



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0066639
(43) 공개일자 2023년05월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)
H01L 21/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/3065 (2013.01)
H01L 21/02002 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-7013219
(22) 출원일자(국제) 2021년09월17일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2023년04월18일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2021/052423
(87) 국제공개번호 WO 2022/058743
국제공개일자 2022년03월24일
(30) 우선권주장
2014733.6 2020년09월18일 영국(GB)

(71) 출원인
옥스포드 인스트루먼츠 나노테크놀로지 톨스 리미티드
영국 옥스포드셔 오엑스13 5큐엑스 애빙던 튜브니 우즈
(72) 발명자
마짜무토, 사만다
영국, 애빙던 옥스포드셔 오엑스 13 5큐엑스, 터브니 우즈, 옥스포드 인스트루먼츠 나노테크놀로지 리미티드, 내
뉴턴, 앤드류
영국, 애빙던 옥스포드셔 오엑스13 5큐엑스, 터브니 우즈, 옥스포드 인스트루먼츠 나노테크놀로지 인스트루먼츠 리미티드 내
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

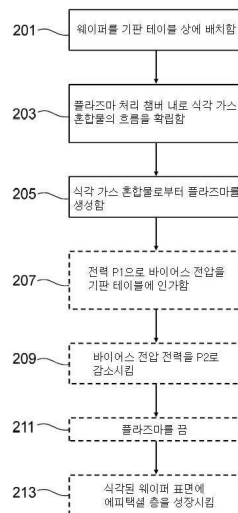
전체 청구항 수 : 총 54 항

(54) 발명의 명칭 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법

(57) 요약

후속의 에피택셜 성장을 위한 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법이 개시된다. 이 방법은 (a) 탄화규소 웨이퍼를 플라즈마 처리 챔버 내의 지지 테이블 상에 배치하여 지지 테이블에서 먼쪽에 있는 탄화규소 웨이퍼의 표면이 마스크되지 않도록 하는 단계; (b) 플라즈마 처리 챔버 내로 식각 가스 혼합물의 흐름을 확립하는 단계 - 식각 가스 혼합물은 분자 수소(H_2)를 포함함 -; 및 (c) 플라즈마 처리 챔버 내에서 식각 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하고 마스크되지 않은 표면의 거칠기를 감소시키기 위해 플라즈마를 사용하여 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면을 식각하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H01L 21/0445 (2013.01)

(72) 발명자

러브데이, 매튜

영국, 애빙던 옥스포드셔어 오엑스13 5큐엑스, 터
브니 우즈, 옥스포드 인스트루먼츠 나노테크놀로지
인스트루먼츠 리미티드 내

쿡, 마이클

영국, 애빙던 옥스포드셔어 오엑스13 5큐엑스, 터
브니 우즈, 옥스포드 인스트루먼츠 나노테크놀로지
툴스 엘티디 내

명세서

청구범위

청구항 1

후속의 에피택셜 성장을 위한 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법으로서,

(a) 상기 탄화규소 웨이퍼를 플라즈마 처리 챔버 내의 지지 테이블 상에 배치하여 상기 지지 테이블에서 먼쪽에 있는 탄화규소 웨이퍼의 표면이 마스킹되지 않도록 하는 단계;

(b) 상기 플라즈마 처리 챔버 내로 식각 가스 혼합물의 흐름을 확립하는 단계 - 상기 식각 가스 혼합물은 분자 수소(H_2)를 포함함 -; 그리고

(c) 상기 플라즈마 처리 챔버 내의 상기 식각 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하고, 상기 웨이퍼의 마스킹되지 않은 표면의 거칠기를 감소시키기 위해 상기 플라즈마를 사용하여 상기 웨이퍼의 마스킹되지 않은 표면을 식각하는 단계;를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물이 비활성 가스를 추가로 포함하고, 여기서 바람직하게는 상기 식각 가스 혼합물에서 비활성 가스에 대한 H_2 의 비율은 5:1 내지 1.5:1 범위, 가장 바람직하게는 4.5:1 내지 2:1 범위인, 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 비활성 가스가 28보다 큰 원자량을 갖고, 바람직하게는 상기 비활성 가스가 아르곤(Ar)인, 방법.

청구항 4

제2항 또는 제3항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물의 5% 내지 40%, 바람직하게는 10% 내지 35%, 보다 바람직하게는 15% 내지 30%가 상기 비활성 가스로 구성되는, 방법.

청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물은 플라즈마에 있을 때 불소 라디칼을 방출하도록 구성된 하나 이상의 불소 함유 가스를 더 포함하고, 여기서 바람직하게는 각각의 불소 함유 가스는 육불화황(SF_6), 사불화탄소(CF_4), 삼불화질소(NF_3) 및 분자 불소(F_2) 중 하나인, 방법.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물에서 상기 불소 함유 가스에 대한 H_2 의 비율은 100:1 내지 5:1 범위, 바람직하게는 50:1 내지 20:1 범위인, 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물의 적어도 20%, 바람직하게는 적어도 40%, 보다 바람직하게는 적어도 50%, 가장 바람직하게는 적어도 60%가 H_2 로 구성되는, 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물은 본질적으로 SF_6 , H_2 및 Ar로 구성되고, 바람직하게는 $SF_6:H_2:Ar$ 의 비율이 약 1:40:10인, 방법.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c) 동안 상기 플라즈마 처리 챔버 내의 압력은 1 내지 20 밀리토르(mTorr) 범위, 바람직하게는 4 내지 6 mTorr 범위, 보다 바람직하게는 약 5 mTorr의 값으로 제어되는, 방법.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 플라즈마는 1000 내지 3000와트(W) 범위, 바람직하게는 2000 내지 3000W 범위, 더욱 바람직하게는 약 2500W의 플라즈마 전력으로 생성되는 것인, 방법.

청구항 11

제1항 내지 제10항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)에서, 식각은 15 내지 25분, 바람직하게는 약 20분 동안 수행되는, 방법.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)는 바이어스 전압을 상기 기판 테이블에 인가하는 단계를 더 포함하며, 바람직하게는 상기 바이어스 전압은 200 내지 1200V 범위, 더 바람직하게는 800 내지 1200V 범위, 가장 바람직하게는 약 1000V의 전력을 갖는, 방법.

청구항 13

후속의 에피택셜 성장을 위한 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법으로서,

(a) 상기 탄화규소 웨이퍼를 플라즈마 처리 챔버 내의 지지 테이블 상에 배치하여 상기 지지 테이블에서 먼쪽에 있는 탄화규소 웨이퍼의 표면이 마스킹되지 않도록 하는 단계;

(b) 상기 플라즈마 처리 챔버 내로 식각 가스 혼합물의 흐름을 확립하는 단계 - 상기 식각 가스 혼합물은

상기 식각 가스 혼합물은 플라즈마에 있을 때 불소 라디칼을 방출하도록 구성된 하나 이상의 불소 함유 가스; 및

하나 이상의 폴리머-형성 플루오로카본 및/또는 하나 이상의 폴리머-형성 하이드로플루오로카본을 포함함 -; 그리고

(c) 상기 플라즈마 처리 챔버 내의 상기 식각 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하고, 상기 웨이퍼의 마스킹되지 않은 표면의 거칠기를 감소시키기 위해 상기 플라즈마를 사용하여 상기 웨이퍼의 마스킹되지 않은 표면을 식각하는 단계;를 포함하는, 방법.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 하나 이상의 불소 함유 가스는 육불화황(SF₆), 사불화탄소(CF₄), 삼불화질소(NF₃) 및 분자 불소(F₂) 중 하나 이상을 포함하는, 방법.

청구항 15

제13항 또는 제14항에 있어서, 상기 하나 이상의 폴리머-형성 플루오로카본은 옥타플루오로사이클로부탄(c-C₄F₈)을 포함하는, 방법.

청구항 16

제13항 내지 제15항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 하나 이상의 폴리머-형성 플루오로카본은 트리플루오로메탄(CHF₃)을 포함하는, 방법.

청구항 17

제13항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물에서 상기 불소 함유 가스 대 상기 폴리머-형성 플루오로카본 및/또는 폴리머-형성 하이드로플루오로카본의 비율은 15:1 내지 3:1 범위, 바람직하게는 약 7:1인, 방법.

청구항 18

제13항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물의 적어도 90%, 바람직하게는 상기 식각 가스 혼합물의 적어도 95%, 보다 바람직하게는 실질적으로 모든 식각 가스 혼합물이 상기 불소 함유 가스와 상기 하나 이상의 폴리머-형성 플루오로카본 및/또는 폴리머-형성 하이드로플루오로카본으로 구성된, 방법.

청구항 19

제13항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 단계(c) 동안 상기 플라즈마 처리 챔버 내의 압력은 1 내지 20 mTorr 범위, 바람직하게는 2 내지 6 mTorr 범위, 가장 바람직하게는 약 3 mTorr의 값으로 제어되는, 방법.

청구항 20

제13항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 플라즈마는 2600 내지 3800W 범위, 보다 바람직하게는 약 3200W의 플라즈마 전력으로 생성되는, 방법.

청구항 21

제13항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서, 식각은 5분 내지 15분, 바람직하게는 약 10분 동안 수행되는, 방법.

청구항 22

제13항 내지 제21항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)는 바이어스 전압을 상기 기판 테이블에 인가하는 단계를 더 포함하며, 여기서 바람직하게는 바이어스 전압은 100 내지 1200V 범위, 바람직하게는 640 내지 960V 범위, 더 바람직하게는 약 800V의 전력을 갖는, 방법.

청구항 23

후속의 에피택셜 성장을 위한 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법으로서,

(a) 상기 탄화규소 웨이퍼를 플라즈마 처리 챔버 내의 지지 테이블 상에 배치하여 상기 지지 테이블에서 먼쪽에 있는 탄화규소 웨이퍼의 표면이 마스킹되지 않도록 하는 단계;

(b) 적어도 브롬화수소(HBr) 및 산소(O_2)를 포함하는 식각 가스 혼합물의 흐름을 플라즈마 처리 챔버로 확립하는 단계; 및

(c) 상기 플라즈마 처리 챔버 내의 상기 식각 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하고, 웨이퍼의 마스킹되지 않은 표면의 거칠기를 감소시키기 위해 상기 플라즈마를 사용하여 웨이퍼의 마스킹되지 않은 표면을 식각하는 단계;를 포함하는, 방법.

청구항 24

제23항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물의 적어도 40%, 바람직하게는 적어도 50%, 보다 바람직하게는 적어도 60%가 HBr로 구성되는, 방법.

청구항 25

제23항 또는 제24항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물에서 HBr: O_2 의 비율이 3:1 내지 1.5:1 범위, 보다 바람직하게는 약 2:1인, 방법.

청구항 26

제23항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물은 브롬을 포함하지 않는 하나 이상의 할로젠 함유 가스를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 27

제26항에 있어서, 상기 하나 이상의 할로젠 함유 가스는 플라즈마에 있을 때 불소 라디칼을 방출하도록 구성된 하나 이상의 불소 함유 가스를 포함하고, 여기서 바람직하게는 각각의 불소 함유 가스는 육불화황(SF_6), 사불화

탄소(CF₄), 삼불화질소(NF₃) 및 분자 불소(F₂) 중 하나인, 방법.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물에서 상기 불소 함유 가스에 대한 HBr의 비율은 100:1 내지 2:1 범위, 바람직하게는 약 7:1 내지 3:1 범위인, 방법.

청구항 29

제23항 내지 제28항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 식각 가스 혼합물은 본질적으로 SF₆, O₂ 및 HBr로 구성되고, SF₆:O₂:HBr의 비율은 대략 1:1:4 또는 6:4:1인, 방법.

청구항 30

제23항 내지 제29항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c) 동안 상기 플라즈마의 압력은 5 내지 20 mTorr 범위, 바람직하게는 12 내지 18 mTorr 범위, 가장 바람직하게는 약 15 mTorr의 값으로 제어되는 것인, 방법.

청구항 31

제23항 내지 제30항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 플라즈마는 2400 내지 3600W 범위, 가장 바람직하게 약 3000W의 플라즈마 전력으로 생성되는 것인, 방법.

청구항 32

제23항 내지 제31항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)에서 식각은 5분 내지 15분 동안, 바람직하게는 약 10분 동안 수행되는 것인, 방법.

청구항 33

제23항 내지 제32항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)는 상기 기판 테이블에 바이어스 전압을 인가하는 단계를 더 포함하고, 바람직하게는 상기 바이어스 전압은 100 내지 1200W 범위, 바람직하게는 320 내지 480W 범위, 가장 바람직하게는 약 400W의 전력을 갖는, 방법.

청구항 34

제1항 내지 제33항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c) 이후에, (d) 웨이퍼를 위해 식각된 표면 상에 물질의 에피택셜 층을 성장시키는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 35

제34항에 있어서, 상기 (c) 단계와 (d) 단계 사이에 상기 플라즈마 처리 챔버로부터 상기 웨이퍼를 제거하여 에피택셜 성장을 위한 챔버 내부에 위치시키고, 상기 (d) 단계는 상기 웨이퍼가 에피택셜 성장을 위한 상기 챔버 내에 있는 동안 수행되는 것인, 방법.

청구항 36

제35항에 있어서, 단계(d)는: (d1) 상기 플라즈마 처리 챔버로부터 상기 플라즈마를 배기시키는 단계; (d2) 상기 웨이퍼를 에피택셜 성장 챔버로 이송하는 단계; 및 (d3) 물질의 에피택셜 층을 성장시키기 위해 상기 에피택셜 성장 챔버로 증기의 흐름을 확립하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 37

제36항에 있어서, 상기 증기는 상기 탄소규소 웨이퍼의 식각된 표면 상에 상기 물질을 형성하기에 적합한 물질 및/또는 하나 이상의 전구체를 포함하는, 방법.

청구항 38

제34항 내지 제37항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 에피택셜 성장 챔버 및 상기 플라즈마 처리 챔버는 단일 플라즈마 처리 도구에 의해 포함되는, 방법.

청구항 39

제1항 내지 제38항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)에서 프로세스는 상기 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면의 블랭킷 에칭을 수행하도록 제어되는, 방법.

청구항 40

제1항 내지 제39항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 웨이퍼는 적어도 100 밀리미터, 바람직하게는 적어도 150 밀리미터, 더 바람직하게는 적어도 200 밀리미터의 직경을 갖는 적어도 원형의 마스크되지 않은 영역을 포함하는, 방법.

청구항 41

제1항 내지 제40항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (a) 전에, SiC 결정으로부터 상기 웨이퍼를 슬라이싱하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 42

제41항에 있어서, 상기 웨이퍼를 상기 SiC 결정으로부터 슬라이싱하는 단계와 단계 (a) 사이에 화학적 기계적 연마를 하지 않는 것인, 방법.

청구항 43

제1항 내지 제42항 중 어느 한 항에 있어서, 마스크되지 않은 표면이 실리콘 면이 되도록 상기 웨이퍼가 배향되는, 방법.

청구항 44

제1항 내지 제43항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 탄화규소 웨이퍼는 에피택셜 성장되지 않은 탄화규소를 포함하고, 상기 (c) 단계에서 식각된 표면은 에피택셜 성장되지 않은 탄화규소인, 방법.

청구항 45

제1항 내지 제44항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)는 상기 웨이퍼를 냉각시키기 위해 상기 기판 테이블에 근접한 상기 웨이퍼의 표면에 헬륨을 전달하는 단계를 더 포함하고, 바람직하게는 헬륨은 1 내지 10 Torr 범위, 가장 바람직하게는 약 2 Torr의 압력에서 전달되는, 방법.

청구항 46

제1항 내지 제45항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c) 동안 상기 기판 테이블의 온도는 5 내지 30℃ 범위, 바람직하게는 15 내지 25℃ 범위, 가장 바람직하게는 약 20℃의 값으로 제어되는 것인, 방법.

청구항 47

제1항 내지 제46항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)에서 상기 플라즈마는 유도 결합 플라즈마 소스에 의해 생성되는, 방법.

청구항 48

제1항 내지 제47항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c) 동안, 마스크되지 않은 표면의 거칠기가 60% 이상 감소되는, 방법.

청구항 49

제1항 내지 제48항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c) 동안, 마스크되지 않은 표면의 거칠기는 1 nm 이하로 감소되는, 방법.

청구항 50

제1항 내지 제49항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (a)에서 마스크되지 않은 표면은 적어도 1 nm, 바람직하게는

1 내지 100 nm 범위, 더 바람직하게는 1 내지 10 nm 범위의 거칠기를 갖는, 방법.

청구항 51

제1항 내지 제50항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c)는:

(c1) 제1 기간 동안 제1 전력(P1)으로 상기 기관 테이블에 바이어스 전압을 인가하는 단계; 및

(c2) (c1) 후에, 제2 기간 동안 제2 전력(P2)으로 상기 기관 테이블에 바이어스 전압을 인가하는 단계, 여기서 P2는 P1보다 작고, 바람직하게는 P1의 0.5배 미만임;을 포함하는, 방법.

청구항 52

제51항에 있어서, P2는 50 내지 200W 범위인 방법.

청구항 53

제51항 또는 제52항에 있어서, 상기 제2 기간은 2분 내지 10분의 범위인, 방법.

청구항 54

제51항 내지 제53항 중 어느 한 항에 있어서, 단계 (c2) 동안, 2 내지 10 nm 두께의 층이 식각에 의해 마스크되지 않은 표면으로부터 제거되는 것인, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 에피택셜 성장을 위한 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 탄화규소(SiC) 결정은 예를 들어 높은 열전도율 및 내부식성과 같은, 반도체 장치들의 구성을 위한 매력적인 선택이 되는 다양한 물리적 특성들을 가지고 있다. 특히, 전기 자동차와 같은 녹색 기술의 발전으로 최근 몇 년 동안 SiC 웨이퍼에 대한 수요가 증가했다.

[0003] SiC 웨이퍼 표면에 에피택셜 성장을 수행하기 위해서는 본 명세서에서 산술 평균 거칠기 Ra로 정의하는 표면의 거칠기가 매우 낮아야 하며, 일반적으로 3나노미터(nm) 미만, 바람직하게는 1nm 미만, 보다 바람직하게는 0.5nm 미만이어야 한다. SiC 웨이퍼는 일반적으로 예를 들어 용융물에서 성장하여 얻어진, 더 큰 결정 잉곳에서 세그먼트들을 슬라이싱하여 얻는다. 슬라이스들을 필요한 두께로 랩핑한 다음 표면의 거칠기를 줄이기 위해 기계적으로 연마된다. 이 기계적 연마 단계는 일반적으로 표면 거칠기를 약 100-150nm 범위의 초기 값에서 5-10nm 범위의 값으로 감소시킨다. 거칠기를 에피택셜 성장에 적합한 값으로 추가로 줄이기 위해 일반적으로 후속의 화학적 기계적 연마(CMP) 단계가 수행된다. CMP 프로세스는 웨이퍼 표면을 연마제 및 화학적으로 식각할 수 있는 하나 이상의 부식성 화합물을 포함하는 슬러리로 웨이퍼 표면을 연마하는 것을 포함한다.

[0004] SiC 웨이퍼를 제조하는 기존 프로세스의 문제점은 위에서 설명한 다양한 단계들이 시간 소모적이어서 생산 속도를 제한한다는 것이다. 특히, CMP 단계는 복잡성을 더하고 필요한 부식성 물질의 개입으로 인해 웨이퍼의 표면과 기본 결정 구조를 손상시킬 위험이 있다. 따라서, 이러한 한계를 극복하는 SiC 웨이퍼 제조 방법이 필요하다.

발명의 내용

[0005] 본 발명의 제1 측면은 후속의 에피택셜 성장을 위한 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법을 제공하며, 이 방법은:

[0006] (a) 탄화규소 웨이퍼를 플라즈마 처리 챔버 내의 지지 테이블 상에 배치하여 지지 테이블에서 먼쪽에 있는 탄화규소 웨이퍼의 표면이 마스크되지 않도록 하는 단계;

[0007] (b) 플라즈마 처리 챔버 내로 식각 가스 혼합물의 흐름을 확립하는 단계 - 식각 가스 혼합물은 분자 수소(H₂)를 포함함 -; 및

[0008] (c) 플라즈마 처리 챔버 내의 식각 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하고 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면의

거칠기를 감소시키기 위해 플라즈마를 사용하여 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면을 식각하는 단계를 포함한다.

- [0009] 놀랍게도, H_2 를 포함하는 식각 가스로부터 생성된 플라즈마를 사용하여 SiC 웨이퍼의 표면을 에칭하면 후속의 처리 없이 웨이퍼의 표면 거칠기를 초기 값에서 식각된 표면을 에피택셜 성장에 사용할 수 있을 정도로 충분히 낮은 값으로 크게 줄일 수 있다는 것이 밝혀졌다. 따라서, 본 발명은 웨이퍼를 화학적으로 기계적으로 연마할 필요가 없으므로 에피택셜 성장에 적합한 SiC 웨이퍼의 제조를 위한 보다 빠르고 경제적인 프로세스를 제공한다.
- [0010] 1-10 nm 규모에서 표면 프로파일의 변동의 대부분은 표면 또는 그 근처의 결함들, 예를 들어 파이프, 나선 전위(screw dislocation), 칼날 전위(edge dislocation) 및 공극(vacancy)의 존재로 인한 것이다. 본 발명자들은 H_2 를 포함하는 식각 가스 혼합물로부터 생성된 플라즈마가 그러한 결함들 및 주변의 균일한 결정 구조를 유사한 속도로 에칭하는 경향이 있어 결함을 포함하는 물질의 층이 표면 프로파일의 변동을 증폭시키지 않고 제거될 수 있음을 발견하였다. 이론에 얽매이지 않고, H_2 분자 및/또는 수소 라디칼이 웨이퍼 표면에 흡착되면 표면과 이온 사이의 입사각에 의존하는 방식으로 플라즈마 이온이 웨이퍼 표면과 충돌할 때 생성되는 스퍼터링 수율이 변경되고, 결과적인 식각은 웨이퍼의 공칭(nominal) 평면에 평행하지 않은 각도로 배향된 웨이퍼 표면의 일부를 선호한다는 것이 제안된다. 따라서, 수소는 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면의 공칭 평면에 있는 표면 부분의 식각에 조절 효과를 가지며 표면 프로파일의 불규칙성을 제거하는 데 유리하다.
- [0011] 바람직한 실시예들에서 식각 가스 혼합물은 비활성 가스, 바람직하게는 아르곤, Ar을 추가로 포함하고, 여기서 바람직하게는 식각 가스 혼합물에서 비활성 가스에 대한 H_2 의 비율은 5:1 내지 1.5:1 범위, 바람직하게는 4.5:1 ~ 2:1범위이다. 이온화된 비활성 가스, 특히 아르곤은 SiC 격자의 화학 결합을 끊음으로써 웨이퍼 표면과 플라즈마의 수소라디칼과 같은 반응성 종의 상호 작용을 촉진한다. 비활성 가스 이온과 웨이퍼 표면의 충돌은 표면에서 물질을 스퍼터링하여 식각을 돕는다. 상기 비율은 웨이퍼의 식각된 표면의 거칠기를 상당히 감소시키는 것으로 밝혀졌기 때문에 그에 따른 공정에 특히 적합한 것으로 밝혀졌다. 아르곤과 같은 비활성 가스가 식각 가스 혼합물에 존재하는 경우, 바람직하게는 식각 가스 혼합물의 5% 내지 40%, 더 바람직하게는 10% 내지 35%, 가장 바람직하게는 15% 내지 30%가 비활성 가스로 구성된다. 다시, 이러한 양으로 존재하는 아르곤과 같은 비활성 가스를 포함하는 식각 가스는 웨이퍼의 식각된 표면의 거칠기를 실질적으로 감소시키는 것으로 밝혀졌다.
- [0012] 바람직한 실시예들에서 식각 가스 혼합물은 플라즈마에 있을 때 불소 라디칼을 방출하도록 각각 구성된 하나 이상의 불소 함유 가스를 더 포함하고, 여기서 바람직하게는 각각의 불소 함유 가스는 육불화황(SF_6), 사불화탄소(CF_4), 삼불화질소(NF_3) 및 분자 불소(F_2) 중 하나이다. "불소 함유 가스"란 플라즈마에 존재할 때 자유 원자 불소를 플라즈마로 방출하는 방식으로 해리되는 모든 가스를 의미한다. 이러한 가스는 트렌치 및 메시와 같은 수직 형상을 식각하는 데 적합한 것으로 널리 간주되지만, 발명자들은 놀랍게도 위에서 정의된 방법을 수행할 때 식각 가스 혼합물에 불소 함유 가스가 존재하면 SiC 웨이퍼의 식각된 표면의 거칠기를 감소시킬 수 있음을 발견했다. 위에서 설명한대로, 식각 가스 혼합물에 H_2 가 존재하면 웨이퍼의 공칭 평면에 평행하지 않은 표면의 에칭을 촉진하는 방식으로 입사 이온의 궤적과 충돌하는 SiC 웨이퍼 표면의 부분 사이의 각도에 따라 스퍼터 수율이 달라지는 것이 제안된다. 이 효과는 식각 가스 혼합물에서 식각체로서 작용하는 불소 함유 가스의 존재에 의해 강화되는 것으로 여겨진다. 특히, SF_6 를 포함하는 식각 가스 혼합물은 식각된 표면의 거칠기를 상당히 감소시키는 것으로 입증되었다. 불소 함유 가스가 존재하는 경우, 식각 가스 혼합물 내의 H_2 대 불소 함유 가스의 비율은 바람직하게는 100:1 내지 5:1 범위, 바람직하게는 50:1 내지 20:1 범위이다. 이 조성은 식각된 웨이퍼 표면의 거칠기를 감소시키는데 특히 효과적인 것으로 밝혀졌다.
- [0013] 유리하게는, 식각 가스 혼합물의 적어도 20%, 바람직하게는 적어도 40%, 더 바람직하게는 적어도 50%, 가장 바람직하게는 적어도 60%가 H_2 로 구성될 수 있다. 수소가 이러한 수준으로 존재하는 식각 가스 혼합물은 식각된 표면의 표면 거칠기를 특히 크게 감소시키는 것으로 밝혀졌다.
- [0014] 특히 바람직한 실시예들에서, 식각 가스 혼합물은 본질적으로 SF_6 , H_2 및 Ar로 구성되며, $SF_6:H_2:Ar$ 의 비율은 대략 1:40:10인 것이 바람직하다. 본 발명의 제1 측면에 따른 방법은 이러한 화합물들만을 함유하는 식각 가스 혼합물을 사용하여 원하는 표면 거칠기 감소를 달성하는 것으로 입증되었으며, 이러한 실시예들에서 대략 1:40:10의 특정 조성이 최고의 결과를 달성하는 것으로 밝혀졌다. 물론, 다른 종들이 원하는 결과를 달성하는 방법의 능력을 포함하지 않고 부수적으로 미량 수준으로 존재할 수 있다. 약 1:40:10이라는 것은 이 비율의 각 부분이 명시된 값의 20% 이내, 바람직하게는 10% 이내임을 의미한다.

- [0015] 바람직한 실시예들에서, 단계 (c) 동안 플라즈마 처리 챔버의 압력은 1 내지 20 밀리토르(mTorr) 범위, 바람직하게는 4 내지 6 mTorr 범위, 보다 바람직하게는 약 5 mTorr의 값으로 제어된다. 이러한 조건에서 표면 거칠기의 가장 큰 감소가 관찰되었다.
- [0016] 플라즈마는 바람직하게는 1000 내지 3000와트(W) 범위, 바람직하게는 2000 내지 3000W 범위, 더욱 바람직하게는 약 2500W의 플라즈마 전력으로 생성된다.
- [0017] 유리하게는, 단계 (c)에서, 식각은 15 내지 25분 사이, 바람직하게는 약 20분 동안 수행될 수 있다. SiC 웨이퍼의 표면 거칠기는 본 발명의 제1 측면에 따른 방법의 일부로서 수행될 때 이 기간의 식각에 의해 에피택셜 성장에 적합한 값으로 감소될 수 있음이 밝혀졌다.
- [0018] 바람직하게는 단계 (c)는 바이어스 전압을 기관 테이블에 인가하는 단계를 더 포함하고, 여기서 바람직하게는 바이어스 전압은 200 내지 1200W 범위, 보다 바람직하게는 800 내지 1200W 범위, 가장 바람직하게는 약 1000W의 전력을 갖는다. 이것은 마스킹되지 않은 표면의 거칠기를 여전히 감소시키면서 식각 속도를 향상시키는 것(따라서 웨이퍼가 에피택셜 성장을 위해 준비될 수 있는 속도를 증가시킴)으로 밝혀졌다.
- [0019] 본 발명의 제2 측면은 후속의 에피택셜 성장을 위한 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법을 제공하고, 이 방법은: (a) 탄화규소 웨이퍼를 플라즈마 처리 챔버 내의 지지 테이블 상에 배치하여 지지 테이블에서 먼쪽에 있는 탄화규소 웨이퍼의 표면이 마스킹되지 않도록 하는 단계; (b) 플라즈마 처리 챔버로 식각 가스 혼합물의 흐름을 확립하는 단계, 상기 식각 가스 혼합물은 플라즈마에 있을 때 불소 라디칼을 방출하도록 구성된 하나 이상의 불소 함유 가스; 및 하나 이상의 폴리머-형성 플루오로카본 및/또는 하나 이상의 폴리머-형성 하이드로플루오로카본을 포함함; 및 (c) 플라즈마 처리 챔버 내의 식각 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하고, 마스킹되지 않은 표면의 거칠기를 감소시키기 위해 플라즈마를 사용하여 웨이퍼의 마스킹되지 않은 표면을 식각하는 단계를 포함한다.
- [0020] 본 발명의 제2 측면의 이 방법은 식각 가스 혼합물이 하나 이상의 불소 함유 가스 및 하나 이상의 폴리머-형성 플루오로카본을 포함하는 것만이 필요하다는 점에서 제1 측면에 의해 제공되는 방법과 상이하다. 제1 측면의 방법과 마찬가지로, 본 발명의 제2 측면의 방법은 SiC 웨이퍼의 표면 거칠기를 에피택셜 성장을 수행하기에 충분히 낮은 값으로 감소시킬 수 있고 CMP 프로세스를 수행할 필요성을 제거하는 것으로 밝혀졌다. 이러한 결과가 달성되는 메커니즘은 제1 측면과 관련하여 위에서 약술한 것과 유사하지만, 폴리머-형성 플루오로카본(들) 및/또는 하이드로플루오로카본(들)이 웨이퍼의 공칭 평면과 평행하지 않은 표면 부분의 식각을 촉진하는 수소를 대신하는 것으로 여겨진다. "폴리머-형성 (하이드로)플루오로카본"은 플라즈마에 존재할 때 SiC 웨이퍼 표면에 폴리머 층을 형성할 수 있는 모든 (하이드로)플루오로카본을 의미한다. 이러한 화합물들은 다른 가스를 첨가하지 않으면 플라즈마에서 폴리머를 형성할 수 없는 CF_4 와 같은 불소 함유 가스와 구별된다.
- [0021] 제2 측면에 따른 방법에서 불소 함유 가스(들)의 영향은 본 발명의 제1 측면과 관련하여 위에서 설명한 것과 유사하다고 여겨진다. 즉, 식각제로서의 그들의 거동이 공칭 평면에 평행하지 않은 웨이퍼 표면의 일부를 선택적으로 공격하도록 유도하는 방식으로 SiC 웨이퍼 표면의 폴리머 층의 존재에 의해 영향을 받는다고 여겨진다.
- [0022] 하나 이상의 불소 함유 가스는 유리하게는 육불화황(SF_6), 사불화탄소(CF_4), 삼불화질소(NF_3) 및 분자 불소(F_2) 중 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0023] 옥타플루오로사이클로부탄($c-C_4F_8$) 및 트리플루오로메탄(CHF_3)은 각각 본 발명의 제2 측면에 따른 방법을 수행하기에 적합한 것으로 밝혀진 플루오로카본 및 하이드로플루오로카본의 예이다. 바람직한 실시예들에서, 식각 가스 혼합물은 이러한 화합물들 중 하나 또는 둘 모두(및 선택적으로 다른 플루오로카본 및/또는 하이드로플루오로카본)를 포함한다.
- [0024] 유리하게는, 식각 가스 혼합물에서 불소 함유 가스 대 폴리머-형성 플루오로카본 및/또는 폴리머-형성 하이드로플루오로카본의 비율은 15:1 내지 3:1 범위, 바람직하게는 약 7:1일 수 있다. 이것은 각각 개별적으로 존재하는 것이 아니라, 모든 플루오로카본과 하이드로플루오로카본의 합이 이러한 수준에 존재한다는 것을 의미한다. 이러한 구성을 가진 식각 가스는 SiC 웨이퍼의 표면 거칠기를 줄이는 데 특히 효과적인 것으로 밝혀졌다.
- [0025] 바람직하게는 식각 가스 혼합물의 적어도 90%, 바람직하게는 식각 가스 혼합물의 적어도 95%, 보다 바람직하게는 실질적으로 모든 식각 가스 혼합물이 불소 함유 가스 및 하나 이상의 폴리머-형성 플루오로카본 및/또는 폴리머-형성 하이드로플루오로카본으로 구성된다. 실질적으로 모든 식각 가스 혼합물이 이러한 물질들을 포함하는 경우에도 미량 수준의 다른 종은 존재할 수 있지만 표면 거칠기의 필요한 감소를 달성하기 위해 식각 가스 혼합

물에 다른 종은 존재할 필요가 없다는 것이 밝혀졌다.

- [0026] 바람직한 실시예들에서, 단계(c) 동안 플라즈마 처리 챔버 내의 압력은 1 내지 20 mTorr 범위, 바람직하게는 2 내지 6 mTorr 범위, 가장 바람직하게는 약 3 mTorr의 값으로 제어된다. 이 범위의 압력 값으로 표면 거칠기가 크게 감소했다.
- [0027] 바람직하게는 플라즈마는 2600 내지 3800W 범위, 보다 바람직하게는 약 3200W의 플라즈마 전력으로 생성된다.
- [0028] 유리하게는, 단계 (c)에서, 식각은 5분 내지 15분, 바람직하게는 약 10분 동안 수행된다. SiC 웨이퍼의 표면은 이 범위의 지속 시간을 갖는 식각에 의해 에피택셜 성장을 위해 충분히 매끄럽게 만들어질 수 있음이 밝혀졌다.
- [0029] 바람직하게는 단계 (c)는 바이어스 전압을 기관 테이블에 인가하는 단계를 더 포함하며, 여기서 바람직하게는 바이어스 전압은 100 내지 1200V 범위, 바람직하게는 640 내지 960V 범위, 더 바람직하게는 약 800V의 전력을 갖는다.
- [0030] 본 발명의 제3 측면은 후속의 에피택셜 성장을 위한 탄화규소 웨이퍼를 준비하는 방법을 제공하며, 이 방법은: (a) 탄화규소 웨이퍼를 플라즈마 처리 챔버 내의 지지 테이블 상에 배치하여 지지 테이블에서 먼쪽에 있는 탄화규소 웨이퍼의 표면이 마스크되지 않도록 하는 단계; (b) 적어도 브롬화수소(HBr) 및 산소(O₂)를 포함하는 식각 가스 혼합물의 흐름을 플라즈마 처리 챔버로 확립하는 단계; 및 (c) 플라즈마 처리 챔버 내의 식각 가스 혼합물로부터 플라즈마를 생성하고, 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면의 거칠기를 감소시키기 위해 플라즈마를 사용하여 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면을 식각하는 단계를 포함한다.
- [0031] 본 발명의 제1 및 제2 측면의 방법들과 마찬가지로, 이 방법은 SiC 웨이퍼의 표면 거칠기를 초기 값에서 에피택셜 성장이 수행될 수 있는 수준으로 감소시키는 것으로 밝혀졌다. 이 경우 식각 가스 혼합물의 필수 성분들은 브롬화 수소와 산소이다. 브롬화수소는 상기 개요와 같이 본 발명의 제1 측면에서 수소와 유사한 식각 프로세스에서 역할을 수행하는 것으로, 즉 마스크되지 않은 표면의 공칭 평면에 놓인 웨이퍼 부분의 식각을 조절하는 것으로 여겨진다. 산소는 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면에서 물질을 제거하는 플라즈마의 능력을 향상시키는 것으로 밝혀졌고, 브롬화수소와 함께 존재할 때 마스크되지 않은 표면의 공칭 평면 밖에 있는 표면의 특징부를 우선적으로 식각하는 것으로 여겨진다.
- [0032] HBr이 식각 가스 혼합물에 상당한 수준으로, 바람직하게는 식각 가스 혼합물의 적어도 40%, 더 바람직하게는 적어도 50%, 가장 바람직하게는 적어도 60%로 존재할 때 최상의 결과가 달성된다는 것이 밝혀졌다.
- [0033] 바람직한 실시예들에서, 식각 가스 혼합물에서 HBr:O₂의 비율은 3:1 내지 1.5:1 범위, 보다 바람직하게는 약 2:1이다. 웨이퍼 표면으로부터 물질을 제거하는 플라즈마의 능력에 대한 O₂의 강화 효과는 이 조성에서 특히 강한 것으로 밝혀졌다.
- [0034] 식각 가스 혼합물은 브롬을 포함하지 않는 하나 이상의 할로젠 함유 가스를 더 포함하는 것이 바람직하다. 아래에서 더 자세히 논의되는 바와 같이, 이들은 불소 함유 가스 또는 다른 할로젠 함유 가스(예: HCl)와 같은 다른 할로젠 함유 가스일 수 있다. 그러나, 특히 바람직한 실시예들에서, 하나 이상의 할로젠 함유 가스는 플라즈마에 있을 때 불소 라디칼을 방출하도록 각각 구성된 하나 이상의 불소 함유 가스를 포함한다. 여기서, 바람직하게는 각각의 불소 함유 가스는 육불화황(SF₆), 사불화탄소(CF₄), 삼불화질소(NF₃) 및 분자 불소(F₂) 중 하나이다. 여기서 이러한 화합물들의 효과는 본 발명의 제1 측면 및 제2 측면과 관련하여 상기 기재된 것과 유사한 것으로 여겨지며, 즉, 마스크되지 않은 표면의 공칭 평면 외부에 있는 표면 부분에서 물질의 제거를 선호하는 방식으로 SiC 웨이퍼의 표면을 식각하는 것으로 여겨진다. 바람직하게는 식각 가스 혼합물에서 HBr 대 불소 함유 가스의 비율은 100:1 내지 2:1 범위, 더 바람직하게는 7:1 내지 3:1 범위이다. 이는 식각된 표면의 거칠기를 가장 효과적으로 감소시키는 것으로 밝혀졌다.
- [0035] 바람직한 실시예들에서, 식각 가스 혼합물은 본질적으로 SF₆, O₂ 및 HBr로 구성되며, 여기서 SF₆:O₂:HBr의 비율은 대략 1:1:4 또는 1:4:6이다. 원하는 결과를 달성하기 위해 다른 종이 존재할 필요가 없으며 이러한 비율이 특히 효과적인 것으로 밝혀졌기 때문이다. 그러나, 달성된 결과의 품질을 눈에 띄게 감소시키지 않으면서 다른 종들이 미량 수준으로 존재할 수 있음을 이해할 것이다.
- [0036] 바람직하게는 단계 (c) 동안 플라즈마의 압력은 5 내지 20 밀리토르(mTorr), 바람직하게는 12 내지 18 mTorr, 가장 바람직하게는 약 15 mTorr 범위의 값으로 제어된다. 이러한 값들은 본 발명의 제3 측면에 따른 방법을 수행하는 데 가장 적합한 것으로 밝혀졌다.

- [0037] 바람직하게는 플라즈마는 2400 내지 3600W 범위, 대부분 약 3000W의 플라즈마 전력으로 생성된다.
- [0038] 제3 측면의 바람직한 실시예들에서, 단계(c)에서 식각은 5분 내지 15분, 바람직하게는 약 10분 동안 수행된다. 이 지속 시간은 에피택셜 성장을 위한 표면을 준비하기에 충분한 것으로 밝혀졌다.
- [0039] 바람직하게는 단계 (c)는 바이어스 전압을 기관 테이블에 인가하는 단계를 더 포함하며, 여기서 바람직하게는 바이어스 전압은 100 내지 1200W, 바람직하게는 320 내지 480W, 가장 바람직하게는 약 400W 범위의 전력을 갖는다. 전술한 바와 같이, 기관 테이블을 바이어싱하면 식각 속도가 향상되고, 이러한 값들은 마스크되지 않은 표면의 거칠기를 감소시키면서 그렇게 하는 것으로 나타났다.
- [0040] 전술한 논의에서, 3개의 프로세스들이 각각에 대해 바람직한 특징들 및 파라미터들과 함께 도입되었다. 이제 위의 3개의 방법들 중 하나의 일부로 구현될 수 있는 추가의 바람직한 특징들을 설명한다.
- [0041] 상기 본 발명의 3개 측면들 각각에 따른 방법에서, 단계 (a) 동안 마스크되지 않은 표면은 바람직하게는 적어도 1 nm, 바람직하게는 적어도 3 nm, 더 바람직하게는 적어도 5 nm의 거칠기를 갖는다. 위의 방법들은 에피택셜 성장을 위해 이러한 범위 내의 초기 거칠기 값을 갖는 SiC 웨이퍼의 표면을 준비할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 그러나, 다른 실시예들에서 단계(a) 동안 마스크되지 않은 표면의 거칠기는 1 nm 미만일 수 있는데, 이는 이 범위 내의 초기 거칠기 값을 갖는 표면에 대해 거칠기의 감소가 또한 달성되었기 때문이다.
- [0042] 전술한 바와 같이, 본 발명에 의해 제공되는 방법들은 에피택셜 층의 성장을 위해 SiC 웨이퍼의 식각된 표면을 준비할 수 있다. 따라서, 방법은 바람직하게는 단계 (c) 후에: (d) 웨이퍼를 위해 식각된 표면 상에 물질의 에피택셜 층을 성장시키는 단계를 포함한다.
- [0043] 일부 바람직한 실시예들에서, 단계 (c)와 (d) 사이에서, 웨이퍼는 플라즈마 처리 챔버로부터 제거되고 에피택셜 성장을 위해 챔버 내부에 배치되고, 웨이퍼가 에피택셜 성장을 위한 챔버에 있는 동안 단계 (d)가 수행된다. 따라서, 에피택셜 성장은 식각이 수행되는 챔버와 다른 챔버에서 수행된다. 이들 각 단계를 수행하기에 적합한 별도의 장치가 용이하게 구비되어 있어, 이러한 실시예들은 종래의 장비와 함께 수행할 수 있다는 점에서 장점이 있다.
- [0044] 따라서, 특히 바람직한 실시예들에서, 단계(d)는: (d1) 플라즈마 처리 챔버로부터 플라즈마를 배기시키는 단계; (d2) 웨이퍼를 에피택셜 성장 챔버로 이송하는 단계; 및 (d3) 물질의 에피택셜 층을 성장시키기 위해 에피택셜 성장 챔버로 증기의 흐름을 확립하는 단계를 포함한다. 이러한 실시예들에서, 증기는 탄소규소 웨이퍼의 식각된 표면 상에 물질을 형성하기에 적합한 물질 및/또는 하나 이상의 전구체를 포함할 수 있다. 물질 및/또는 전구체는 에피택셜 층이 SiC 층이 되도록 선택될 수 있다. 단계 (d3)는 전자 장치 및 기타 제품 제조에 적합한 일련의 에피택셜 층을 성장시키기 위해 동일하거나 상이한 물질/전구체로 반복될 수 있다. 특히 바람직한 실시예들에서, 에피택셜 성장 챔버 및 플라즈마 처리 챔버는 단일 플라즈마 처리 도구에 의해 구성된다. 이것은 웨이퍼가 먼 거리에 걸쳐 취급되거나 운반하지 않고 플라즈마 처리 챔버와 에피택셜 성장 챔버 사이에서 운반될 수 있게 하여 운반 중에 식각된 표면에 대한 손상 위험을 최소화할 것이다.
- [0045] 대안적인 실시예들에서, 식각 단계(c) 및 에피택셜 성장 단계(d)는 잠재적으로 상이한 위치에서 상이한 엔티티(entity)에 의해 별도의 처리 도구에서 수행될 수 있다. 예를 들어, 식각 단계(c)는 웨이퍼 제조자에 의해 수행될 수 있고, 후속의 에피택셜 성장 단계는 웨이퍼 제조자로부터 웨이퍼를 조달한 장치 제조자에 의해 수행될 수 있다.
- [0046] 전술한 모든 방법들에서, 프로세스는 바람직하게는 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면의 블랭킷(blanket) 식각을 수행하도록 제어된다. 블랭킷 식각은 실질적으로 모든 마스크되지 않은 표면이 동일한 처리 정도를 받는 것이며, 이는 본 발명에서 식각된 표면에 걸쳐 균일한 수준의 거칠기를 초래할 것이다. 따라서, 블랭킷 식각을 수행하면 에피택셜 성장을 위해 넓은 영역을 준비할 수 있다.
- [0047] 바람직한 실시예들에서, 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면은 적어도 100밀리미터, 바람직하게는 적어도 150밀리미터, 더 바람직하게는 적어도 200밀리미터의 직경을 갖는 적어도 원형의 마스크되지 않은 영역을 포함한다. 이는 표면의 마스크되지 않은 영역 내에서 위에서 설명한 종류의 마스크가 존재하지 않는 이 최소 측면 치수의 직경을 갖는 원형 영역을 식별할 수 있음을 의미한다. 그러나, 마스크되지 않은 영역의 실제 주변은 잠재적으로 원형이 아닐 수 있음(완전히 마스크되지 않은 원형 웨이퍼가 식각되는 바람직한 예에서 그러할 것이지만)을 이해할 것이다. 일반적으로 이 최소 치수는 웨이퍼의 직경에 해당한다. 예를 들어, 마스크되지 않은 원형 표면의 경우 위에서 언급한 직경은 단순히 원의 직경이고 정사각형 표면의 경우 정사각형의 측면 길이이다. 마스크되지

많은 직사각형 표면의 경우 이 직경은 직사각형의 두 변 길이 중 더 작은 것이다. 이 개념적 원형 영역의 더 큰 직경은 일반적으로 웨이퍼 표면의 더 큰 영역이 식각 단계에 의해 에피택셜 성장을 위해 준비된다는 것을 의미한다. 본 발명에 따른 방법들은 위에서 언급된 범위의 최소 치수를 갖는 SiC 웨이퍼의 마스크되지 않은 영역을 성공적으로 준비하는 것으로 입증되었다.

- [0048] 일부 바람직한 실시예들에서, 방법은 단계 (a) 이전에 SiC 결정으로부터 웨이퍼를 슬라이싱하는 단계를 포함한다. 이러한 실시예들에서, 웨이퍼는 바람직하게는 SiC 결정으로부터 웨이퍼를 슬라이싱하는 단계와 단계 (a) 사이에 화학적 기계적 연마(CMP)를 받지 않는다. 전술한 바와 같이, 본 발명의 제1, 제2 및 제3 측면에 따른 방법들은 화학적 기계적 연마 없이 에피택셜 성장을 위해 SiC 웨이퍼의 표면을 준비할 수 있으므로, 그러한 프로세스가 수행되지 않는 것이 바람직하다. 이는 웨이퍼의 표면 및/또는 밑에 있는 결정 구조를 손상시키는 CMP에 포함된 부식성 물질의 위험을 제거하므로 유리하다.
- [0049] 유리하게는, 웨이퍼는 마스크되지 않은 표면이 실리콘 면이 되도록 배향된다. 이것은 웨이퍼의 적어도 한 표면이 (탄소와 반대되는) 실리콘 원자로 끝나는 방향으로 더 큰 결정으로부터 SiC 웨이퍼를 슬라이싱함으로써 달성될 수 있다. 본 발명의 방법들은 마스크되지 않은 표면이 실리콘 면일 때 특히 효과적인 것으로 밝혀졌다.
- [0050] 바람직하게는 탄화규소 웨이퍼는 비에피택셜 성장 탄화규소를 포함하고, 단계 (c)에서 식각된 표면은 비에피택셜 성장 탄화규소이다. 위에서 언급한 바와 같이 이것은 예를 들어 용융물에서 성장할 수 있는 더 큰 결정 잉곳에서 웨이퍼를 슬라이싱함으로써 달성될 수 있다.
- [0051] 바람직한 실시예들에서, 단계 (c)는 웨이퍼를 냉각시키기 위해 기판 테이블에 근접한 웨이퍼의 표면에 헬륨을 전달하는 단계를 더 포함하고, 바람직하게는 헬륨은 1 내지 10 Torr, 가장 바람직하게는 약 2 Torr 범위의 압력에서 전달된다. 이 특징은 "헬륨 후면 냉각"이라고도 하며, 예를 들어 플라즈마의 열로 인한 열 응력으로 인해 웨이퍼가 손상되지 않도록 한다. 또한, 웨이퍼 표면의 조건이 마스크되지 않은 표면 전체에서 균일하도록 보장하여 플라즈마에 의한 처리 정도를 촉진한다. 많은 실시예들에서, 웨이퍼는 기판 테이블에 근접한 표면이 마스크되지 않은 표면에 대략 평행하도록 형상화되며, 이 경우 이는 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면의 특히 균일한 냉각을 가져온다.
- [0052] 바람직하게는 단계 (c) 동안 기판 테이블의 온도는 5 내지 30°C 범위, 바람직하게는 15 내지 25°C 범위, 가장 바람직하게는 약 20°C의 값으로 제어된다. 이것은 예를 들어 유체의 재순환 또는 임의의 다른 냉각 프로세스에 의해 달성될 수 있으며, 그 예는 잘 알려져 있다. 다시 말하지만, 이것은 웨이퍼가 열에 의해 손상되는 것을 방지하고 마스크되지 않은 표면 전체에 걸쳐 균일한 처리를 보장한다.
- [0053] 단계 (c)에서 플라즈마는 유도 결합 플라즈마 소스에 의해 유리하게 생성될 수 있다. 그러나 플라즈마는 용량 결합 플라즈마 소스와 같은 대체 소스에 의해 생성될 수 있다.
- [0054] 전술한 바와 같이, 본 발명의 제1, 제2 및 제3 측면에 따른 방법들은 웨이퍼의 마스크되지 않은 표면의 거칠기를 실질적으로 감소시키는 것으로 밝혀졌고, 바람직하게는 마스크되지 않은 표면의 거칠기가 적어도 60% 감소된다. 또한, 마스크되지 않은 표면의 거칠기는 바람직하게는 3nm 이하, 보다 바람직하게는 1nm 이하, 더욱 바람직하게는 0.5nm 이하로 감소되는데, 이는 에피택셜 성장에 특히 적합한 표면을 야기할 것이기 때문이다.
- [0055] 바람직한 실시예들에서, 단계 (a)에서 마스크되지 않은 표면은 1 내지 100 nm 범위, 바람직하게는 1 내지 10 nm 범위의 거칠기 Ra를 갖는다. 또한, 일부 바람직한 실시예들에서 단계(a)에서 마스크되지 않은 표면의 거칠기는 적어도 5nm일 수 있다. 개시된 방법들은 이들 범위의 초기 거칠기 값을 갖는 표면으로부터 에피택셜 성장에 적합한 표면을 준비할 수 있는 것으로 밝혀졌다.
- [0056] 유리하게는, 단계 (c)는 (c1) 제1 기간 동안 제1 전력(P1)으로 기판 테이블에 바이어스 전압을 인가하는 단계; 및 (c2) (c1) 후에, 제2 기간 동안 제2 전력(P2)으로 기판 테이블에 바이어스 전압을 인가하는 단계, 여기서 P2는 P1보다 작고, 바람직하게는 P1의 0.5배 미만임;을 포함할 수 있다. 식각 단계 종료 시 일정 시간 동안 바이어스 전력을 낮춤으로써, 표면과 충돌하는 이온에 의해 운반되는 에너지의 일반적인 양이 감소하고 이로 인해 각 충돌에 의해 제거되는 물질이 줄어든다. 단계 (c1)의 끝에서 표면의 거칠기는 초기 값에서 감소할 것이다. 따라서, 단계 (c2)는 고에너지 이온으로 인한 표면 손상 위험을 줄이면서 표면에 남아 있는 일반적으로 더 작은 수차(aberration)를 제거할 수 있도록 한다. 단계 (c2)는 "연착륙(soft landing)" 단계라고 지칭될 수 있다. 고에너지 충돌로 인한 손상의 영향이 완화되는 "연착륙"은 또한 단계 (c)의 마지막 부분 동안 주기적 원자층 에칭(ALE) 프로세스, 바람직하게는 마스크되지 않은 표면에서 최소 1nm 두께의 층을 제거하도록 제어되는 프로세스를 수행함으로써 달성될 수 있다. 이는 대략 5주기의 원자층 식각 공정을 수행함으로써 달성될 수 있다. ALE

프로세스는 기판 테이블 바이어스가 감소된 후에 단계(c2)에 대한 대안으로서 또는 단계(c2)에 추가하여 수행될 수 있다.

[0057] 바람직하게는, P2는 50 내지 200W의 범위이고/이거나 제2 기간은 2 내지 10분의 범위이다. 이러한 파라미터들은 단계 (c2)에서 표면의 특히 효과적인 평활화를 달성하는 것으로 밝혀졌다.

[0058] 바람직한 실시예들에서, 단계 (c2) 동안, 2 내지 10 nm 두께의 층이 식각에 의해 마스크되지 않은 표면으로부터 제거된다. 이는 위에서 언급한 바와 같이 2분 내지 10분 범위의 기간을 갖는 연속된 단계에 의해 달성될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0059] 본 발명의 측면들에 따른 방법들의 예들은 이제 첨부된 도면들을 참조하여 설명될 것이다.

도 1은 본 발명의 제1, 제2 및 제3 측면에 따른 방법을 수행하도록 구성된 예시적인 표면 처리 도구를 개략적으로 도시한 것이다.

도 2는 본 발명의 실시예들에 따른 프로세스의 예를 도시한다. 그리고,

도 3a 내지 도 3c는 본 발명의 실시예들에 따른 상이한 준비 단계들 및 후속의 에피택셜 성장에서의 탄화규소 웨이퍼의 예시들을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0060] 도 1은 현재 개시된 방법들을 구현하기에 적합한 플라즈마 처리 도구의 예를 도시한다. 플라즈마 처리 도구(1)는 사용 중에 탄화규소(SiC) 웨이퍼(30)가 배치되는 플라즈마 처리 챔버(2)를 포함한다. 식각을 수행하기 위해, 하나 이상의 가스를 포함하는 식각 가스 혼합물이 플라즈마 처리 챔버(2)에 도입되고 원하는 식각 메커니즘을 수행하기 위해 조건들이 제어된다. 챔버 내의 프로세스 파라미터들이 제어되며 적어도 하나(보다 일반적으로 복수)의 장치 세트에 의해 조정될 수 있으며, 그 예는 도 1에 개략적으로 도시되어 있다. 이 예에서, 도구(1)는 제1 및 제2 입력 가스(G1 및 G2)를 각각 플라즈마 처리 챔버(2)에 공급하기 위한 2개의 입력 가스 공급원들(4(a) 및 4(b))을 갖추고 있다. 본 발명의 일부 실시예들은 2개 이상의 가스들을 포함하는 식각 가스 혼합물을 사용하고, 플라즈마 처리 도구(1)는 식각 가스 혼합물의 성분 가스 각각을 공급하도록 각각 구성된 임의의 수의 가스 공급원들을 가질 수 있음을 이해할 것이다. 챔버(2)로의 각각의 가스 유입은 밸브들(6(a) 및 6(b)) 및 각각의 질량 흐름 제어기(미도시)에 의해 제어된다. 다시, 2개 이상의 가스들이 식각 가스 혼합물에 포함되는 경우 추가적인 질량 흐름 제어기가 제공될 수 있다. 미반응 입력 가스 및 임의의 반응 생성물을 포함하는 배기 가스는 덕트(7) 및 관련 펌프(들)(8)를 통해 플라즈마 처리 챔버(2)로부터 제거되며, 펌프(들)(8)는 전형적으로 챔버 내의 압력을 거의 진공 조건으로 감소시킬 수 있다. 챔버 압력은 주로 배기 펌프 시스템, 특히 펌핑 속도와 챔버에서 펌프까지의 펌핑 라인의 "컨덕턴스"에 의해 결정된다(이는 펌핑 라인의 구조와 관련된 요소임). 그러나, 처리 중에, 플라즈마가 생성될 때 및/또는 식각(또는 나중에 논의되는 바와 같이 실제로 증착)이 발생할 때, 가스 종들은 손실되거나 챔버 내부에서 생성되어 압력에 영향을 미칠 수 있다. 그러한 변화를 조절하기 위해, 당업계에 공지된 바와 같이 자동 압력 제어 밸브(8a)가 제공되는 것이 바람직하다. 밸브(8a)는 펌핑 라인의 컨덕턴스를 변경하여 플라즈마가 스트라이크되고 물질이 식각될 때 챔버 압력이 원하는 레벨에서 실질적으로 일정하게 유지될 수 있게 한다.

[0061] 플라즈마 처리 도구(1)는 전기 방전에 의해 플라즈마 처리 챔버 내에서 플라즈마를 생성하기 위한 플라즈마 소스를 갖추고 있다. 여기서, 플라즈마 소스는 플라즈마 처리 챔버(2)를 둘러싸는 코일(9)을 포함하는 유도 결합 플라즈마 소스로서 도시되며, RF 매칭 유닛(11)을 통해 전력 공급원(10)으로부터 RF 전력이 공급된다. RF 매칭 유닛(11)은 공급원으로부터 플라즈마로의 전력 전달 효율을 최대화하기 위해 RF 공급원(10)의 임피던스에 플라즈마 임피던스를 정합하도록 구성된다. 적합한 매칭 유닛의 예는 WO-A-2010/073006에 개시되어 있다. CCP(capacitively-coupled plasma) 또는 마이크로웨이브 플라즈마 소스와 같은 다른 유형의 플라즈마 소스가 대신 사용될 수 있다.

[0062] 웨이퍼(30)는 사용 시 기판 테이블(14) 상에 장착된다. 후술하는 바와 같이, 사용 시 바이어스 전압이 기판(30)에 인가되고 이는 전압 소스(12)를 기판 테이블(14)에 연결함으로써 달성된다. RF 전력 공급원(12)이 사용된다면 자동 임피던스 매칭 유닛(AMU)이 바람직하게는 전력 공급원(12)으로부터 기판 테이블(14)로의 전력의 양호한 결합을 보장하기 위해 제공될 수 있다. 도구(1)는 기판의 처리 온도를 조정하기 위한 히터 및/또는 냉각 시

시스템과 같은 온도 제어 유닛(16)을 더 포함할 수 있다. (플라즈마 처리 챔버 및 플라즈마 소스의 가열 및/또는 냉각을 위한 추가 장치가 처리 제어를 지원하고/하거나 하드웨어 안정성을 유지하기 위해 제공될 수 있다). 예를 들어, 식각이 주로 수행되는 경우, 웨이퍼(30)에는 이온 충격 동안 및/또는 기관 온도의 바람직하지 않은 증가를 야기하는 발열 화학 반응 동안 기관으로 전달되는 상당한 양의 에너지를 방지하기 위해 냉각제가 공급될 수 있다. 냉각제는 예를 들어 기관 테이블(14)에 근접한 웨이퍼(30)의 표면(30b)에 공급될 수 있는 헬륨일 수 있다. 바람직하게는 헬륨은 약 2 Torr의 압력에서 표면(30b)에 공급된다.

[0063] 전술한 바와 같이, 본 발명의 일부 실시예들은 식각 단계 후에 웨이퍼(30)의 표면(30a) 상에 에피택셜 층을 성장시키는 것을 수반한다. 이 단계는 가스 공급부들(4(a), 4(b))이 웨이퍼의 표면 상에 에피택셜 층을 형성하기에 적합한 물질들 및/또는 전구체들을 공급하도록 구성된 플라즈마 처리 도구(1)를 사용하여 수행될 수 있다. 물론, 에피택셜 층을 성장시키는 다른 방법들도 이 실시예들에서 사용될 수 있다.

[0064] 장치들은 PLC(programmable logic controller) 또는 이와 유사한 것과 같은 컨트롤러(20)로부터의 명령에 따라 작동한다. 경우에 따라, 하나 이상의 컨트롤러가 제공될 수 있으며 각 컨트롤러는 장치들 중 하나 또는 하위 집합을 제어한다. 컨트롤러는 또한 사용자로부터 입력을 수신하고/하거나 출력을 반환하기 위해 컴퓨터 워크스테이션(25)과 같은 사용자 인터페이스 장치에 연결된다.

[0065] 도 1에서, 다양한 장치들과 컨트롤러(20) 사이의 데이터 연결은 점선으로 표시되어 있다. 실제로 이것은 사용자 인터페이스(25)뿐만 아니라 각 장치에 대한 연결을 갖는 CAN 버스 브리지와 같은 네트워크로 구현될 수 있다. 버스는 일반적으로 직렬 데이터 채널(예: RS485)과 같은 하나 이상의 데이터 채널과 선택적으로 하나 이상의 전력 채널을 포함하는 여러 네트워크 채널들을 포함한다. 컨트롤러(20)는 버스를 통해 명령을 발행하며, 명령 각각은 하나 이상의 장치로 지정되고 해당 장치가 구현해야 하는 하나 이상의 프로세스 파라미터들에 대한 명령을 포함한다. 장치 제어를 위한 명령을 발행하는 데 사용될 수 있는 네트워크 프로토콜의 예는 W0-A-2010/100425에 나와 있다. 물론, 당업자라면 알 수 있는 바와 같이 많은 다른 네트워크 구현이 가능하다.

[0066] 도 2는 본 발명의 제1, 제2 및 제3 측면에 따라 SiC 웨이퍼를 준비하고 후속의 에피택셜 성장을 수행하는 방법을 도시한다. 이 방법은 도 1의 예시적인 플라즈마 처리 도구(1)를 참조하여 설명될 것이지만, 동일한 방법이 다른 장치로 실시될 수 있음을 이해할 것이다.

[0067] 단계 201에서, SiC 웨이퍼(30)는 도 1에 도시된 바와 같이 플라즈마 처리 챔버(2) 내부의 기관 테이블(14) 상에 배치된다. SiC 웨이퍼(30)는 바람직하게는 SiC만으로 구성되지만, 일부 불순물, 예를 들어 도펀트가 존재할 수 있다. 웨이퍼(30)의 SiC는 바람직하게는 비에피택셜 성장이고, 예를 들어 용융물로부터 성장될 수 있다. SiC 웨이퍼(30)는 기관 테이블(14)에 원위인 표면(30a)이 마스크되지 않도록, 즉 패터닝된 포토레지스트 층과 같은 마스크에 의해 덮이지 않도록 기관 테이블(14) 상에 위치되어, 플라즈마 처리 챔버(2)에서 플라즈마가 생성될 때, 실질적으로 모든 표면(30a)이 플라즈마에 노출된다. 일반적으로 웨이퍼(30)는 더 큰 원통형 잉곳에서 슬라이스하여 얻은 얇은 디스크 모양일 것이다. 일반적으로 이러한 방식으로 생산된 웨이퍼는 직경이 100~200밀리미터(mm) 범위이고 두께가 200~700마이크론(μm) 범위이다. 단계 201 동안, 마스크되지 않은 표면(30a)의 산술 평균 거칠기는 바람직하게는 적어도 1nm 그리고, 바람직하게는 100nm 미만, 보다 바람직하게는 10nm 미만이다. 이 범위의 거칠기 값은 위에서 설명한 것처럼 기계적으로 연마된(화학적으로 기계적으로 연마되지 않은) 웨이퍼들의 일반적인 값이다.

[0068] 일단 웨이퍼(30)가 기관 테이블(14) 상에 배치되면, 가스 공급부들(4(a), 4(b))로부터 챔버로의 식각 가스 혼합물의 흐름이 단계 203에서 확립되고, 플라즈마가 유도 결합 플라즈마 소스에 전력을 공급함으로써 단계 205에서 이 혼합물로부터 생성된다. 단계 203에서 어떤 가스가 공급되는지는 본 발명의 제1, 제2 및 제3 측면 중 어느 것이 수행되고 있는지에 의존하고, 본 발명의 각 측면을 구현하기에 적합한 식각 가스 혼합물의 상세한 예는 다른 관련 프로세스 파라미터들과 함께 나중에 설명될 것이다. 간단한 예를 통해 이를 설명하기 위해, 본 발명의 제2 측면에 따른 방법의 실시예들은 단계 203 동안에 하나의 가스 공급부(4(a))로부터 SF_6 과 같은 불소 함유 가스 및 제2 가스 공급부(4(b))로부터 CHF_3 와 같은 폴리머 형성 하이드로플루오로카본을 공급하는 것을 포함할 수 있다.

[0069] 플라즈마가 플라즈마 소스에 의해 유지되는 한, 그것은 웨이퍼(30)의 마스크되지 않은 표면(30a)을 식각한다. 표면(30a)이 마스크되지 않기 때문에, 식각은 마스크되지 않은 표면(30a)에 걸쳐 실질적으로 균일한 방식으로 발생하고 따라서 블랭킷 식각으로 기술될 수 있다. 플라즈마는 미리 결정된 기간 동안, 전형적으로 약 10 내지 20분 범위의 플라즈마 소스에 의해 유지될 수 있다. 이 기간 동안, 전술한 플라즈마 처리 도구의 특징들은 기관

테이블 바이어스 전력, 코일(9)에 의해 공급되는 플라즈마 전력, 플라즈마 처리 챔버(2) 내부의 압력 및 웨이퍼(30)의 온도와 같은 파라미터들을 제어하는 데 사용될 수 있다. 선택적으로, 기관 테이블(14)은 플라즈마가 챔버에 존재하는 동안 전압으로 바이어스될 수 있다. 따라서, 단계 207(점선으로 표시된 바와 같이 선택적임)에서 플라즈마 소스가 플라즈마에 계속해서 전력을 공급하는 동안 바이어스가 제1 전력(P1)으로 기관 테이블(14)에 인가된다. 동일한 전력(P1)이 식각의 지속 시간동안 유지될 수 있지만, 일부 바람직한 실시예들에서, 전술한 바와 같이, 바이어스 전력은 식각의 최종 부분에 대해 감소된다. 따라서, 이 방법은 선택적 단계 209 동안 바이어스 전력을 P1보다 낮은 값, 바람직하게는 P1의 절반 미만으로 감소시키는 것을 선택적으로 수반할 수 있다. 예를 들어, 일반적으로 P1은 400~1000W 범위에 있고 P2는 50~200W 범위에 있다. 감소된 바이어스 전력(P2)은 바람직하게는 1 내지 5분 범위의 기간 동안 유지되는 반면, 식각의 총 지속 시간은 전술한 바와 같이 10 내지 20분 범위이다.

[0070] 식각이 요구되는 시간 동안 수행되면, 플라즈마는 단계 211에서 꺼질 수 있다. 이것은 플라즈마 처리 챔버(2)로부터 식각 가스 혼합물을 비우거나 플라즈마 소스의 코일(9)로의 전력 공급을 차단함으로써 달성될 수 있다. 선택적으로, 에피택셜 층(213)은 그 후 단계(213)에서 식각된 표면 상에 성장될 수 있다. 전술한 바와 같이, 이것은 준비된 웨이퍼(30)를 에피택셜 성장을 위한 챔버로 이송함으로써 수행될 수 있으며, 이 챔버는 식각이 수행된 동일한 플라즈마 처리 도구(1)의 일부로서 제공된 별도의 챔버이거나 또는 별도의 장치의 일부일 수 있다. 이 단계는 이전 단계와 동일한 개체 및/또는 동일한 장치, 시설 또는 사이트에서 반드시 수행되는 것은 아니라는 점에 유의해야 한다. 예를 들어, 웨이퍼(30)는 웨이퍼 제조자에 의해 단계 201-211에 따라 준비될 수 있고 그 다음 에피택셜 성장 단계 213를 수행하는 고객에게 배송될 수 있다. 본 발명에 따른 방법은 SiC 웨이퍼(30)의 표면 거칠기를 에피택시 성장을 수행하기에 적합한 값으로 감소시킬 수 있기 때문에, 단계 211와 단계 213 사이에(또는 사실상 임의의 다른 시간에) 화학적 기계적 연마 단계를 수행할 필요가 없다. 에피택셜 층은 SiC의 층 또는 SiC 표면에 에피택셜 층이 형성될 수 있는 임의의 다른 물질의 층이다. 프로세스는 동일하거나 다른 물질의 추가 에피택셜 층을 형성하는 것을 포함할 수 있으며, 이들은 트랜지스터 및 다이오드와 같은 장치를 생성하기 위해 식각될 수 있다.

[0071] 도 3a 내지 도 3c는 본 발명에 따른 다양한 준비 단계들에서 SiC 웨이퍼(30)의 단면도를 나타낸다. 도 3a는 예를 들어 도 2의 방법의 단계 201 동안 식각 전의 웨이퍼(30)를 도시한다. 그 위에 에피택셜 성장을 위해 준비된 표면(30a)은 용기 및 함몰이 있는 기복이 있는 프로파일을 갖는 것으로 볼 수 있다(비록 이것들은 많이 과장되어 있고 웨이퍼(30)의 두께에 비례하지 않음). 이는 웨이퍼(30)의 슬라이싱(slicing), 랩핑(lapping) 및 폴리싱(polishing) 및/또는 표면(30a)에서의 결함의 존재에 의해 야기된 손상의 결과일 수 있다. 이 도면에서 점선은 표면(30a)의 산술 평균 거칠기(Ra)를 나타내며, 이는 실선으로 표시된 표면의 공칭(nominal) 평면으로부터 실제 표면 프로파일의 평균 편차이다. Ra는 웨이퍼가 본 발명에 따라 식각되기 전에 일반적으로 1 내지 100 nm, 바람직하게는 1 내지 10 nm 범위이다. 또한, 일부 실시예들에서 Ra는 식각이 수행되기 전에 적어도 5nm일 수 있다. 단순함을 위해, 표면(30b)의 프로파일은 여기에 예시되지 않았지만, 이 표면은 일반적으로 표면(30a)과 동일한 처리를 거친다면 유사한 거칠기를 가질 것이라는 것을 이해할 것이다. 바람직하게는 식각된 표면(30a)은 Si 면, 즉 Si 원자 층에서 끝나는 면이다. 이는 결정이 제조될 때 웨이퍼(30)의 평면이 결정 격자의 결정학적 축에 대해 적절하게 배향되도록 함으로써 간단하게 달성될 수 있다.

[0072] 도 3b는 본 발명에 따른 방법 동안, 예를 들어 도 2의 예시적인 방법의 단계 211 동안 또는 그 후에 식각된 후의 웨이퍼(30)를 도시한다. 식각된 표면(30a')의 표면 거칠기(Ra')가 초기 값(Ra)보다 상당히 작음을 알 수 있다. 상기한 바와 같이, Ra'는 바람직하게는 3nm 미만, 보다 바람직하게는 1nm 미만, 더욱 바람직하게는 0.5nm 미만이다.

[0073] 도 3c는 본 발명의 일부 실시예들에서, 예를 들어 도 2의 프로세스에서 단계 213 동안 수행되는 바와 같이, 식각된 표면(30a') 상에 에피택셜 층(31)이 성장된 후의 웨이퍼(30)를 도시한다.

[0074] 이제 본 발명의 제1, 제2 및 제3 측면 각각의 실시예에 따른 방법에 의해 달성된 SiC 웨이퍼의 표면 거칠기 감소를 보여주는 실험 결과들이 이들 결과가 달성된 프로세스 파라미터들과 함께 제시될 것이다. 이들을 각각 프로세스 1, 2 및 3이라고 한다. 각 프로세스에서, 도 2의 프로세스의 단계 201, 203 및 205는 식각 전후에 마스크되지 않은 표면(30a)의 산술 평균 거칠기가 측정된 SiC 웨이퍼(30)를 사용하여 수행되었다. 사용된 SiC 웨이퍼(30)는 Physical Vapor Transport에 의해 생산되었으며 100~150nm 범위의 직경을 갖고 식각된 표면(30a)은 Si 면과 C 면(즉, Si 및 C 원자들로 각각 종료된 면)을 모두 포함한다.

[0075] 실험 파라미터들과 얻어진 결과들이 표 1a와 1b, 표 2a와 2b, 표 3a와 3b의 쌍들로 표시된다. 각각의 표는 식각

가스 혼합물 내의 가스가 분당 표준 입방 센티미터(sccm) 단위로 플라즈마 처리 챔버(2)에 도입되는 유량, 플라즈마 처리 챔버(2) 내부의 플라즈마 압력, 플라즈마 소스의 코일(9)에 공급되는 전력, 기판 테이블(14)에 인가된 바이어스의 전력 및 각 프로세스의 식각 시간을 나열한다. 이들 표에 단계 201에서 식각 전의 마스크되지 않은 표면(30a)의 산술 평균 거칠기(R_a) 및 단계 211에서 식각 후 동일한 표면의 산술 평균 거칠기(R_a')의 측정값이 함께 나열된다. 각 프로세스 1, 2, 3에서, 웨이퍼(30) 및 기판 테이블(14)이 식각 동안 바람직하지 않은 고온으로 가열되지 않도록 하기 위해, (후면 냉각 구성에서) 헬륨이 2 Torr의 압력에서 기판 테이블에 근접한 웨이퍼(30)의 표면(30b)에 공급된다. 예시적인 프로세스 1, 2 및 3에 대해, 에피택셜 성장을 위해 SiC 웨이퍼(30)의 표면(30a)을 여전히 성공적으로 준비하면서, 플라즈마 처리 챔버(2) 내부의 압력 값, 코일(9)에 공급되는 전원, 기판 테이블에 인가된 바이어스의 전력 및 헬륨의 압력은 각각 여기에 명시된 값의 최소 $\pm 20\%$ 만큼 변할 수 있다는 것이 밝혀졌다.

[0076] 표 1a 및 표 1b는 본 발명의 제1 측면의 실시예들에 따라 각각 수행된 2개의 실험, 즉 실험 번호 1 및 2에 대해, 위에 열거된 실험 파라미터들 및 얻어진 결과들을 보여준다. 이 프로세스들 중 하나에서는 H_2 와 Ar로만 구성된 식각 가스 혼합물이 사용되었고, 다른 프로세스에서는 H_2 , SF_6 및 Ar로 구성된 식각 가스 혼합물이 사용되었다. 전술한 바와 같이, 본 발명의 제1 측면은 식각 가스 혼합물에 H_2 의 존재만을 요구하지만, SF_6 와 같은 불소 함유 가스 및 Ar과 같은 비활성 가스가 둘 다 바람직한 첨가제이다.

[0077] [표 1a]

실험 번호	H_2 유량 (sccm)	SF_6 유량 (sccm)	Ar 유량 (sccm)	플라즈마 압력 (mTorr)
1	150	0	50	20
2	200	5	50	5

[0078]

[0079] [표 1b]

실험 번호	플라즈마 소스 전력 (W)	기판 테이블 바이어스 전력 (W)	식각 시간 (minutes)	R_a (nm)	R_a' (nm)
1	3000	400	20	1.13	0.70
2	2500	1000	20	1.1	0.41

[0080]

[0081] 표 2a 및 표 2b는 본 발명의 제2 측면의 실시예들에 따라 수행된 2개의 실험, 실험 번호 3 및 4에 대해 위에 열거된 실험 파라미터들 및 얻어진 결과들을 보여준다. 이 프로세스들에 사용된 식각 가스 혼합물은 CHF_3 와 SF_6 로 구성되었다. 이 예시적인 프로세스들에서, 식각 가스 혼합물에는 오직 하나의 하이드로플루오로카본 및 하나의 불소 함유 가스가 존재하였다. 그러나, 임의의 수의 다른 플루오로카본 및/또는 하이드로플루오로카본이 이 구현을 위해 선택된 CHF_3 에 추가로 또는 대안으로서 제공될 수 있다. SF_6 외에 다른 불소 함유 가스도 사용될 수 있다.

[0082] [표 2a]

실험 번호	CHF_3 유량 (sccm)	SF_6 유량 (sccm)	플라즈마 압력 (mTorr)
3	10	70	3
4	10	70	3

[0083]

[0084] [표 2b]

실험 번호	플라즈마 소스 전력 (W)	기판 테이블 바이어스 전력 (W)	식각 시간 (minutes)	R _a (nm)	R _a ' (nm)
3	3200	800	10	6.22	2.44
4	3200	1000	10	1.3	0.8

[0085]

[0086] 표 3a 및 표 3b는 본 발명의 제3 측면의 실시예들에 따라 수행된, 2개의 실험, 즉 실험 5 및 6에 대해 위에 열거된 실험 파라미터들 및 얻어진 결과들을 보여준다. 이 프로세스들에 사용된 식각 가스 혼합물은 HBr, O₂ 및 SF₆로 구성되었다. 전술한 바와 같이, 본 발명의 제3 측면을 수행하기 위한 식각 가스 혼합물의 유일한 필수 성분은 HBr 및 O₂이지만, SF₆과 같은 불소 함유 가스의 존재가 바람직하다.

[0087] [표 3a]

실험 번호	HBr 유량 (sccm)	O ₂ 유량 (sccm)	SF ₆ 유량 (sccm)	플라즈마 압력 (mTorr)
5	60	40	10	15
6	80	20	20	20

[0088]

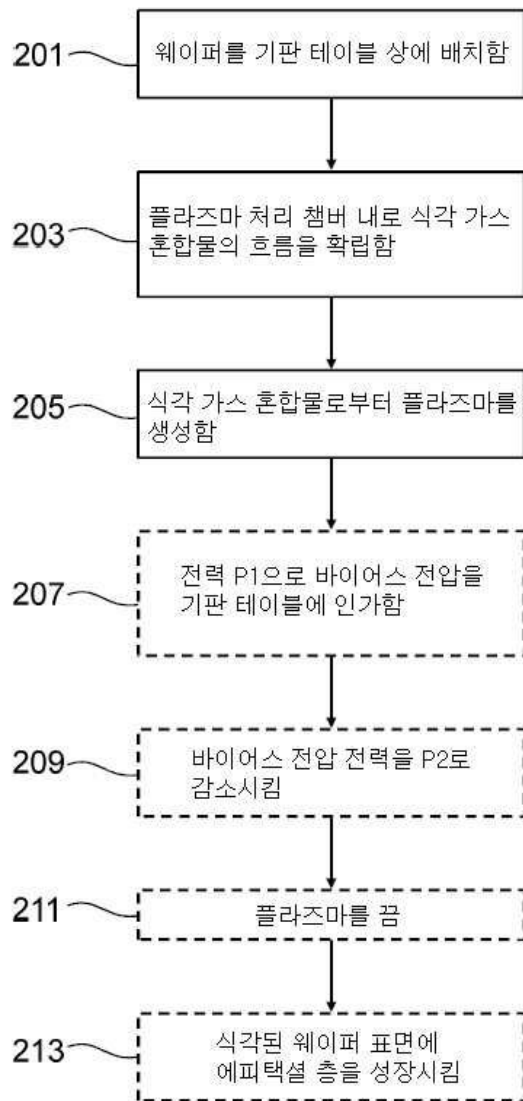
[0089] [표 3b]

실험 번호	플라즈마 소스 전력 (W)	기판 테이블 바이어스 전력 (W)	식각 시간 (minutes)	R _a (nm)	R _a ' (nm)
5	3000	400	10	8.50	1.54
6	2500	200	10	4.76	0.76

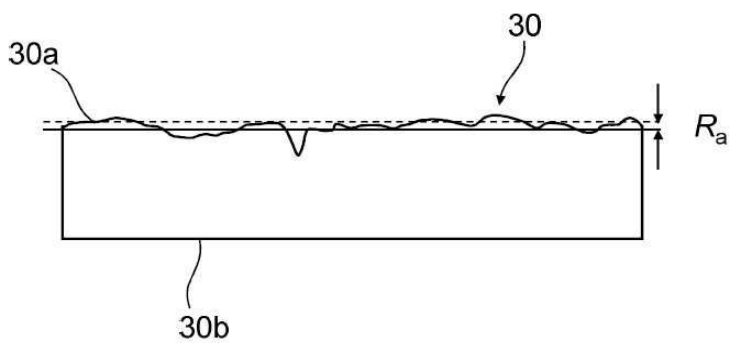
[0090]

[0091] 실험 1-6을 수행하기 위해 사용된 각각의 예시적인 프로세스는 에칭된 표면(30a)의 표면 거칠기를 에피택셜 성장에 적합한 값으로 감소시켰고, 따라서 후속 에피택셜 성장을 위해 표면(30a)을 성공적으로 준비했음을 알 수 있다.

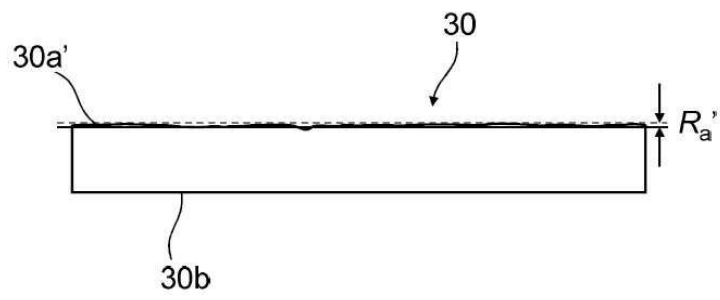
도면2



도면3a



도면3b



도면3c

