심부로부터 기인하고, 제 2 주기 동안 흐름이 주로 주변부로부터 기인하는 교번 유량(alternating flow)을 활용한다. 추가로, 흐름이 주로 중심부 또는 주로 주변부에 있는 시간 동안, 흐름은 총 흐름 중 적어도 80%, 더 바람직하게는 총 흐름 중 적어도 90% 및 훨씬 더 바람직하게는 적어도 95% 흐름이다. 이전에 논의된 바와 같이, 현재의 바람직한 형태에서, 예를 들어 플라스마의 역류와 관련되는 문제점을 회피하도록 어느 한 쪽의 시간 주기 동안 흐름이 완전히 중단되지는 않는다. 그러나, 흐름이 그 각각의 시간 주기 동안 주로 흐르지 않는 포트에 대해, 흐름은 바람직하게는 역류 또는 디포짓의 누적을 회피하는데 충분한 정도인 최소한으로 유지된다. 정해진 포트가 주된 분사 위치가 아닐 때 유량이 완전히 중단되어야 한다면, 역류를 방지하기 위해 다른 방법, 예를 들어 기계적 마감(closure) 또는 커버(cover)가 사용될 수 있다.

[0024] 웨이퍼 상의 순 도펀트 분포에 영향을 주는 다른 종의 플럭스 및 핀상의 Rs(시트 저항) 또는 Xj(접합 깊이)는 흐름 범위에 의해 유사하게 영향을 받을 수 있다. 본 발명에 따른 중심-에지 변조 또는 스위칭은 도펀트 프로파일 분포가 실질적으로 균일해지도록 그리고 균일성으로부터의 편차가 제어가능하도록 웨이퍼에 걸친 디바이스의 특성(properties)을 조정하기 위한 유용한 툴(valuable tool)을 제공한다. 스위칭에 의해 제공되는 균일성에 대한 추가적인 장점은 챔버 부분이 프로세싱 동안의 소스(예를 들어, 산소 및/또는 실리콘)인 엘리먼트에 관하여 더 양호한 균일성을 제공한다는 것이다. 그와 같은 중심-에지 변조 기술은 슬롯화 안테나, 또는 더 일반적으로 마이크로파 구동 플라스마 도핑 시스템뿐 아니라 다른 플라스마 도핑 시스템에도 적용될 수 있다. 기술은 중심/에지 가스 분사 비를 조정하는 것을 포함할 수 있다. 그와 같은 비는 가스량 또는 가스 교번 시간 주기(duty 사이클(duty cycle))일 수 있다. 분사기 위치 및 간격은 조정될 수 있고, 뿐만 아니라 압력 조정도 가능하다. 2개보다 많은 분사기 세트가 미리 결정된 시퀀스로 래스터(raster)되는 것도 또한 가능할 것이다.

[0025] 플라스마는 포스핀 및 아르신 도펀트와 같은 다양한 도펀트에 대해 (슬롯화 안테나 및/또는 표면과 플라스마 시스템과 같은) 마이크로파-기반 플라스마 도핑 장치를 사용하여 형성될 수 있다. 이전에 언급된 바와 같이, 예를 들어, 비소, 인 또는 붕소 기반 플루오르화물 또는 수소화물인 다른 도펀트 또는 도펀트 가스 뿐 아니라 클러스터 이온이 사용될 수 있다. 플라스마 도핑 시스템을 사용하면, 프로세스 가스의 흐름은 중심 분사기(들) 및 측면 에지 또는 주변 분사기 사이에서 교번(스위칭)한다.

[0026] 본 발명의 바람직한 방법에 따르면, 등각의 도핑 층을 제공하기 위해 패턴을 제거하거나 평활화하고 균일성을 강화하도록 바람직하게는 가스 체류 시간(여기서, 체류 시간은 평균 체류 시간을 의미하는 통상적 의미로 사용됨) 정도의 펄스 속도 또는 그 배수(헤르츠 순차(order))로 가스 스위칭(중심 투 에지)을 사용하여 플라스마 도핑이 수행된다. 이전에 언급된 바와 같이, 스위칭 속도는 0.5 내지 10 초 정도일 수 있지만, 심지어 15-30초 정도의 더 느린 스위칭 속도가 또한 사용될 수 있다. 더 느린 스위칭 속도는 표면 저항도를 감소시키는 이점을 가질 수 있는 한편, 더 빠른 스위칭 속도는 균일성을 촉진시킬 수 있다.

[0027] 스위칭은 중심 분사기로부터 에지 분사기로의 스위칭, 또는 서로 다른 중심-에지 가중 흐름 속도 사이의 조절일 수 있다. 서로 다른 가스 조합이 중심-에지로 분사될 수 있다. 예를 들어, 산소 소스 또는 실리콘 소스는 Rs(시트 저항) 및 Xj(접합 깊이)의 중심 대 에지 변화에 영향을 미치는 인자를 관리하기 위해 (포스핀 또는 아르신과 같은) 도핑 전구체와 조합하여 웨이퍼 에지(또는 웨이퍼 중심)에서 분사될 수 있다. 유량 방식은 증착을 최적화하기 위해 특정한 플라스마 도핑 레시피 및 화학법에 맞추될 수 있다. 예를 들어, 도펀트의 플럭스가 너무 높으면, 클러스터는 어닐링 단계(들) 동안 휘발될 수 있고 승화할 수 있는 도펀트 종 중에서 또는 도펀트와 산화물 중에서 형성할 수 있다. 플럭스가 너무 낮아서 충분하지 않으면 적절하게 기능하는 디바이스를 생산하기 위해 도펀트가 첨가될 수 있을 것이다.

[0028] 수소 및 산소의 첨가가 유익할 수 있다. 수소는 도펀트 이송에 유익하게 영향을 미칠 수 있다. 산소 및 제-중착 실리콘은 수동 컵(passive cap)과 같이 기능할 수 있다. 과포화 도펀트 층은 상당량의 산소를 함유할 수 있지만, 산소는 어닐링 동안 손실될 수 있고, 그러나 프로세싱 동안 캡처럼 행동할 수 있다. 따라서, 기술은 또한 산소 및 수소의 전달을 관리하는 것을 포함할 수 있다.

[0029] 산소가 중심 또는 주변 분사 포트에 전달되는 가스 혼합물의 일부로서 제공될 수 있더라도, 산소의 소스를 제공하는 부분을 가지는 챔버를 활용함으로써 충분한 산소가 또한 제공될 수 있다. 챔버 부분은 또한 프로세싱 동안 실리콘의 소스를 제공할 수 있다. 예를 들어, 챔버 벽은 챔버 부분 코팅으로서 유익하고 또한 프로세스를 위한 산소의 소스를 제공할 수 있는 이트륨 산화물로 코팅될 수 있다. 추가로, 특정 챔버 부분은 실리카, 예를 들어 실리카 윈도우, 또는 가능하게는 또한 산소의 소스 및 실리콘을 제공할 수 있는 포커스 링(focus ring)으

로 형성될 수 있다. 따라서, 산소 및 실리콘은 가스 혼합물에 제공되지 않고서 프로세스에 활용될 수 있다. 추가로, 추가적인 수소의 공급은 예를 들어, 도펀트-함유 가스에 수소를 제공함으로써 제어될 수 있다.

[0030] 수많은 변화가 본 발명의 범위 내에서 가능함이 이해될 것이다. 예를 들어, 가스 혼합물은 주변 또는 에지 포트를 통한 분사와 비교하여 중심 분사에 대해 서로 다를 수 있다(예를 들어, 주변 포트가 주된 분사를 위해 사용될 때의 퍼센티지와 비교하여 중심 포트가 주된 분사 위치일 때 사용되는 도펀트-함유 가스퍼센티지가 다르거나, 또는 주변부와 비교하여 중심부에 대해 사용되는 산소와 같은 첨가물 또는 첨가량이 서로 다르다). 현재, 설계 및 프로세스 제어의 간략화를 위해, 중심부와 주변부 사이에서 주된 분사 위치를 스위칭하면서 동일한 가스 혼합물이 활용될 수 있다.

[0031] 또한, 예시로서, 흐름 속도의 분배는 중심 포트가 주변 포트와 비교하여 주된 분사 위치인 경우와 동일해야 할 필요는 없다. 예를 들어, 중심 포트가 주된 분사 위치인 경우, 총 흐름 중 특정 퍼센티지가 중심 포트를 통해 주입될 수 있고 나머지는 주변부에 주입될 수 있고, 스위칭 후에, 주변 포트가 주된 분사 위치인 경우, 총 흐름 중 다른 퍼센티지(즉, 중심부가 주된 분사 위치인 때에 중심부에 대한 퍼센티지와 다름)가 활용될 수 있고 나머지는 중심부로 주입된다. 본원의 바람직한 형태에 따르면, 유량 중 대다수가 정해진 시간(예를 들어, 총 유량 중 90 또는 95% 또는 그 이상)에서 주로 활용되는 포트에 흐르고, 주된 포트 또는 포트들이 중심으로부터 주변부 또는 에지로 스위칭하면서, 비-주류 포트를 통과하는 흐름은 간단하게 역류를 방지하는데 충분하다.

[0032] 다른 변화에 따르면, 중심부로부터의 흐름이 중단되기 전에(또는 총 흐름 중 20% 이하, 더 바람직하게는 10% 이하 및 훨씬 더 바람직하게는 총 흐름 중 5% 이하의 소량으로 떨어지기 전에) 주변 포트로부터의 흐름 증가가 시작할 수 있다. 이러한 변화로, 흐름이 제 1 시간 주기동안 중심 포트를 통해 분사된 후에, 흐름은 제 2 시간 주기동안 주변 포트에 대해 증가하지만, 이러한 증가는 중심 흐름이 중단하기 전에(또는 작은 값으로 떨어지기 전에) 발생한다. 주변 포트에 대한 흐름이 증가한 후에, 중심 포트에 대한 흐름은 그 후에 중단되거나 소량으로 떨어진다. 유사하게, 흐름을 중심 포트에 되돌려 스위칭하는데 있어서, 흐름이 중심 포트에서 증가되고, 그 후에 주변부로부터의 흐름은 중단되거나 소량으로 감소된다. 따라서, 이러한 변화로, 흐름이 주로 중심부 또는 주변부로부터 기인하는 주기를 함께 교번시키면서, 양쪽 위치로부터의 증가 흐름(또는 높은 흐름 속도)이 겹치는 주기가 존재할 수 있다. 추가로, 흐름은 본원의 실시예에서 램프 업(ramped up)되거나 램프 다운될 수 있거나, 단일 또는 복수의 단계별(step-wise) 변경으로 변화될 수 있다.

[0033] 가스 흐름이 중심과 에지 포트 사이에서 교번될 수 있더라도, 대부분의 플라즈마 시스템에서 노즐 자체상의 증착을 방지하기 위해 양쪽/모든 노즐을 통과하는 최소 흐름이 존재할 것이다. 특정 플라즈마 시스템에서, 역-확산(back-diffusion) 및 증착을 방지하기 위해 불활성 가스의 최소 40-50 sccm이 흘러야 한다. 이는 주된 분사를 위해 사용되지 않는 포트에 불활성 가스만을 흐르게 함으로써 달성될 수 있거나, 또는 도펀트 가스의 흐름은 가스 혼합물에서 총 흐름 중 비교적 작은 퍼센티지이기 때문에, 동일한 가스 혼합물은 중심 및 주변 포트 양쪽을 통해, 그러나 주된 분사 위치로서 사용되는 것이 교번하여 흐를 수 있다.

[0034] 이전에 언급된 바와 같이, 도 1은 측벽을 통해 연장하는 에지 또는 주변 포트를 도시하더라도, 에지에서의 가스 분사기는 챔버의 주변부에서 교번적으로 가스 링일 수 있거나, 챔버 루프/윈도우(roof/window) 근처의 웨이퍼 에지를 향해 아래로 향하는 분사기일 수 있거나, 내부 분사기(예를 들어, 가스 링 또는 유사한 구조)일 수 있다. 추가로, 주변 포트는 서로 다른 방사상 포지션(positions)에 제공될 수 있다. 배플 플레이트(baffle plates) 또는 스크린은 웨이퍼와 플라즈마 소스/분사기 사이에 배치될 수 있거나 흐름 범위를 더 변경하기 위해 스위칭 장치와 조합될 수 있다.

[0035] 도 4는 본 발명에 따른 프로세스의 일 예의 전체 흐름도를 도시한다. 단계(S200)에 표시된 바와 같이, 초기에 플라즈마 프로세싱 챔버는 벽 조절(wall conditioning) 또는 건조 단계를 거친다. 이 단계는 전형적으로 새로운 프로세스 챔버를 위해서만 또는 챔버가 세정되거나 서비스된 후에 활용된다. 그렇지 않으면 이 단계는 전형적으로 수행되지 않아도 된다. 단계(S210)에서, 도시된 예에서 예를 들어 도펀트 가스로서 AsH_3 및 불활성 가스로서 He를 사용하여 플라즈마 도핑 프로세스가 수행된다. 이전에 언급된 바와 같이, 다른 도펀트 가스(예를 들어, PH_3) 또는 불활성 가스(예를 들어, 아르곤)가 사용될 수 있다. 이 프로세스 동안 흐름은 주로 중심 분사 포트로부터 기인하는 것에서 주로 주변 포트로부터 기인하는 것으로 반복적으로 스위칭되거나 교번되는 것이다. 단계(S210)의 서브-파트(sub-parts)는 도 5 및 6과 관련하여 아래에 더 논의된다.

[0036] 도핑 후에, 도핑 기판을 안정화하고 활성화하기 위해 어닐링 단계가 수행된다. 현재, 어닐링은 어닐링 전용의

별개 챔버에서 수행된다. 그러나, 원한다면, 또한 예를 들어, 마이크로파를 기판에 커플링(coupling)함으로써, 또한 플라즈마 도핑 프로세스가 수행된 동일한 챔버에서 어닐링을 수행할 수 있을 것이다.

[0037] 바람직한 어닐링에 따르면, 어닐링은 2 단계로 발생한다. 먼저 제 1 온도에서 저온 어닐링이 수행되고, 그 후에, 제 2 고온 어닐링은 제 1 온도보다 높은 제 2 온도에서 수행된다. 제 1 어닐링은 주로 안정화를 위한 것이고 실리콘 기판의 실리콘과 도펀트의 혼합 또는 합금을 촉진시킨다. 저온 어닐링은 또한 도펀트가 고온 어닐링 동안 제거되는 것을 방지하는데 유익하다. 고온 어닐링은 도펀트가 실리콘과 전기적으로 활성 상태에 있도록 에너지를 제공한다. 어닐링은 바람직하게는 예를 들어, 급속 어닐링이고, 제 1 및 제 2 단계의 각각이 대략 3-10 초로 수행된다. 또한, 예시로서, 제 1 어닐링의 온도는 약 650-850℃일 수 있다. 제 2 어닐링의 온도는 예를 들어, 대략 900-1100℃, 예를 들어, 약 1050℃일 수 있다.

[0038] 본 발명의 유용한 피처 중 하나에 따르면, 특히 나머지 프로세스 단계와 조합하여, 도핑 동안 가스 주입을 스위칭하거나 교번함으로써, 기판의 표면 상에 도펀트 종의 클러스터의 과도한 형성 없이 더 양호한 도핑의 포화도 및 균일성이 달성될 수 있다. 이전에 언급된 바와 같이, 도펀트 종의 클러스터는 휘발성일 수 있고 따라서 어닐링 동안 용이하게 제거된다. 따라서 다른 프로세스는 종종 어닐링 동안 도핑 층을 보존하도록 도핑 층의 최상부에 추가적인 층(예를 들어, 실리콘 산화물 층)의 인가를 필요로 한다. 그러나, 본 발명에 따르면, 도핑이 완료된 후에 다른 보호 또는 "캡" 층의 추가가 필요하지 않다(도핑을 위한 가스 혼합물의 흐름이 완료하거나 중단된 후에, 추가적인 실리콘 또는 실리콘 산화물 층과 같은 추가적인 층의 증착이 필요하지 않다).

[0039] 도 5 및 6을 참조하면, 도 4의 단계(S210)에서 발생하는 프로세스의 서브-단계 또는 서브-파트가 설명될 것이다. 먼저, 플라즈마 프로세스는 가스 흐름이 중심 포트 또는 포트들로부터 주로 흐르는 것에서 주변 포트로부터 주로 흐르는 것으로 교번하면서 플라즈마를 때리거나 발생시킴으로써 시작한다. 흐름의 스위칭 또는 교번과 다르게, 프로세스 조건은 프로세스 전반에서 동일하게 남아있을 수 있다. 예시로서, 웨이퍼의 온도는 약 100℃ 내지 200℃에서 유지될 수 있다. 압력은 예를 들어, 약 150-230mTorr일 수 있지만, 압력은 이 범위를 초과하거나 미만에 있을 수 있다. 스위칭 시간 또는 스위칭 사이의 정해진 주기의 지속기간은 바람직하게는 약 0.5-10 초, 더 바람직하게는 약 2-10초, 및 훨씬 더 바람직하게는 약 2-5초의 범위에 있다. 그러나, 스위칭 시간은 변화할 수 있고, 본 발명의 이점은 예를 들어, 15-30초의 훨씬 더 느린 스위칭 속도로 실현될 수 있다. 바람직하게는, 마이크로파 또는 표면파 플라즈마가 활용된다. 과도한 이온 에너지는 표면 구조에 대해 손상을 야기할 수 있거나 실리콘 표면 내로의 과도하게 깊은 바람직하지 않은 이온의 관통을 발생시키기 때문에 바람직하지 않다. 그러나, 기판 표면(이하에 논의됨)을 비정질화하거나 랜덤화하기 위해 충분한 이온 에너지가 필요하다. 바람직하게는, RF 에너지 바이어스는 또한 하부 전극 또는 기판 지지부에 인가된다. 하부 전극에 대한 RF 바이어스로, 플라즈마를 때리고 유지하기 위해 마이크로파 에너지가 활용되는 본 장치는 과도한 이온 에너지 없이 충분한 이온 및 이온 에너지를 제공한다. 예시로서, 마이크로파 파워는 1kW 내지 10kW, 바람직하게는 약 3-5kW일 수 있지만, 다른 파워 레벨이 사용될 수 있다. 안테나에 관한 파워 밀도는 예시로서, 평탄한 방사상 라인 슬롯화 안테나에 대해 1 W/cm^2 내지 10 W/cm^2 일 수 있다. RF 파워는 예를 들어, 100-750W일 수 있지만, 다른 파워 레벨이 사용될 수 있고, 또한 하부 전극 또는 기판 지지부에 대해 RF 바이어스 파워 서플라이를 제거하는 것이 가능할 수 있을 것이다. 기판 지지부에 대한 RF 파워는 예를 들어, 13.56 MHz일 수 있지만, 다른 주파수가 사용될 수 있다. 플라즈마를 발생시키기 위한 주파수는 예를 들어, 800 MHz 내지 10 GHz일 수 있다.

[0040] 플라즈마는 도핑되어야 하는 기판의 표면을 비정질화하거나 랜덤화하기 위해 초기 단계에서의 충분한 이온을 위해 필요하다. 이것은 도 5의 단계(S212)에 도시되고, 또한 도 6의 비정질화 부분(S212)에 도시된다. 이것은 예를 들어, 프로세스의 첫 번째 1-2초에서 발생한다. 여기서, 플라즈마로부터의 이온이 기판의 표면 및 그 위에 형성되는 구조(도시된 바와 같은 핀 구조)에 쏟아부어진다. 도펀트의 이온이 비교적 적고, 따라서 그들끼리 만으로, 표면을 비정질화하는데 충분하지 않을 것이기 때문에, 헬륨 이온(또는 아르곤과 같은 다른 불활성 가스의 이온)이 주로 비정질화를 야기한다.

[0041] 표면이 비정질화된 후에, 표면의 선량 및 산화가 발생하고(예를 들어, 프로세스의 시작후에 대략 3-10초까지), 그 동안 도펀트 종은 또한 단계(S213)(도 5 및 6)에 도시된 바와 같이 표면상에 증착되기 시작한다. 도 6의 도시에서, 짙은 또는 짙은 점은 실리콘 또는 산소 원자를 나타내고, 백색 또는 비어있는 점은 도펀트 원자를 나타

낸다. 이 단계(S213)에서, 실리콘 및 산소는 또한 최상부 표면 상에 Si-Ox 또는 Si-Ox-D (도펀트에 대해 D) 층을 형성하기 위해 기판의 최상부상에 작은 층을 형성한다. 이 최상부 층은 다수의 이점을 제공할 수 있는데: (1) 최상부 층 근처에 도펀트가 누적하는 경향이 있음에 따라 최상부 층 바로 아래의 도펀트의 중간층

(interlayer)을 형성하는 것을 촉진하고, 따라서 최상부 층은 도펀트가 기판으로부터 탈출하는 것을 방지하고 또한 도펀트가 기판 내로 너무 깊게 관통하는 것을 방지하고, (2) 특히 도펀트 클러스터링은 본 발명으로 최소화되거나 회피되기 때문에, 이 최상부 층은 어닐링 동안 도펀트의 승화를 방지하는데 충분할 수 있다. 이전에 언급된 바와 같이, 일부 프로세스는 어닐링 동안 도펀트의 탈출을 방지하기 위해 도핑 후에 추가적인 캡핑 층을 제공한다. 본 발명의 이점 중 하나에 따르면, 그와 같은 추가적인 캡핑 층은 형성되지 않아도 된다. 물론, 원한다면, 본 발명은 또한 추가적인 캡핑 층의 사용과 조합하여 실시될 수 있다. 그러나, 본 발명은 도핑 후에 추가적인 층 없이 실시될 수 있고, 도핑 동안 형성되는 작은 최상부 층이 어닐링 동안 (최상부 층이 제거되는 동안) 도펀트를 보호하는데 충분하다. 산화를 위한 산소 소스를 제공하기 위해 가스 혼합물에 산소가 유입될 수 있더라도, 기존의 챔버 부분(또는 챔버 부분/재료의 선택)은 예를 들어, 챔버 부분의 표면상의 이트륨 산화물 코팅으로부터 및/또는 (또한 실리콘의 소스를 제공할 수 있는) 챔버 내의 실리카 부분으로부터 이전에 논의된 바와 같은 충분한 산소의 소스를 제공할 수 있다.

[0042] 단계(S214)에서, 증착된 도펀트량은 증가하지만, 비포화 상태로 남아있고, 단계(S215)에서, 표면이 포화될 때까지 도펀트의 증착이 대략 나머지의 프로세스를 통해 계속해서 증가한다. 도 6에 도시된 바와 같이, 도펀트량이 증가함에 따라, 도펀트 증착은 플라즈마로부터 직접 도펀트 층의 증착에 의해서뿐 아니라, 예를 들어, 트렌치의 바닥으로부터 핀 구조의 벽으로 발생하는 재-증착으로부터 발생한다.

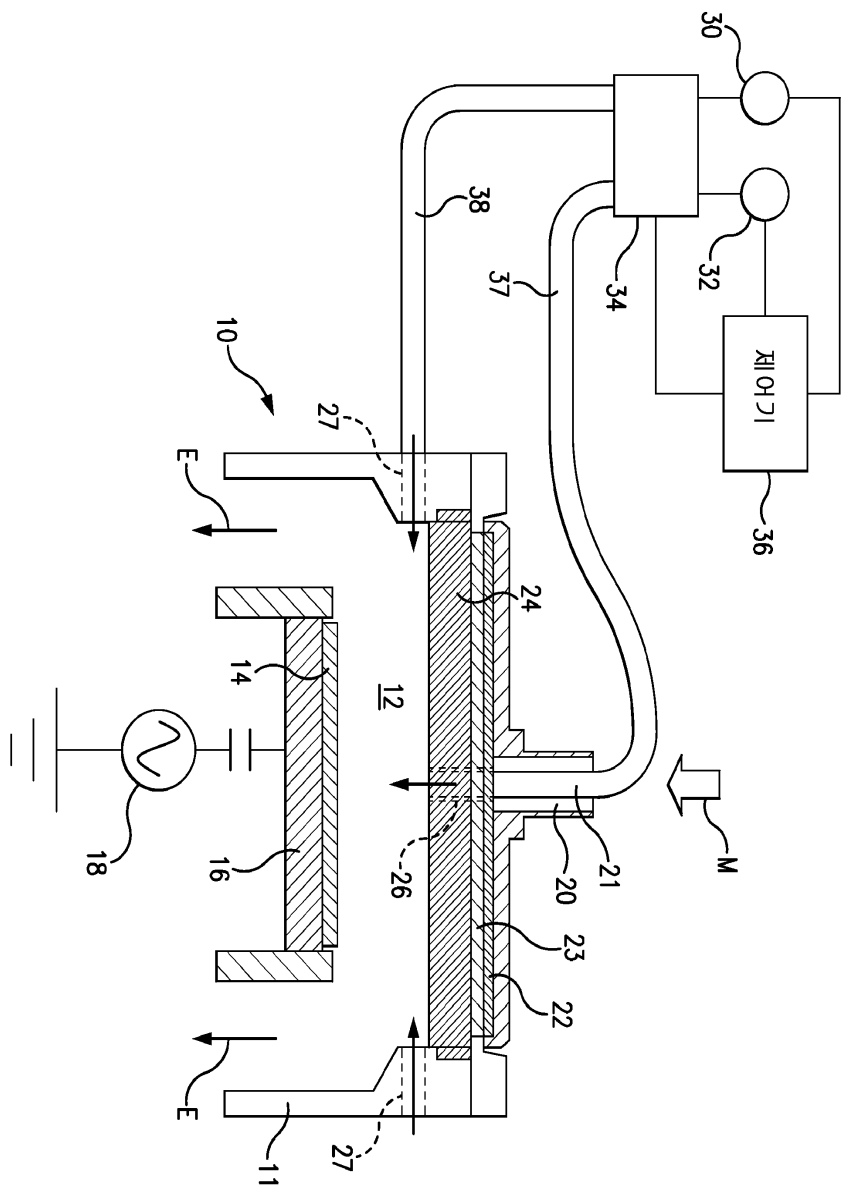
[0043] 도펀트가 기판의 표면에 포화된 후에, 도핑 프로세스가 완료된다. 전체 프로세스는 대략 30-60초에서 발생하고, 더 전형적으로 대략 40-60 초에 걸쳐 발생한다. 그후에, 기판은 바람직하게는 이전에 논의된 바와 같은 2 단계 어닐링으로 어닐링된다.

[0044] 본 발명은 FinFET 디바이스를 도핑하는데 특히 유용할 수 있다; 그러나, 본 발명은 또한 다른 응용분야에 적용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명은 수직 NAND 플래시 메모리 구조, CMOS 이미지 센서를 도핑하는데 또는 에르븀(erbium) 도핑에 사용될 수 있다. 본 발명은 따라서 평탄하지 않고 기판에 수직이거나 평행한 토포그래피(topographies)를 가지지 않는 구조를 포함하는 다양한 디바이스 또는 구조에 사용될 수 있다. 이들 구조의 예는 이미지 센서, 높은 원통형 구조를 가지는 광전 디바이스, 실리콘 나노와이어 또는 리세스를 가지는 게이트 구조를 포함한다.

[0045] 전술한 바로부터 명백한 바와 같이, 본 발명은 기판을 도핑하기 위한 유용한 방법 및 장치를 제공한다. 첨부된 청구범위의 범위 내에서 변형이 가능하고, 따라서 본 발명은 구체적으로 본원에 설명된 바와 달리 실시될 수 있음이 이해될 것이다.

도면

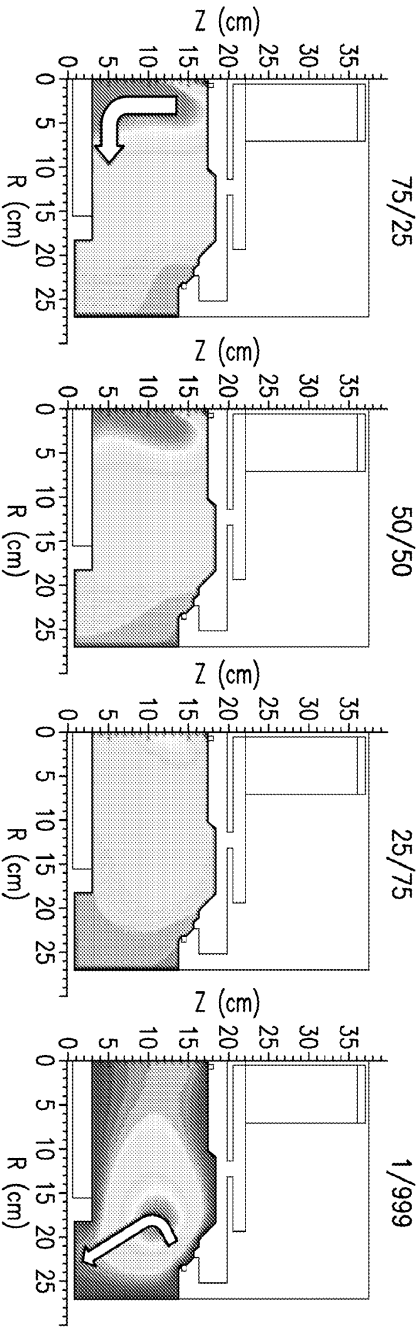
도면1



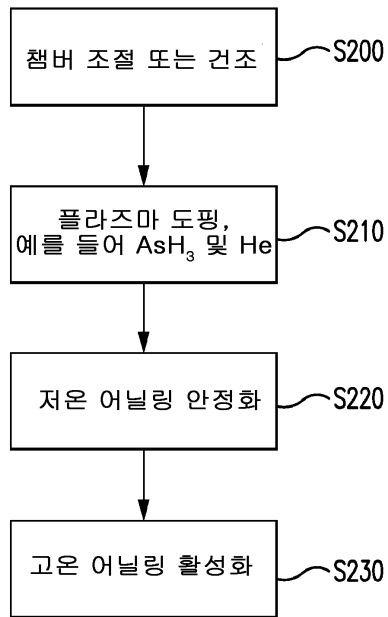
도면2

| | | | |
|-----|----------------|--|--|
| 중심비 | 30 | | |
| | 40 | | |
| | 50 | | |
| | 150mtoff_28scm | | |
| 중심비 | 60 | | |
| | 70 | | |
| | 80 | | |
| | 150mtoff_28scm | | |

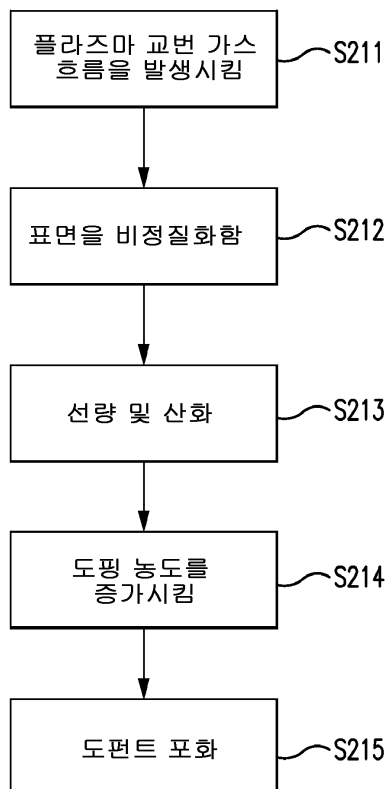
도면3



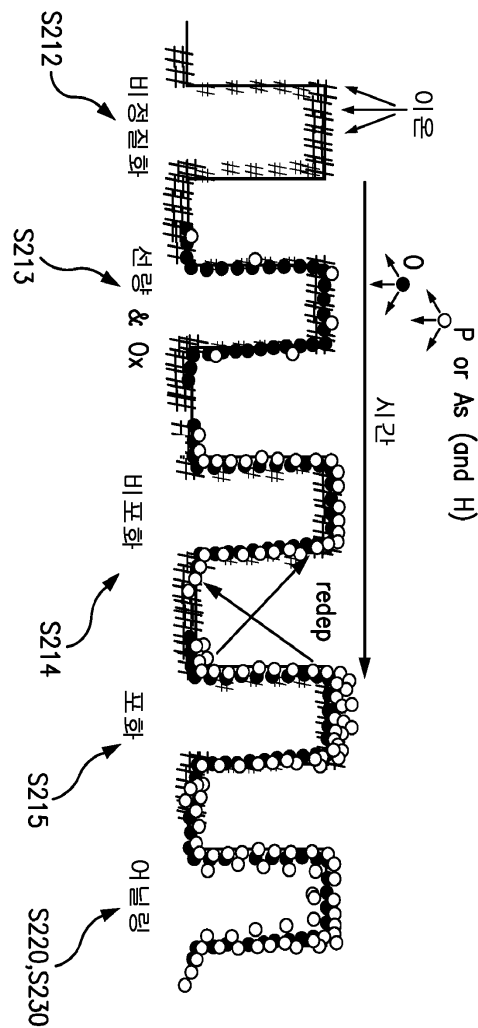
도면4



도면5



도면6



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 제19항

【변경전】

유입시키는 단계

【변경후】

유입시키는 단계