



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0008508
(43) 공개일자 2025년01월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01L 21/3065 (2013.01)
H01L 21/02505 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7033748
- (22) 출원일자(국제) 2023년03월27일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2024년10월10일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2023/016397
- (87) 국제공개번호 WO 2023/219716
국제공개일자 2023년11월16일
- (30) 우선권주장
63/339,895 2022년05월09일 미국(US)
17/964,601 2022년10월12일 미국(US)

- (71) 출원인
도쿄엘렉트론가부시키키가이샤
일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1코
- (72) 발명자
플라우그 매튜
미국 12203 뉴욕 올버니 풀러 로드 255 사우스 나
노랩 300 스위트 214
홀린 조나단
미국 12203 뉴욕 올버니 풀러 로드 255 사우스 나
노랩 300 스위트 214
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

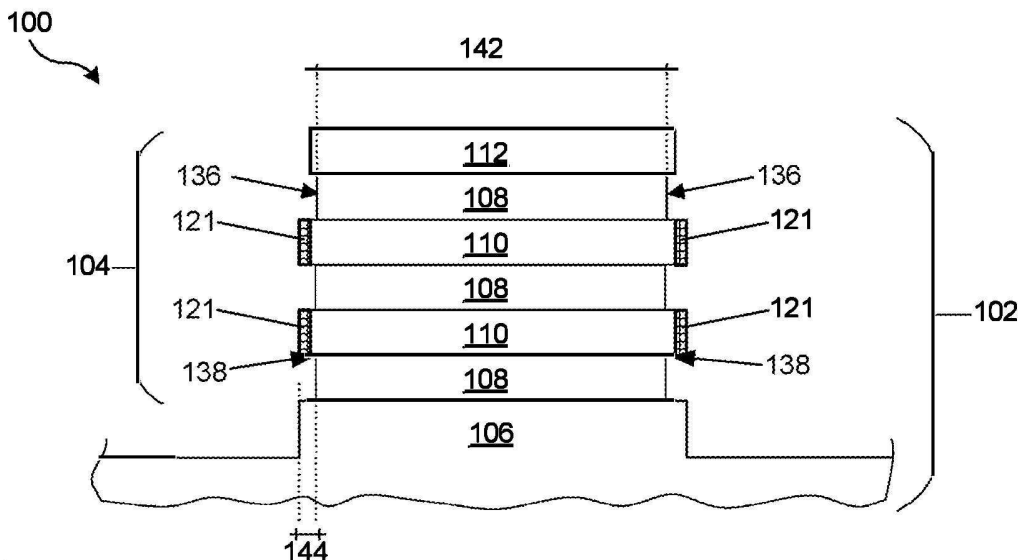
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 새로운 화학 및 표면 개질을 통한 규소-게르마늄 합금 및 유전체에 대한 규소의 선택적 등방성 에칭

(57) 요약

Ge 또는 SiGe 층에 대해 규소 함유 층을 에칭하는 데 있어서 사용될 수 있는 선택적 보호 및 에칭이 제공된다. 일례로, 층은 적층되고, 산화물은 층의 측 표면 상에 존재한다. Ge/SiGe 층의 측 표면 상에 개질된 표면 또는 중단 표면을 제공하도록 처리되며, 가스 처리 후 열 처리를 제공하여 상기 Si 함유 층의 측 표면 상의 층 부분이 선택적으로 승화된다. 가스 처리 및 열 처리는 바람직하게는 비플라즈마 환경이다. 그 후, 플라즈마 공정을 수행하여 Ge 함유 층 상에 보호 층이 형성되고, 플라즈마에 의해 Si 함유 층이 에칭될 수 있다.

대표도 - 도1d



(52) CPC특허분류

H01L 21/02532 (2013.01)

H01L 21/02664 (2013.01)

(72) 발명자

칼 슝하딕

미국 12203 뉴욕 올버니 풀러 로드 255 사우스 나
노랩 300 스위트 214

루안 평산

미국 12203 뉴욕 올버니 풀러 로드 255 사우스 나
노랩 300 스위트 214

하지바베이나자파바디 하메드

미국 12203 뉴욕 올버니 풀러 로드 255 사우스 나
노랩 300 스위트 214

차이 유-하오

미국 12203 뉴욕 올버니 풀러 로드 255 사우스 나
노랩 300 스위트 214

모스텐 에란

미국 12203 뉴욕 올버니 풀러 로드 255 사우스 나
노랩 300 스위트 214

명세서

청구범위

청구항 1

반도체 기판의 처리 방법으로서,

제1 게르마늄 함유 층, 제2 게르마늄 함유 층, 및 상기 제1 게르마늄 함유 층과 상기 제2 게르마늄 함유 층 사이에 배치된 제1 규소 층을 포함하는 막 스택을 포함하는 반도체 기판을 수용하는 단계;

상기 막 스택을 불소 및 산소를 포함하는 처리 가스로 처리하고 상기 막 스택을 열 처리함으로써, 상기 막 스택으로부터 산화물 층을 제거하고 상기 제1 게르마늄 함유 층 및 상기 제2 게르마늄 함유 층 상에 중단 층을 형성하는 단계; 및

상기 막 스택을 상기 제1 규소 층을 선택적으로 에칭하는 불소 및 질소를 포함하는 플라즈마에 노출시키고, 상기 막 스택이 상기 플라즈마에 노출되는 동안 상기 중단 층을 상기 제1 게르마늄 함유 층 및 상기 제2 게르마늄 함유 층의 에칭을 억제하는 에칭 보호 층으로 전환시키는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 막 스택을 상기 플라즈마에 노출시키는 단계는,

상기 막 스택을 질소를 포함하지만 불소를 포함하지 않는 제1 플라즈마에 노출시키는 단계; 및

상기 막 스택을 불소 및 질소를 포함하는 제2 플라즈마에 노출시키는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 막 스택을 상기 제1 플라즈마에 노출시키는 단계 및 상기 막 스택을 상기 제2 플라즈마에 노출시키는 단계를 적어도 1회 순차적으로 반복하는 것을 추가로 포함하는, 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 막 스택을 상기 제1 플라즈마에 노출시키는 단계 및 상기 막 스택을 상기 제2 플라즈마에 노출시키는 단계는,

질소 및 수소를 사용하여 상기 제1 플라즈마를 형성하고, 상기 막 스택을 소정 시간 동안 상기 제1 플라즈마에 노출시키는 단계; 및

소정 시간 후, 질소 및 수소를 계속 도입하고 또한 불소를 도입하여 상기 제2 플라즈마를 형성하는 단계

를 포함하고,

상기 제2 플라즈마는 상기 제1 플라즈마와 연속되는, 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 소정 시간은 5초 이상인, 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,
 상기 소정 시간은 5초 내지 25초의 범위이고, 상기 소정 시간 후, 불소 함유 가스를 도입하는, 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,
 플라즈마의 부재 하에 상기 처리를 수행하고, 상기 처리 가스는 에어로졸화 물 또는 수증기를 포함하고, 상기 플라즈마는 수소를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 8

제2항에 있어서,
 상기 제1 플라즈마는 질소 및 수소를 포함하고 불소가 없는 가스로부터 생성되고, 상기 제2 플라즈마는 질소, 수소 및 불소를 포함하는 가스로 형성되는, 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,
 상기 플라즈마는
 삼불화질소(NF₃) 및 암모니아(NH₃);
 NF₃, NH₃ 및 질소(N₂);
 NF₃, NH₃ 및 아르곤(Ar);
 NF₃ 및 수소(H₂);
 NF₃, H₂ 및 N₂; 또는
 NF₃, H₂, NH₃ 및 N₂
 를 포함하는 가스 조합으로부터 생성되는, 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,
 상기 제1 게르마늄 함유 층 및 상기 제2 게르마늄 함유 층의 노출된 표면 상에 형성된 상기 에칭 보호 층은 게르마늄 질화물을 포함하는, 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,
 상기 제1 게르마늄 함유 층 및 상기 제2 게르마늄 함유 층은 둘 모두 게르마늄 층이거나 둘 모두 규소 게르마늄 층이고,
 상기 제1 규소 층을 선택적으로 에칭하는 플라즈마는 상기 제1 게르마늄 함유 층과 상기 제2 게르마늄 함유 층 사이에서 상기 막 스택 내에 만입부를 형성하도록 상기 제1 규소 층의 단부 부분을 선택적으로 에칭하는 것을 포함하고,
 상기 제1 규소 층이 선택적으로 에칭됨에 따라, 상기 제1 게르마늄 함유 층 및 상기 제2 게르마늄 함유 층의 추가 표면이 노출되고, 상기 플라즈마는 상기 추가 표면 상에 패시베이션 층을 형성하는, 방법.

청구항 12

기판의 처리 방법으로서,

Ge 함유 층 및 Si 함유 층을 갖는 기판을 제공하는 단계로서, 상기 Ge 함유 층 또는 상기 Si 함유 층 중 하나는 다른 Ge 함유 층 또는 다른 Si 함유 층 위에 있고, 상기 Si 함유 층에는 Ge가 없거나 상기 Ge 함유 층보다 낮은 비율의 양으로 Ge를 포함하고, 상기 Ge 함유 층 및 상기 Si 함유 층 각각은 측 표면 상에 산화물을 갖는, 단계;

상기 Si 함유 층의 측 표면으로부터 산화물을 제거하고 상기 Ge 함유 층의 측 표면 상에 개질된 표면을 제공하는 비플라즈마 처리를 수행하는 단계; 및

상기 Si 함유 층의 측 표면을 에칭하고 상기 Ge 함유 층의 개질된 표면을 게르마늄 질화물을 포함하는 보호 표면으로 전환시켜 상기 Ge 함유 층의 에칭을 방지하는 플라즈마 공정을 수행하는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 플라즈마 공정은,

불소를 포함하지 않는 질소 함유 가스를 사용하여 제1 플라즈마를 형성하는 단계;

상기 기판을 상기 제1 플라즈마에 5초 이상 동안 노출시키는 단계;

상기 제1 플라즈마에 노출시킨 후, 상기 질소 함유 가스를 계속 공급하면서 상기 제1 플라즈마에 불소를 도입하여 제2 플라즈마를 형성하는 단계; 및

상기 기판을 상기 제2 플라즈마에 노출시키는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 플라즈마 공정 후, 상기 Si 함유 층의 외부 치수가 상기 Ge 함유 층의 외부 치수보다 더 작도록 상기 Si 함유 층이 상기 Ge 함유 층에 대해 만입되는, 방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 비플라즈마 처리는,

불소 함유 가스 및 수소 함유 가스로 처리하여 상기 Ge 함유 층의 측 표면 상에 상기 개질된 표면을 형성하는 단계; 및

상기 기판의 온도를 상승시켜 열 처리를 수행하는 단계

를 포함하고,

상기 개질된 표면은 수소, 규소, 게르마늄 및 불소를 포함하고,

상기 플라즈마 공정의 제1 부분 동안, 상기 개질된 표면은 플라즈마 중의 질소와 반응하여 게르마늄 질화물을 포함하는 상기 보호 표면을 형성하고, 상기 플라즈마 공정의 제1 부분 동안 상기 플라즈마는 할로젠을 포함하지 않으며,

상기 플라즈마 공정의 제2 부분 동안, 상기 플라즈마에 불소를 도입하고, 상기 Si 함유 층이 에칭되지만 상기 Ge 함유 층은 상기 보호 표면에 의해 보호되는, 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 수소 함유 가스는 에어로졸화 물 또는 수증기를 포함하고,

상기 열 처리에 의해 물 잔여물이 제거되고 상기 Si 함유 층의 측 표면 상에 남아 있는 잔여 산화물 층 부분이 제거되지만, 상기 Ge 함유 층의 측 표면 상의 상기 개질된 표면은 제거되지 않는, 방법.

청구항 17

선택적 에칭 방법으로서,

Ge 함유 층 및 Si 함유 층을 갖는 기판을 제공하는 단계로서, 상기 Ge 함유 층은 상기 Si 함유 층보다 더 높은 비율의 Ge를 갖고, 상기 Ge 함유 층 또는 상기 Si 함유 층 중 하나는 다른 Ge 함유 층 또는 다른 Si 함유 층 위에 수직으로 있고, 상기 측 표면 층은 상기 Ge 함유 층 및 상기 Si 함유 층 둘 모두의 측 표면 상에 있는, 단계;

수소, 산소 및 불소를 포함하는 공정 가스로 비플라즈마에서 상기 측 표면 층을 처리하는 단계;

상기 처리 후, 상기 측 표면 층의 부분이 선택적으로 승화하여, 선택적 승화 후 상기 측 표면 층이 상기 Si 함유 층의 측 표면으로부터 제거되고, 상기 Ge 함유 층 상의 측 표면에 개질된 측 표면 층이 존재하는 단계;

상기 선택적 승화 후, 상기 기판을 수소 및 질소를 포함하고 할로젠 또는 산소를 포함하지 않는 제1 플라즈마에 노출시키는 단계; 및

상기 제1 플라즈마에 노출시킨 후, 상기 기판을 수소, 질소 및 할로젠을 포함하는 제2 플라즈마에 노출시키는 단계

를 포함하는, 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

상기 개질된 측 표면 층은 수소, 규소, 게르마늄 및 불소를 포함하고,

상기 기판을 5초 내지 25초 범위의 제1 기간 동안 상기 제1 플라즈마에 노출시키고,

상기 기판을 8초 내지 25초 범위의 제2 기간 동안 상기 제2 플라즈마에 노출시키고,

상기 제2 기간 후, 제3 기간 동안 플라즈마 전력 중 적어도 하나를 끄거나, 할로젠 도입을 중단하고, 상기 제3 기간 동안 수소 및 질소를 계속 도입하고,

상기 제3 기간 후, 8초 내지 25초 범위의 제4 기간 동안 플라즈마 전력을 키고, 할로젠 가스를 도입하는, 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 할로젠은 불소를 포함하고, 상기 제2 기간 동안 도입된 불소 대 질소의 비는 1:5 내지 1:10의 범위이고,

상기 제1 기간 및 상기 제2 기간 동안, 산소를 도입하지 않고, 온도를 -50℃ 내지 25℃ 범위로 유지하는, 방법.

청구항 20

제17항에 있어서,

상기 처리를 제1 공정 챔버에서 수행하고, 상기 선택적 승화를 제2 공정 챔버에서 수행하고, 상기 제1 및 제2 플라즈마에 노출시키는 단계를 제3 공정 챔버에서 수행하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원

[0002] 본 출원은 2022년 5월 9일자로 출원된 미국 특허 가출원 제63/339,895호 및 2022년 10월 12일자로 출원된 미국 특허 정규 출원 제17/964,601호에 대한 우선권을 주장하며, 해당 출원들의 전문은 본원에 참조로 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 본 개시내용은 일반적으로 반도체 제조에 관한 것으로, 특정 실시형태에서는 플라즈마 에칭 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 집적 회로(integrated circuit: IC) 제조 산업은 디바이스 밀도를 증가시켜 속도, 성능 및 비용을 개선하려고 노력하고 있다. 더 작은 노드 크기로 계속해서 크기를 조정하기 위해, 디바이스 아키텍처는 2차원(2D) 평면 구조에서부터 예를 들어 나노와이어 또는 수직 배향 트랜지스터를 갖는 3차원(3D) 수직 구조로 진화하였다. 게이트(gate) 전위에 의한 전도성 채널의 불충분한 제어는 이러한 변화에 대한 필요성을 유발한다. 쇼트 채널 효과(short channel effect: SCE)는 게이트 치수가 축소됨에 따라 너무 커질 수 있고 게이트에 전압이 인가되지 않을 때(I_{off}) 전류 전도를 증가시킬 수 있다. 디바이스 아키텍처의 변화는 게이트의 더 우수한 정전 제어를 허용하여 SCE 및 전력 손실을 감소시킬 수 있다. 나노와이어 디바이스를 제조하는 것은 매우 선택적인 등방성 에칭 공정이 유리한 3D 에칭 과제를 제시할 수 있다. 예를 들어, 노출된 재료의 층들은 막 스택 내에 만입부(indent)를 또는 막 스택 내에 다른 선택적 에칭을 생성하기 위해 서로 에칭되어야 할 수 있다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일부 실시형태는 게르마늄 함유 재료 및 유전체 재료에 대한 규소의 선택적 등방성 에칭을 설명한다. 특정 실시형태에서, 막 스택을 포함하는 반도체 기판을 수용하는 단계를 포함하는 반도체 기판을 처리하는 방법이 기재된다. 막 스택은 제1 및 제2 게르마늄(Ge) 함유 층, 및 상기 제1 Ge 함유 층과 제2 Ge 함유 층 사이에 위치한 제1 규소(Si) 층을 포함한다. 상기 방법은 막 스택을 불소제 및 산소제를 포함하는 처리 가스로 처리하고 막 스택을 열 처리함으로써 막 스택으로부터 산화물 층, 예컨대 자연 산화물 층을 제거하고, 제1 게르마늄 함유 층 및 제2 게르마늄 함유 층 상에 종단(termination) 층을 형성하는 단계를 추가로 포함한다. 상기 방법은 막 스택을 제1 규소 층을 선택적으로 에칭하는 불소제 및 질소제를 포함하는 플라즈마에 노출시키고, 막 스택이 플라즈마에 노출되는 동안 종단 층을 제1 게르마늄 함유 층 및 제2 게르마늄 함유 층의 에칭을 억제하는 에칭 보호 층으로 전환시키는 단계를 추가로 포함한다. 선택적 제거 또는 에칭을 제공하는 장치 및 관련된 처리가 또한 개시된다.

도면의 간단한 설명

[0007] 본 개시내용 및 이의 장점을 보다 완전히 이해하기 위해, 첨부된 도면과 함께 이루어지는 다음의 설명을 참조한다.

도 1a 내지 1e는 본 개시내용의 특정 실시형태에 따라, 반도체 기판을 처리하기 위한 예시적인 공정 동안의 예시적인 반도체 기판의 단면도를 도시한다.

도 2는 본 개시내용의 특정 실시형태에 따라, 리세스된 교번하는 막 스택을 갖는 기판을 포함하는 예시적인 디바이스를 도시한다.

도 3은 본 개시내용의 특정 실시형태에 따른 예시적인 플라즈마 툴(tool)의 블록도를 도시한다.

도 4는 일 실시형태에 따른 건조 비플라즈마 에칭 시스템의 개략도를 제공한다.

도 5는 일 실시형태에 따른 워크피스 홀더(workpiece holder)의 개략도를 제공한다.

도 6은 장치의 프로세스 또는 작동의 예에 대한 흐름도 또는 알고리즘이다.

도 7a 및 7b는 만입부 내부에 만입된 공간을 남기는 내부 스페이서(spacer) 침착 및 에칭 백(etch back)을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 하나의 재료를 다른 재료에 대해 선택적으로 에칭하려고 시도하는 다양한 기술이 존재한다. 일부 경우에, 두 가지 재료의 화학은 충분히 구별되므로 재료 중 하나를 에칭하는 것에 선택적인 플라즈마는 다른 재료를 에칭할

염려 없이 사용하게 된다. 다른 경우에, 재료의 화학이 유사할 수 있거나 또는 이용가능한 에칭 공정이 다른 요인에 의해 제한될 수 있기 때문에 선택적인 에칭을 위해 적절한 에칭 방식을 결정하는 것은 보다 어렵다. 특정 재료는, 하나의 재료를 에칭하면서 다른 재료를 거의 또는 전혀 에칭하지 않는 것이 바람직한 경우에 더 어려운 선택성 과제를 제시한다. 이러한 유형의 선택적 에칭을 위한 통상적인 공정은 하나의 재료의 다른 재료에 대한 선택적 에칭을 달성할 수 없거나, 또는 선택성, 에칭 프로파일(예를 들어, 국부적 균일성 및/또는 표면 거칠기) 등과 같은 공정 요건에 미치지 못할 수 있다.

[0009] 선택성 과제는 게이트-올-어라운드(gate-all-around: GAA) 디바이스와 같은, 반도체 디바이스의 3D 수직 구조체에서 채널 영역의 역할을 하는 나노와이어 또는 나노시트를 형성할 때 발생할 수 있다. 그러한 나노와이어를 형성하는 것은 기저 층 상에 막 스택을 형성하는 것을 수반할 수 있으며, 상기 막 스택은 교번하는 스택으로 배열된 Si 및 Ge 또는 Si-Ge(SiGe) 합금의 층을 포함한다. 이 공정의 일부는, 예를 들어 후속하여 전도성 디바이스로서 사용하기 위해 Ge 함유 층의 단부 부분이 노출되도록, Ge 함유 층의 에칭을 최소화하면서, Si 층의 대향하는 단부에서 막 스택 내의 만입부를 에칭하는 것을 포함할 수 있다. 막 스택의 표면 상에 존재하는 일부 자연 산화물 층(NOL) 및/또는 다른 잔여물(예를 들어, 반응성 이온 에칭(RIE) 잔여물)을 포함한 다양한 과제로 인해, 통상적인 에칭 기술은 만족스럽지 못할 수 있다.

[0010] 예를 들어, 일부 통상적인 기술은 삼불화질소(NF₃)(또는 다른 에칭제) 및 산소(O₂)의 플라즈마를 사용하는 단일 에칭 단계를 사용한다. 이 플라즈마에서 불소 라디칼은 Si 층을 에칭할 수 있는 한편, 산소는 Ge 함유 층에서 Ge와 반응하여 Ge 함유 층 상에 Ge 산화물(예를 들어, GeO₂) 보호 층을 형성할 수 있다. 그러나, 에칭 후 생성된 구조는 일반적으로 Si 층 및 Ge 함유 층의 노출된 표면을 따라 허용할 수 없는 수준의 표면 거칠기를 보여주는 데, 이는 부분적으로 NOL의 에칭으로 인해 발생한다. 더 나아가, GeO₂ 보호 층은 Si 층의 선택적 에칭을 용이하게 할 수 있지만, GeO₂ 층은 Ge 함유 층의 상당 부분을 소비한다.

[0011] 하기 제공된 실시형태는 다양한 선택적 에칭 방법을 설명한다. 예를 들어, 실시형태는 기관의 막 스택(예를 들어, Si 층 및 Ge 함유 층을 교번하는 적층 배열로 포함함)의 부분을 선택적으로 에칭하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, Si 층의 에치 부분에서 만입부를 선택적으로 에칭(또는 가능하게는 완전히 제거)하여 Ge 함유 층의 나노와이어를 형성하는 것이 바람직할 수 있다. 추가로, 본 발명의 실시형태는 선택적 Si 에칭 동안에 플라즈마 손상을 감소시킨다.

[0012] 도 1a 내지 1e는 본 개시내용의 특정 실시형태에 따라, 기관(102)을 처리하기 위한 예시적인 공정(100) 동안의 예시적인 기관(102)의 단면도를 예시한다. 특정 실시형태에서, 공정(100)은 기관(102)의 막 스택의 특정 층의 부분을 에칭하기 위해 산소 부재 플라즈마 에칭 공정을 포함하고, 그 결과 공정(100)의 실행 후에 만입된 막 스택을 갖는 기관(102)이 생성된다. '산소 부재'란 모든 산소가 공정(100)에서 제거된 것을 반드시 의미하지 않고, 대신에 O₂ 및 CO₂와 같은 산소 함유 가스가 플라즈마 에칭 공정의 일부로서 의도적으로 도입되지 않는 것을 반영하는 것으로 이해되어야 한다.

[0013] 도 1a에 예시된 바와 같이, 기관(102)은 기저 층(106) 상에 배치된 막 스택(104)을 포함하는 반도체 기관이다. 막 스택(104)은 Si 층(108) 및 Ge 함유 층(110)을 교번하는 적층 배열로 포함한다. 막 스택(104)은 임의의 적합한 형상을 가질 수 있고 임의의 적합한 수의 층을 포함할 수 있다. 예로서, Si 층(108)과 Ge 함유 층(110)의 수직 두께는 각각 약 10 nm 내지 약 25 nm일 수 있고, 특정 예로서 약 10 nm 또는 약 20 nm일 수 있다. 추가적으로, Si 층(108)은 동일한 두께를 가질 수 있거나 서로 두께가 다를 수 있고, Ge 함유 층(110)은 동일한 두께를 가질 수 있거나 서로 두께가 다를 수 있고, Si 층(108) 및 Ge 함유 층(110)은 동일한 두께를 가질 수 있거나 서로 두께가 다를 수 있다. 특정 예에서, Si 층(108) 및 Ge 함유 층(110)은 모두 실질적으로 동일한 두께를 갖는다.

[0014] Si 층(108)의 재료는 예를 들어 순수 Si 또는 Si 질화물(SiN)일 수 있다. 특정 실시형태에서, 모든 Si 층(108)은 동일한 재료를 포함하지만, Si 층(108)은 원하는 경우 상이한 재료를 포함할 수 있다.

[0015] Ge 함유 층(110)의 재료는 예를 들어 순수 Ge 또는 SiGe 합금일 수 있다. 특정 예로서, Ge 함유 층(110)은 주어진 응용의 원하는 에칭 특성을 위해 또는 부분적으로 공정(100)을 사용하여 형성된 최종 반도체 디바이스의 원하는 성능을 위해 적절한 비율(예를 들어, Si_{0.7}Ge_{0.3}, Si_{0.75}Ge_{0.25} 등)로 SiGe 합금(혼합물)을 포함할 수 있다. 특정 실시형태에서, 모든 Ge 함유 층(110)은 동일한 재료를 포함하지만, Ge 함유 층(110)은 원하는 경우 상이한 재료를 포함할 수 있다.

- [0016] 기저 층(106)은 임의의 적합한 재료일 수 있으며, 일례로 Ge 또는 SiGe 합금을 포함한다. 특정 예에서, 막 스택(104)은 기저 층(106) 위에 Si 층(예를 들어, Si 층(108))과 Ge 또는 SiGe 층(예를 들어, Ge 함유 층(110))을 교번하여 헤테로에피택셜 성장시킴으로써 형성된다.
- [0017] 선택 사항인 하드 마스크(112)는 막 스택(104)의 상단에 포함될 수 있다. 하드 마스크(112)는, 예를 들어 이전의 에칭 공정에서 막 스택(104)의 구조를 형성하는 데 사용되었을 수 있다. 특정 실시형태에서, 하드 마스크(112)는 SiN이지만 임의의 적합한 재료를 포함할 수 있다.
- [0018] 장벽 층(114)은 막 스택(104)(하드 마스크(112)를 포함함) 그리고 이러한 예에서는 기저 층(106) 위에 형성된다. 장벽 층(114)은 기관(102)에 적용되는 이전 제조 단계(예를 들어, RIE)로부터 또는 기관(102)의 다른 취급(예를 들어, 공정 톨 간의 이동 시 주변 공기에 노출)으로부터 생성될 수 있다. 특정 예로서, 장벽 층(114)은 자연 산화물 층(NOL), RIE 잔여물 또는 둘 모두를 포함할 수 있다. NOL은 예를 들어 기관(102)이 O₂ 및 H₂O를 함유하는 주변 공기에 노출될 때 기관(102)의 표면 상에 형성되는 약 1 nm 내지 약 2.0 nm 두께의 얇은 SiO₂(또는 다른 적합한 재료) 층일 수 있다. 예를 들어, 기저 층(106), Si 층(108), Ge 함유 층(110) 및 하드 마스크(112)의 표면은 주변 공기와 상호 작용할 수 있고, 이에 의해 이들 표면에 장벽 층(114)이 생성될 수 있다. 다른 예로서, 기저 층(106), Si 층(108), Ge 함유 층(110) 및 하드 마스크(112)의 표면은 이전 RIE 단계로부터 생성된 잔여물을 포함할 수 있다.
- [0019] 장벽 층(114)은 장벽 층(114)의 밑에 있는 층과는 상이한 에칭 특성을 가질 수 있다. 막 스택(104)(하드 마스크(112)를 포함함) 및 기저 층(106) 위에 일반적으로 균일한 커버리지를 갖는 것으로 나타나 있지만, 장벽 층(114)은 균일한 커버리지를 갖거나 갖지 않을 수도 있다.
- [0020] 막 스택(104)의 층 각각은 예시된 바와 같이 단면 관점에서 볼 때 대향 단부에서 한 쌍의 노출된 표면을 갖는다. 즉, Si 층(108) 각각은 (대향하는) 노출된 표면(116)을 갖고, Ge 함유 층(110) 각각은 (대향하는) 노출된 표면(118)을 갖는다. 추가로, 도 1a에 예시된 상태에서, 기관(102)은 장벽 층(114)을 포함하기 때문에, Si 층(108)의 노출된 표면(116) 및 Ge 함유 층(110)의 노출된 표면(118)은 장벽 층(114)을 포함한다.
- [0021] 도 1b에서, NOL을 함유하는 장벽 층(114)의 적어도 일부를 제거하기 위해, 막 스택(104)을 일례로 불소제 및 산소제를 함유하는 처리 가스로 처리하고, 그 후 막 스택(104)을 열 처리한다. 이에 의해 Si 층(108)의 노출된 표면(116)으로부터(또는 Si 층(108)에 인접한 층(114)의 영역(116) 내에서) 그리고 기저 층(106) 및 하드 마스크(112)의 노출된 표면으로부터 장벽 층(114)이 제거된다. 추가로, 처리 가스에 노출시켜 장벽 층(114)과 반응하고, Ge 함유 층(110)의 노출된 표면(118) 상에 종단 층(117) 또는 개질된 표면이 형성된다. 일 실시형태에 따라, 플라즈마의 부재 하에 처리가 수행된다. 일례로, 처리에 의해 Ge 함유 층(110)에서 O 원자 감소율(%) (층(114)과 비교한 종단 층(117)의 O 감소율)은 약 60%가 되며, 여기서 O의 손실은 Ge 및 F 원자의 증가율(%)을 동반하였다. 일례로, 종단 층 또는 개질된 표면(117)은 H, Si, F 및 Ge를 포함하며, 이들은 후속적으로 플라즈마와 반응하여 층 또는 개질된 표면(117)이 차지하는 영역 내에서 게르마늄 질화물이 된다(후술됨). 추가로, 장벽 층(114)의 가스 처리 결과, 개질된 장벽 층은 영역(118) 내에 H, Si, F 및 Ge를 가질 것이고 열 처리 시에 승화되지 않지만, (Si 함유 층에 인접한) 장벽 층(114)의 영역(116)은 열 처리 시에 승화될 것이고 후속 플라즈마 단계에서 Si 함유 층의 측 표면 또는 인접한 영역 내에서 거의 또는 전혀 질화되지 않는다. 따라서, 가스 처리 및 열 처리는 (Si 함유 층의 표면 상의 또는 그와 인접한) 영역(116)의 층 부분의 선택적 제거 또는 선택적 승화를 제공한다.
- [0022] 종단 층 또는 개질된 표면(117)은 임의의 적합한 두께를 가질 수 있지만, 특정 실시형태에서 종단 층(117)은 비교적 얇고, 예컨대 2 nm 이하이다. 종단 층은, 예를 들어 단층일 수 있다. 특정 실시형태에서, 종단 층(117)은 불소, 예컨대 Ge-F를 함유한다. 일부 예에서, 처리 가스는 수소제를 추가로 포함한다. 일부 예에서, 처리 가스는 불소 함유 가스 및 수산화물 함유 가스(예를 들어, H₂O 및/또는 OH 포함) 및 전형적으로 캐리어 가스(예를 들어, Ar 및/또는 N)를 포함한다. 일례로, 처리 가스는 불화수소(HF) 가스 및 물(H₂O) 가스(예를 들어, 에어로졸화 물 및/또는 수증기)를 포함한다. 일부 실시형태에서, 처리 가스에 노출시키는 것은 약 0°C 내지 약 35°C의 기관 온도에서 수행될 수 있다. 특정 실시형태에서, 열 처리는 약 100°C 내지 250°C, 바람직하게는 약 150°C 내지 약 200°C의 기관 온도에서 수행될 수 있다. 일례로, 열 처리는 불활성 가스(예를 들어, N₂ 및/또는 Ar)의 존재 하에 대기압 이하의 압력에서 수행될 수 있다. 바람직하게는, 열 처리는 1000 mTorr 내지 3000 mTorr의 압력에서 수행되고, 1800 mTorr 내지 2200 mTorr 범위의 압력이 특히 바람직하다.

- [0023] 특정 성분, 예를 들어 물은 에어로졸화 또는 증기 상 형태일 수 있지만, 본원에서 "가스 상" 처리는 플라즈마 상과 구별하기 위해 언급된다. 따라서, 특별히 명시되지 않는 한, 가스 상은 물과 같은 증기 또는 에어로졸화 성분을 포함할 수 있다.
- [0024] 일례로, 도 1a에 예시된 바와 같은 기판은 장벽 층(114)을 에어로졸화 H₂O, 불소 및 캐리어 가스(예를 들어, N 및/또는 Ar)를 포함하는 처리 가스로 처리하는 비플라즈마 처리에 가해진다. 처리 가스는 장벽 층이 커버하는 층(Si 함유 층 또는 Ge 함유 층)에 따라 층(114)을 다르게 개질시킬 것이다. 특히, 일례로, 부분(118)(Ge 함유 층(110)을 커버함)에서, 개질된 층은 H, Si, Ge 및 F를 포함하는 한편, 영역(116)(Si 함유 층(108)을 커버함)에서, 장벽 층(114)의 개질된 부분(116)은 H, Si 및 F를 포함하지만 Ge는 포함하지 않을 것이다(또는, 임의의 Ge가 존재하는 경우, 이는 영역(118)에서보다 더 낮은 양으로 존재한다). 일례로, 처리는 제1 챔버에서 수행되고, 다음 단계, 즉 열 처리(도 1b에 나타난 바와 같은 기판이 생성됨)는 제2 챔버에서 수행되지만, 동일한 챔버에서 여러 단계를 수행하는 것이 가능할 수 있다. 장벽 층(114)을 처리하여 영역(116, 118)을 형성한 후, 열 처리 시에, 잔여 수증기가 제거되고, 또한 층 부분(116)의 남아 있는 양이 또한 제거되어, 게르마늄 층(110)의 측 표면에 종단 층(117) 또는 개질된 표면(117)이 존재하게 되며, 이러한 종단 층(117) 또는 개질된 표면(117)은 바람직하게는 H, Si, Ge 및 F를 포함한다. 열 처리는 상기 언급한 바와 같이, 예를 들어 100°C 내지 250°C, 바람직하게는 150°C 내지 200°C에서 불활성 대기(예를 들어, N 및/또는 Ar) 하에 수행된다. 이어서, 종단 층(117) 또는 개질된 표면(117)은 하기에 추가로 논의되는 바와 같이 플라즈마에 의해 보호 층(121)으로 전환된다.
- [0025] 도 1c에 나타난 바와 같이, 공정(100)의 플라즈마 단계(120)에서, 기판(102)은 반도체 기판을 처리하기 위한 플라즈마에 노출된다. 플라즈마(122)는 규소 층(108)을 선택적으로 에칭하고, Ge 함유 층(110)의 측 표면(118) 상에 에칭 보호 층(121)이 형성되도록 종단 층(117)을 전환시킨다. 예를 들어, Si 에칭의 휘발성 에칭 부산물은 플루오로실리케이트 재료를 함유할 수 있으며, 에칭 보호 층(121)은 Ge 질화물을 함유할 수 있다. 플라즈마 단계(120)는 에칭 보호 층(121)의 승화 온도 미만의 기판 온도에서 수행된다. 일부 실시형태에서, 플라즈마 단계(120)는 약 -50°C 내지 25°C, 바람직하게는 -40°C 내지 약 20°C 범위의 기판 온도에서 수행될 수 있다. 플라즈마 공정 동안 압력은, 예를 들어 25 mTorr 내지 700 mTorr, 바람직하게는 50 mTorr 내지 500 mTorr, 보다 바람직하게는 150 mTorr 내지 400 mTorr일 수 있다. 하기 논의되는 바와 같이, 플라즈마 공정은 H 및 N을 포함하지만 F 또는 다른 할로젠이 도입되지 않는 제1 플라즈마, 및 H, N 및 F(또는 다른 할로젠) 각각이 플라즈마에 도입된 제2 플라즈마를 포함한, 2개의 부분 또는 2개의 단계를 포함할 수 있다. 동일한 절차 및 온도가 각각의 부분에 대해 유리하게 사용되지만, 상이한 온도 및/또는 압력이 사용될 수 있다.
- [0026] 질화물(예를 들어, Ge 질화물) 에칭 보호 층(121)은 물에 불용성이므로, 에칭 보호 층(121)은 O₂ 및 H₂O 확산 장벽으로서 작용하게 되어, 이에 의해 Ge 함유 층(110)으로부터 형성된 나노와이어의 안정성이 개선될 수 있다. Ge 및 SiGe에 대해 선택적인 것 외에도, 플라즈마(122)(예를 들어, 불소 함유, 수소 함유 및 질소 함유 플라즈마)는 또한 SiO₂, Si₃N₄, 산화물 및 저-k 유전체 재료에 대해서도 선택적일 수 있는데, 이는 플라즈마(122)에는 통상적인 F/O 기반 플라즈마가 이들 재료를 에칭하게 하는 산소가 부족하기 때문이다.
- [0027] 도 1c의 플라즈마 처리의 예에서, 수소 및 질소를 포함하지만 바람직하게는 불소(또는 다른 할로젠) 또는 산소를 포함하지 않는 플라즈마를 사용한 초기 플라즈마 처리가 존재하며, 그 후 불소(또는 다른 할로젠)가 플라즈마에 첨가된다. 불소를 포함하지 않는 초기 플라즈마 동안, 수소 및 질소를 포함하는 플라즈마는 개질된 층(117)과 반응하여 질화물을 형성하며, 이에 의해 보호 층이 제공된다(도 1d에서 121로 예시됨). 그 후, 불소가 도입되면, 규소 함유 층(108)이 에칭된다. 불소 플라즈마가 Si 함유 층(108)을 에칭하는 동안, 플라즈마에서 H 및 N이 연속 공급되어 층(117/121)의 소모를 방지 또는 감소시킨다. 필요하다면, 불소를 포함하는 플라즈마에 노출시킨 후, 불소를 포함하지 않는 플라즈마에 노출시키는 것을 불소 없이 또한 반복할 수 있고(예를 들어, 5초 내지 25초, 바람직하게는 8 내지 20초, 보다 바람직하게는 10 내지 15초 동안), 이어서 불소를 다시 도입하여 규소 함유 층(108)이 에칭되는 동안 보호 층(121)이 완전히 에칭되지 않음을 보장할 수 있다. 하기 논의되는 바와 같이, 비할로젠 플라즈마(H 및 N을 포함함)에 이어서 할로젠 플라즈마에 반복적으로 노출시키는 것은 새롭게 노출된 Ge(또는 SiGe) 표면 상에 보호 층을 또한 제공할 수 있으며, 이들은 예를 들어 Ge 함유 층의 상단 및 하단 표면이 Si 함유 층의 만입 시에 노출됨에 따라 Si 함유 층의 에칭 시에 노출된다.
- [0028] 바람직한 예에서, 불소를 포함하지 않는 플라즈마(예를 들어, 제1 플라즈마)뿐만 아니라 불소를 포함하는 플라즈마(제2 플라즈마) 둘 모두에 대해, 기판을 플라즈마에 노출시키기 전에 플라즈마로부터 이온을 제거하여, 플라즈마의 라디칼이 기판과 반응하여 보호 층(121)을 형성하고 층(108)을 에칭하게 한다. 예를 들어, 플라즈마는 원격 플라즈마로서 형성될 수 있으며, 여기서 플라즈마는 제1 챔버 또는 제1 챔버 부분에서 생성되고, 플라즈마

는 예를 들어 이온을 제거하기 위해 하전되는 그리드 또는 메쉬 배열을 사용하여 이온을 제거하면서 제2 챔버 또는 제2 챔버 부분(기관이 배치되어 있음)으로 공급된다. 기관이 배치되어 있는 챔버 또는 챔버 부분은 그 안에서 플라즈마가 형성되도록 별도로 여기되지 않고 대신에 제1 챔버 또는 제1 챔버 부분에서 생성된 플라즈마를 수용한다. 이온을 제거하거나 오직 라디칼로 처리하는 것이 바람직하지만, 이온의 존재 하에서도 유리한 결과가 또한 관찰되었으므로 플라즈마는 기관이 배치되어 있는 동일한 챔버(또는 챔버 부분)에서도 발생할 수 있다.

[0029] 본원에서 사용되는 바와 같이, '불소(또는 다른 할로겐)가 존재하지 않음'이라는 설명은 불소(또는 다른 할로겐)가 도입되지 않음을 의미하지만, 재료의 순도에 따라 그리고/또는 예를 들어 다른 재료 또는 층으로부터 방출된 가스로 인해 미량이 존재할 수 있다.

[0030] H, F 및 N 각각을 포함하는 플라즈마 노출 동안에, 바람직하게는 F:N의 체적 유량비는 예를 들어 1:5 내지 1:10의 범위, 바람직하게는 1:5.5 내지 1:9의 범위, 바람직하게는 약 1:7이다. 과량의 질소가 도입되는 경우, 질화물 형성 또는 보호 층 형성이 Si 함유 층의 영역으로 전개되고 Si 함유 층의 에칭이 억제될 수 있다. 일례로, 불소 및 수소의 체적 유량비(F:H)는 1:1.5 내지 1:2.5의 범위, 바람직하게는 약 1:2일 수 있다. 불소가 도입되지 않는 경우, N:H의 비는 예를 들어 4.5:1 내지 3.5:1, 예를 들어 4:1의 범위일 수 있다. 일례로, RF 전력은 플라즈마 형성(플라즈마 둘 모두 또는 플라즈마 공정의 두 부분)을 위해 예를 들어 200 내지 500 와트, 바람직하게는 250 내지 350 와트로 사용될 수 있다.

[0031] 특정 실시형태에서, 플라즈마 단계(120)는 등방성 에칭 공정이다. 플라즈마 단계(120)는 플라즈마 툴의 플라즈마 챔버에서 수행될 수 있다. 플라즈마 툴은 유도 결합 플라즈마(inductively-coupled plasma: ICP) 툴, 용량 결합 플라즈마(capacitively-coupled plasma: CCP) 툴, 표면파 플라즈마(surface wave plasma: SWP) 툴 등을 포함할 수 있다. 하나의 예시적인 플라즈마 툴이 도 3를 참조하여 하기에 설명된다.

[0032] 예를 들어, 기관(102)은 산소 부재 플라즈마인 플라즈마(122)에 노출될 수 있다. '산소 부재'란 모든 산소가 플라즈마 단계(120)에서 제거된 것을 반드시 의미하지 않고, 대신에 산소 함유 가스가 플라즈마 단계(120)의 일부로서 의도적으로 도입되지 않는 것을 반영하는 것으로 이해되어야 한다. 플라즈마 챔버(123)로부터 모든 산소를 제거하는 것은 어렵거나 불가능할 수 있으므로, 아래에 설명된 특정 단계 동안 약간의 산소가 여전히 존재할 수 있다.

[0033] 플라즈마(122)는 불소제(126), 수소제(128) 및 질소제(130)를 포함할 수 있다. 불소제(126)는 주로 Si 층(108)의 노출된 표면(116)에서 에칭 부산물을 형성하기 위한 에칭제로서 작용할 수 있다. 수소제(128)는 불소제(126)의 존재 하에 환원제로서 작용할 수 있다. 더 나아가, 적용가능한 경우 플라즈마(122)를 생성하는 데 사용되는 가스에 따라 수소제(128)는 불소와 질소의 특정 화합물을 더욱 분해하여 불소제(126) 및 질소제(130)를 생성할 수 있다. 질소제(130)는 Ge 함유 층(110)의 노출된 표면(118)(H, Si, Ge 및 F를 포함함)으로부터의 종단 층(117)에서 Ge와 반응하여 노출된 표면(118)에 질화물 층(예를 들어, Ge₃N₄와 같은 Ge 질화물 층)을 형성한다. 예를 들어, 플라즈마(122)에서 생성된 원자 질소(N)는 Ge 함유 층(110)의 노출된 표면(118)에서 Ge와 반응하여 에칭 보호 층(121)을 형성할 수 있다.

[0034] 특정 실시형태에서, 플라즈마(122)는 불소 가스, 질소 가스 및 수소 가스를 포함하는 가스로부터 생성될 수 있다. 몇 가지 예로서, 플라즈마 공정의 제2 부분에 대하여 플라즈마(122)를 생성하는 데 사용되는 불소 함유 가스는 F₂, NF₃, 육불화황(SF₆) 또는 사불화탄소(CF₄)를 포함할 수 있다. 더 나아가, 불소가 기재되어 있지만, 에칭 공정을 용이하게 하기 위해 다른 할로겐이 사용될 수 있다.

[0035] 특정 실시형태에서, 산소 함유 가스는 플라즈마(122)가 생성되는 가스의 일부로서 의도적으로 도입되지 않는다. 특정 예로서, 플라즈마(122)를 생성하는 데 사용되는 가스는 NF₃, N₂ 및 H₂의 적합한 조합을 포함할 수 있다. 다른 특정 예로서, 가스는 NF₃, 암모니아(NH₃) 및 N₂를 포함할 수 있다. 특정 실시형태에서, N₂는 아르곤(Ar) 또는 크립톤(Kr)과 같은 불활성 가스로 대체될 수 있고, 또는 그러한 불활성 가스는 N₂와 함께 사용될 수 있다. 특정 예로서, 플라즈마(122)를 생성하는 데 사용되는 가스/가스 조합은 N₂/H₂/NF₃, N₂/NH₃/NF₃, Ar/NH₃/NF₃, N₂/H₂/Ar/NF₃, NF₃/NH₃, NF₃/H₂, 또는 N₂/H₂/NH₃/NF₃를 포함할 수 있다.

[0036] 플라즈마(122)를 생성하는 데 사용되는 가스가 NF₃ 및 N₂를 포함하는 예에서, NF₃ 대 N₂의 비는 적절한 고려 사항일 수 있다. 특정 실시형태에서, 불소는 플라즈마(122)에서 더 반응성 있는 화학 물질이기 때문에, 플라즈마

(122)는 불소에 의한 Ge 함유 층(110)의 에칭이 감소되거나 배제되도록 에칭 보호 층(121)이 충분히 빠르게 형성됨을 보장하기 위해 불소보다 더 많은 질소를 포함한다. 적절한 비(또는 비의 범위)는 다른 공정 매개변수 및 Ge 함유 층(110)에서의 Ge 농도를 포함한 다양한 요인에 따라 달라질 수 있다. 특정 실시형태에서, Ge 함유 층(110)에서 Ge의 비율이 높으면 에칭 보호 층(121)이 더 빠르게 형성될 수 있어서 더 나은 결과를 가져올 수 있다. H₂는 플라즈마 챔버(123)에서 발생하는 반응을 유도하는 데 도움을 주기 위해 첨가될 수 있다. NF₃ 대 H₂의 비에 대한 예시적인 범위는 NF₃:H₂=1:0.5 내지 NF₃:H₂=1:10을 포함할 수 있다. NF₃ 대 N₂의 비에 대한 예시적인 범위는 NF₃:N₂=1:1 내지 NF₃:N₂=1:15를 포함할 수 있다.

[0037] 플라즈마(122)를 생성하기 위한 다른 공정 매개변수에는 가스 유량, 압력, 플라즈마 소스 전력, 플라즈마 바이어스 전력, 시간 및 온도가 포함된다. 플라즈마(122)를 형성하기 위한 가스는 임의의 적합한 유량으로 제공될 수 있다. 특정 실시형태에서, 에칭제 소스 가스 유량은 NF₃ = 20 ~ 50 sccm, H₂ = 30 ~ 150 sccm, N₂ = 50 ~ 500 sccm이다. 특정 실시형태에서, 플라즈마 단계(120)는 중간 압력(예를 들어, 약 50 mTorr 내지 약 500 mTorr, 일례로 약 300 mTorr 내지 약 350 mTorr) 및 중간 소스 전력(예를 들어, 약 150 W 내지 약 800 W, 일례로 약 200 W 내지 약 300 W)에서 수행될 수 있다. 플라즈마 단계(120)에 대한 노출 시간은 임의의 적합한 시간일 수 있다. 특정 실시형태에서, 노출 시간은 약 5초 이하, 10초 이하, 15초 이하 또는 20초 이하만큼 적을 수 있다. 특정 실시형태에서, 노출 시간은 약 15초이다. 특정 실시형태에서, 플라즈마 단계(120)는 대략 -40℃ 내지 대략 20℃, 일례로 약 0℃의 온도에서 수행된다. 바람직하게는, 온도는 -50℃ 내지 25℃의 범위이다. 본원에 제공된 특정 값 및 범위는 단지 예시를 위한 것으로 이해되어야 한다.

[0038] 산소 부재 에칭 공정(120)을 위한 하나의 예시적인 레시피는 다음을 포함한다: 압력 350 mTorr; 소스 전력(유도 결합 플라즈마) 300 W; 바이어스 전력 0 W; 웨이퍼 처리 온도 0℃; 및 NF₃, H₂ 및 N₂ 유량 각각 30 sccm, 55 sccm 및 250 sccm. 다른 예시적인 레시피는 다음을 포함할 수 있다: 압력 300 mTorr; 소스 전력(유도 결합 플라즈마) 300 W; 바이어스 전력 0 W; 웨이퍼 처리 온도 0℃; 및 NF₃, H₂ 및 N₂ 유량 각각 20 sccm, 36 sccm 및 250 sccm. 다른 예시적인 레시피는 다음을 포함할 수 있다: 압력 50 mTorr; 소스 전력 150 W; 웨이퍼 처리 온도 -40℃; 및 NF₃, H₂ 및 N₂ 유량 각각 30 sccm, 15 sccm 및 450 sccm.

[0039] 도 1d는 최종 기관(102)의 특정한 측정치, 예컨대 노출된 단부 이격 거리(142) 및 에칭된 폭(144)을 추가로 나타낸다. Si 층(108)으로부터 에칭 부산물의 탈착은 만입부(136) 및 Ge 함유 층(110)의 추가 표면(138)을 형성한다. 예를 들어, 노출된 단부 이격 거리(142)는 막 스택(104)의 제1 측면 상의 제1 노출된 표면(116)으로부터 막 스택(104)의 제2 측면 상의 대향하는 제2 노출된 표면(116)까지 각각의 Si 층(108)을 측정함으로써 Si 층(108)의 (이러한 단면당) 남아 있는 폭을 보여준다. 노출된 단부 이격 거리(142)는 특정 실시형태에서 20 nm 미만일 수 있고, 일 실시형태에서 2 nm 내지 20 nm일 수 있다. 노출된 단부 이격 거리는 또한 에칭 전 노출된 단부의 이격 거리를 가리킬 수 있다. 에칭된 폭(144)은 특정 Si 층(108)의 특정 단부로부터 특정 Si 층(108)이 제거된 정도를 측정할 수 있다. 다시 말해, 에칭된 폭(144)은 Si 층(108)의 만입부(136)의 양을 측정할 수 있다. 특정 실시형태에서, 에칭된 폭(144)은 약 5 nm 내지 약 15 nm이다. 그러나, 노출된 단부 이격 거리(142) 및 에칭된 폭(144)은 주어진 응용에 따라 이 범위 밖에 속할 수 있다.

[0040] 도 1e에 예시된 바와 같이, Si 층(108)은 플라즈마(122)에 더 길게 노출됨으로써 추가로 에칭되어 에칭된 폭(144)이 증가한다. 추가로, 플라즈마(122)에서 생성된 원자 질소(N)는 Ge와 반응하여 Ge 함유 층(110)의 추가 표면(138) 및 기저 층(106)의 표면 상에서 패시베이션 층(124)(예를 들어, 질화물 층)을 형성할 수 있다.

[0041] 특정 실시형태에서, 플라즈마 단계(120)는 플라즈마의 펄스를 이용하여 에칭 선택성을 증가시키고 Ge 함유 층(110)에 대한 플라즈마 손상을 최소화할 수 있다. 대안으로서, 플라즈마 공정의 부분 또는 여러 플라즈마의 사이클링을 사용할 수 있다. 예를 들어, 제1 플라즈마 노출은 질소제를 포함할 수 있지만 불소제를 포함하지 않고, 제2 플라즈마 노출은 불소제 및 질소제 둘 모두를 포함할 수 있다. (제1 및 제2 기간 동안) 제1 및 제2 플라즈마 노출을 순차적으로 반복하여 (제3 및 제4 기간 동안) Si 층(108)을 추가로 에칭시킬 수 있다. 일례로, 제1 플라즈마 노출은 5초 내지 30초(바람직하게는 8 내지 25초, 보다 바람직하게는 10 내지 15초) 동안 N₂ 및 H₂를 포함할 수 있고, 제2 플라즈마 노출은 5초 내지 30초(바람직하게는 8초 내지 25초) 동안 NF₃, N₂ 및 H₂를 포함할 수 있다. 불소제(또는 다른 할로젠)를 함유하지 않는 제1 플라즈마 노출의 사용은 Ge 함유 층(110)의 추가 표면(138) 및 기저 층(106)의 표면 상에 패시베이션 층(124)(예를 들어, 질화물 층)을 형성하는 데 더욱 도움이 된다. 따라서, 기관(스택)은 (예를 들어, 제어기에 의해 제어되는 경우) 소정 시간 동안 제1 플라즈마에 노출되고, 그 후 제2 플라즈마에 노출될 수 있다. 제1 플라즈마는 제2 플라즈마로 전환될 때 소멸될 필요가 없

다. 예를 들어, 제1 플라즈마는 불소가 없는 질소 및 수소 함유 가스를 사용하여 형성될 수 있다. 소정 시간이 지나면, 질소 및 수소 함유 가스가 계속 도입되고 불소 함유 가스 또한 도입되어 제1 플라즈마 후 연속적으로 제2 플라즈마가 형성된다.

[0042] 도 1d에 나타난 바와 같이, Si가 만입된 후, (만입부에 대항하는) Ge 함유 층의 상부 및 하부 표면이 새롭게 노출되고, 불소(또는 할로젠) 함유 가스 플라즈마에 의한 에칭이 진행되는 경우, 에칭은 새롭게 노출된 표면에서 Ge 함유 층으로 에칭될 수 있다. 일례로, (예를 들어) 제1 기간 동안 제1 초기 플라즈마 후 제2 기간에서 예를 들어 5초 내지 30초, 바람직하게는 8초 내지 25초 동안, 도입된 불소 또는 할로젠에 의한 에칭이 진행된 후, 제3 기간 동안, 예를 들어 8초 내지 20초, 바람직하게는, 예를 들어 10초 내지 15초 동안 수소 및 질소 함유 가스가 계속 공급되면서 불소(또는 할로젠) 함유 가스의 흐름이 중단되고, 이어서 제4 기간(예를 들어, 5초 내지 30초, 바람직하게는 8초 내지 25초) 동안 불소 또는 할로젠 함유 가스 도입이 재개된다. 대안으로서, 불소 또는 할로젠에 의한 에칭 후, 플라즈마 전력은 소정 시간 동안 중단될 수 있거나, 수소 및 질소는 계속 도입되면서 불소(또는 할로젠) 함유 가스의 도입 및 전력은 소정 시간(제3 기간에서, 예를 들어, 8초 내지 20초 또는 10초 내지 15초) 동안 중단될 수 있고, 이어서 (제4 기간에서) 불소 또는 할로젠 함유 가스에 의한 에칭 및 플라즈마 전력 인가가 재개된다. 사이클링은 추가 기간 동안 마찬가지로 반복될 수 있다. 소정의 에칭 양(예를 들어, 매 에칭 후 2 nm 내지 5 nm) 후에 또는 에칭 시간(예를 들어 8초 내지 25초, 예를 들어 8초 내지 15초)에 기초하여 플라즈마 전력 중단 및/또는 할로젠 또는 불소의 도입 중단이 또한 발생할 수 있다. 결과적으로, 추가 보호 또는 패시베이션 층이 새롭게 노출된 표면 상에 형성될 수 있다.

[0043] 전술한 바와 같이, 일부 실시형태에서, 플라즈마 단계(120)는 기판(102) 상에서 충돌하는 고 농도의 라디칼을 생성하는 원격 플라즈마를 사용할 수 있다. 이는 에칭 동안 보호 층(121) 및 Ge 함유 층(110)의 프로파일을 보존하는 것을 포함하여 막 스택(104)에 대한 플라즈마 손상을 감소시킨다. 예를 들어, 플라즈마는 하나의 챔버 또는 챔버 부분에서 형성될 수 있으며, 이온이 제거되어 플라즈마를 형성할 수 있으며 여기에 기판이 노출된다.

[0044] 일 실시형태에 따라, 막 스택(104)을 처리 가스에 노출시키고, 막 스택(104)을 열 처리하고, 질소를 포함하지만 불소를 포함하지 않는 플라즈마에 노출시키고, 막 스택을 불소제 및 질소제를 포함하는 플라즈마에 노출시키는 순차적인 단계를 적어도 1회 반복하여 Si 층(108)을 선택적으로 추가로 에칭시킬 수 있다.

[0045] 이어서 기판(102) 상에서 후속 처리를 수행할 수 있다. 예를 들어, 플라즈마 단계(120)는 Ge 함유 층(110)을 GAA 디바이스와 같은 반도체 디바이스의 채널 영역에 대한 각각의 나노와이어로 형성하기 위한 공정으로 통합될 수 있다. 그러한 디바이스에서, 후속 처리는 만입부(136)를 절연체 또는 스페이서로 채우는 단계, Si 층(108)의 남아 있는 부분을 제거하는 단계, Ge 함유 층(110) 주위에 게이트 산화물을 제공하는 단계, 및 다른 연관된 단계를 포함할 수 있으며, 이들 모두는 단지 예시를 위해 제공된다. 그러한 디바이스에서, Ge 함유 층(110)의 노출된 단부(118)는 막 스택(104)의 영역에 형성된 채널 영역에 대한 전도성 접점으로서의 역할을 할 수 있다.

[0046] 도 2는 본 개시내용의 특정 실시형태에 따라, 리세스된 교번하는 막 스택을 갖는 기판을 포함하는 예시적인 디바이스(400)를 예시한다. 디바이스(400)의 적어도 일부는 본원에 기재된 바와 같은 임의의 공정 및 방법을 사용하여 형성될 수 있다.

[0047] 디바이스(400)는 채널 재료(404)(예를 들어, Ge 또는 SiGe) 및 게이트 재료(406)(예를 들어, SiGe 또는 Si)를 포함하는 기판(402)을 포함한다. 채널 재료(404)는 공정(100) 후 일부 지점에서의 기판(102)의 Ge 함유 층(110)에 상응할 수 있다. 디바이스(400)는 여기에 도시된 바와 같은 GAA 디바이스일 수 있거나, 임의의 다른 디바이스, 예컨대 핀 전계 효과 트랜지스터(fin field-effect transistor: FinFET)일 수 있다. 디바이스(400)는 또한 분리 구역(408)을 포함할 수 있다. 특정 실시형태에서, 분리 구역(408)은 얇은 트렌치 분리부(shallow trench isolation: STI)이다.

[0048] 디바이스(400)는 먼저 리세스된 교번하는 막 스택(410)(공정(100) 후 막 스택(104)에 상응하며, 가능하게는 추가 후속 공정이 있을 수 있음)을 형성하고 이어서 리세스된 교번하는 막 스택(410) 위에 추가 게이트 재료(406)를 침착시킴으로써 제조될 수 있다. 구체적으로, 디바이스(400)는 Si와 Ge 또는 SiGe 층을 교번하여 헤테로에피택셜 성장시킨 다음 수직으로 패터닝 및 리세싱하여 Ge 또는 SiGe 층을 측방으로 노출시켜 형성될 수 있다.

[0049] 본원에 기재된 실시형태의 응용은 유리하게는 5 nm 노드, 3 nm 노드, 또는 그 이하의 노드에 대한 최적의 해결책일 수 있다. 예를 들어, GAA 디바이스 아키텍처는 7 nm 노드를 넘어 크기를 조정하는 데 적합할 수 있다. GAA 디바이스 아키텍처는 오직 3개의 측면 대신에 전체 채널 주위에 게이트를 래핑함으로써 일부 FinFET 아키텍처에서 발견되는 쇼트 채널 효과를 해결할 수 있다. 이것은 FinFET의 게이트 아래에서 발생하는 누전을 감소시키거

나 제거하여, 이에 따라 비활성 전력 손실을 감소시킬 수 있다.

[0050] 일 실시형태에 따라, 선택적 Si 에칭을 포함한 반도체 기판의 처리 방법은 처리 툴, 플라즈마 툴 및 열 처리 툴을 수용하는 진공 공정 툴에서 수행될 수 있다. 진공 공정 툴은 기판을 공기에 노출시키지 않으면서 기판을 처리하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 가스 처리, 열 처리 및 플라즈마 공정이 다중 챔버 시스템의 다른 챔버에서 이루어질 수 있다. 일 실시형태에 따라, 기판 처리는 처리 툴에서 불소제 및 산소제(예를 들어, H₂O)를 포함하는 처리 가스로 기판을 처리하는 단계, 기판을 감압 하에 열 처리 툴로 옮기는 단계, 열 처리 툴에서 기판을 열 처리하는 단계, 기판을 감압 하에 열 처리 툴로부터 플라즈마 공정 툴로 옮기는 단계, 및 이어서 플라즈마 공정 툴에서 기판을 불소제 및 질소제를 포함하는 플라즈마에 노출시키는 단계를 포함할 수 있다. 일례로, 처리 툴은 또한 열 처리 툴로서 사용될 수 있다.

[0051] 일부 실시형태에 따라, 반도체 기판을 처리하는 방법은 막 스택(104)으로부터 임의의 불소를 완전히 제거하기 위해 공정(100)의 플라즈마 단계(120) 후 수행될 수 있는 하나 이상의 에칭 후 처리를 추가로 포함할 수 있다. 제1 에칭 후 처리는 처리 단계 후 상기 기재된 바와 같은 열 처리를 포함할 수 있으며, 예를 들어 약 150°C 내지 약 200°C의 기판 온도를 사용한다. 제1 에칭 후 처리는 막 스택(104) 상에 남아 있는 임의의 불소 또는 잔여물을 제거하는 데 효과적이다. 제2 에칭 후 처리는 도 1b에서 상기 기재된 바와 같이, 불소제 및 산소제를 함유하는 처리 가스에 의한 처리를 포함할 수 있다. 제2 에칭 후 처리는 Si 층(108) 상의 임의의 산화된 불소 잔여물을 제거하는 데 효과적이다. 그 후, 제3 에칭 후 처리는 상기 기재된 바와 같은 열 처리를 포함할 수 있으며, 예를 들어 약 150°C 내지 약 200°C의 기판 온도를 사용한다. 제3 에칭 후 처리는 막 스택(104) 상에 남아 있는 임의의 불소 또는 잔여물을 제거하는 데 효과적이다.

[0052] 도 3은 본 개시내용의 특정 실시형태에 따른, 예시적인 플라즈마 툴(500)의 블록도를 예시한다. 특정한 플라즈마 툴(500)이 예시되고 설명되지만, 임의의 적합한 유형의 플라즈마 툴이 사용될 수 있다. 플라즈마 툴(500)은 도 1a 내지 1e와 관련하여 기재된 플라즈마 공정(120)을 실행하는 데 사용될 수 있다.

[0053] 플라즈마 툴(500)은 플라즈마 챔버(123)를 포함하며 여기서 반도체 기판(예를 들어, 기판(102))은 플라즈마(예를 들어, 플라즈마(122))를 사용하여 처리된다. 플라즈마 챔버(123)는 처리 동안 기판(102)을 지지하도록 구성된 기판 테이블(502)을 포함한다. 특정 실시형태에서, 기판(102)은, 예를 들어 플라즈마(122)를 사용하는 플라즈마 단계(120)를 수행하기 위해 처리 단계 후 도 1b에 나타난 상태로 기판 테이블(502) 상에 배치된다. 기판(102)의 막 스택(104)의 (예를 들어, 도 1a 내지 1e를 참조하여 상기 기재된) Si 층(108)의 재료는 플라즈마 툴(500)의 샤워 헤드(504)를 통해 플라즈마(예를 들어, 플라즈마(122))를 주입함으로써 플라즈마 챔버(123) 내에서 선택적으로 에칭된다. 샤워 헤드(504)는 플라즈마(122)를 형성하기 위해 혼합되는 에칭 가스, 혼합 가스 및 캐리어 가스로 채워진 단일 혼합 반응 공동, 및 기판(102)을 향하여 플라즈마(122)를 분배하기 위한 일련의 출구 구멍을 포함할 수 있다. 플라즈마는 샤워 헤드(504)의 상류의 챔버에서 형성될 수 있으며(이는 기판이 배치되어 있는 챔버 또는 챔버 부분과 별개인 챔버 또는 챔버 부분으로서 간주될 수 있음), 또는 대안적으로 별개의 챔버 또는 챔버 부분은 그리드 또는 메시 배열에 의해 분리될 수 있으며, 여기서 플라즈마는 공정 가스가 공급되는 제1 챔버 또는 챔버 부분에서 생성되어 제1 챔버 또는 챔버 부분에서 여기되며, 플라즈마가 기판이 배치되어 있는 챔버 또는 챔버 부분을 통과함에 따라 이온이 추출되어, 기판은 이온이 제거된 후 플라즈마로 처리되어 플라즈마의 라디칼은 기판과 반응하게 된다.

[0054] 플라즈마 챔버(123)는 플라즈마 챔버(123)로부터 잔여 전구체 가스를 퍼지하기 위해 진공 라인(508)에 결합된 진공 펌프(506)를 포함하고/하거나 그렇지 않으면 진공 펌프에 결합되고, 또한 특정 실시형태에서 목표 압력을 유지하기 위해 압력 시스템을 포함하고/하거나 그렇지 않으면 압력 시스템에 결합될 수 있다. 플라즈마 챔버(123)는 기판(102)을 가열하고 플라즈마 챔버(123) 내의 온도 및/또는 기판(102)의 온도를 제어하도록 사용되는 히터(510) 및 온도 센서(512)와 같은 기계 툴 또는 구성요소를 추가로 포함할 수 있다.

[0055] 플라즈마 툴(500)은, 예를 들어 샤워 헤드(504)에 결합된 전구체 가스 라인(514), 혼합물 가스 라인(516) 및 캐리어 가스 라인(518)을 포함한다. 특정 실시형태에서, 전구체 가스 라인(514)을 통해 공급되는 에칭 가스는 불소 또는 NF₃과 같은 불소계 전구체를 포함할 수 있고, 혼합물 가스 라인(516)을 통해 공급되는 혼합물 가스는 수소를 포함할 수 있고, 캐리어 가스 라인(518)을 통해 공급되는 캐리어 가스는 질소, 또는 아르곤 또는 크립톤과 같은 불활성 가스를 포함할 수 있다.

[0056] 특정 실시형태에서, 플라즈마 툴(500)은 가스 흐름(예를 들어, 질량 유속)의 제어를 위한 질량 흐름 제어기 및 센서의 시스템을 포함할 수 있다. 따라서, 플라즈마 툴(500)은 제1 흐름 제어기(520), 제2 흐름 제어기(522),

제3 흐름 제어기(524), 진공 펌프(506), 히터(510), 온도 센서(512), 전압-전류(voltage-current: V-I) 센서(526), 및 기관 센서(528, 530, 532, 534(528-534))를 포함할 수 있다. 전구체 가스 라인(514), 혼합물 가스 라인(516) 및 캐리어 가스 라인(518)은 각각 제1 흐름 제어기(520), 제2 흐름 제어기(522) 및 제3 흐름 제어기(524)에 결합되어 이들에 의해 제어된다.

[0057] 플라즈마 톨(500)은 플라즈마 단계(120)의 양상을 제어하기 위해 제어기(536)를 포함할 수 있다. 제어기(536)는 임의의 적합한 방식으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 제어기(536)는 컴퓨터 또는 프로세서일 수 있다. 또 다른 예로서, 제어기(536)는 본원에 기재된 기능을 제공하도록 프로그래밍된 하나 이상의 프로그래밍 가능한 IC를 포함할 수 있다. 특정한 예에서, 하나 이상의 프로세서(예를 들어, 마이크로프로세서, 마이크로제어기, 중앙 처리 장치 등), 프로그래밍 가능한 논리 디바이스(예를 들어, 복합 프로그래밍 가능한 논리 디바이스), 필드 프로그래밍 가능한 게이트 어레이 등), 및/또는 다른 프로그래밍 가능한 IC는 제어기(536)에 대해 본원에 기재된 기능을 구현하기 위해 소프트웨어 또는 다른 프로그래밍 명령어에 의해 프로그래밍된다. 소프트웨어 또는 다른 프로그래밍 명령어는 하나 이상의 비일시적인 컴퓨터-판독 가능한 매체(예를 들어, 메모리 저장 디바이스, 플래시 메모리, 동적 임의 접근 메모리, 재프로그래밍 가능한 저장 디바이스, 하드 드라이브, 플로피 디스크, DVD, CD-ROM 등)에 저장될 수 있고, 소프트웨어 또는 다른 프로그래밍 명령어는 프로그래밍 가능한 IC에 의해 실행될 때 프로그래밍 가능한 IC가 본원에 기재된 작동을 수행하게 한다.

[0058] 기계 구성요소, 예컨대 히터(510) 및 플라즈마 챔버(123)의 온도 센서(512)뿐만 아니라 흐름 제어기(520, 522, 524), 진공 펌프(506), 및 플라즈마 챔버(123) 외부의 다른 구성요소는 제어기(536)에 결합되어 이에 의해 제어된다.

[0059] 장비 센서는 장비 매개변수, 예컨대 기관 테이블(502)의 온도, 히터 전류, 진공 펌프 속도 및 온도를 측정하고, 신호를 제공하여 장비가 적절하게 작동하는 것을 보장한다. 다양한 공정 센서는 공정 매개변수, 예컨대 공정 온도, 공정 압력, 플라즈마 밀도, 가스 유량 및 가스 조성을 측정하고, 신호를 제공하여 공정이 적절하게 작동하는 것을 보장한다. 장비 및 공정 센서로부터의 데이터는 플라즈마 단계(120) 내내 제어기(536)에 연속적으로 피드백을 제공한다. 제어기(536)는 실시간으로 조정을 수행하여 장비 및 공정을 사양 중심에 가깝게 유지할 수 있다.

[0060] 제어기(536)는 센서(들)로부터 데이터를 수신하고 센서 데이터에 기초하여 플라즈마 챔버(123)의 공정 매개변수를 제어한다. 제어기(536)는 센서(들)에 의해 수집된 데이터를 분석하고, 플라즈마 단계(120) 중 하나 이상의 단계를 변경하거나 종료할 시기를 결정하고, 피드백을 제공하여 플라즈마 챔버(123)의 구성요소의 공정 매개변수를 제어할 수 있다.

[0061] 제어기(536)는 V-I 센서(526) 및 기관 센서(528-534)에 연결되어 기관(102)이 플라즈마(122)에 노출될 때 플라즈마(122)를 모니터링함으로써 플라즈마(122)의 상태뿐만 아니라 선택적으로 조성 및 두께 데이터를 실시간으로 제공할 수 있다. 이 피드백 데이터가 제어기(536)에 의해 사용되어 기관(102)이 플라즈마(122)를 사용하여 선택적으로 에칭될 때 플라즈마 단계(120)를 연속적으로 또는 주기적으로 조정하고, 예를 들어 목표 만입부(예를 들어, 에칭된 폭(144))에 도달할 때(또는 상기 논의된 바와 같이 만입 결과로서 표면이 새롭게 노출될 때) 플라즈마 단계(120)를 종료할 수 있다. 제어는, 예를 들어 감지된 상태(또는 감지된 상태의 누적)뿐만 아니라 시간에 기반한 상태에 기초할 수 있다. 예를 들어, 상기 논의된 바와 같이, 기관이 비플라즈마 처리로 개질되고 열 처리에 가해진 후, 제1 플라즈마 공정 단계에서 기관은 소정 시간, 예를 들어 5초 내지 20초, 바람직하게는 적어도 8초(바람직한 시간은 예를 들어 10초 내지 15초임) 동안 질소 및 수소를 포함하지만 불소를 포함하지 않는 플라즈마에 노출된다. 소정 시간이 지난 후, 플라즈마에 불소가 도입되어, 기관은 질소, 수소 및 불소를 포함하는 플라즈마에 노출된다.

[0062] 기관 센서(528-534) 및 온도 센서(512)로부터의 측정 데이터는 제어기(536)에 의해 수신되는 동시에, 제어기(536)는 제1 흐름 제어기(520), 제2 흐름 제어기(522), 제3 흐름 제어기(524), 진공 펌프(506) 및 히터(510)로 전송되는 제어 신호를 생성할 수 있다. 가스 흐름 및 흐름 제어기의 수, 및 이에 따른 센서 및 다른 구성요소의 수는 다양할 수 있는 것으로 이해되어야 한다.

[0063] 제어기(536)는 기관(102)에 걸친 다수의 지점에서 취해진 기관 센서(528-534)로부터의 측정 또는 계량 데이터를 수신하여 패시베이션 층(124)(기관(102)이 플라즈마(122)에 노출되어 형성됨)의 공정 균일성 및 두께 및 조성, 노출된 단부 이격 거리(142), 및/또는 목표 만입부(예를 들어, 에칭 폭(144))를 동일계에서 그리고 실시간으로 측정할 수 있다. 예를 들어, 다중 기관 플라즈마 톨에서 다중 기관 센서는 에칭 보호 층(121) 및 패시베이션 층(124)(기관(102)이 플라즈마(122)에 노출되어 형성됨)의 두께 및 조성, 노출된 단부 이격 거리(142), 및/또는

기관(102)의 상단에서 하단까지의 목표 만입부(예를 들어, 에칭 폭(144))를 모니터링하고 조정하는 데 사용될 수 있다. 단일 기관 플라즈마 톨에서 다중 기관 센서는 에칭 보호 층(121) 및 패시베이션 층(124)의 두께 및 조성, 노출된 단부 이격 거리(142), 및/또는 기관(102)의 중심에서 기관(102)의 에지까지의 목표 만입부(예를 들어, 에칭 폭(144))를 모니터링하고 조정하는 데 사용될 수 있다.

[0064] 기관 센서(528-534)는 기관(102), 플라즈마 톨(500) 및/또는 플라즈마 단계(120)의 다양한 매개변수를 모니터링하기 위해 플라즈마 챔버(123)에 결합되고/되거나 플라즈마 챔버 내에 위치할 수 있다. 기관 센서(528-534)는 광센서(예컨대, 카메라, 레이저, 광, 반사계, 분광계, 타원계측기 등), 용량 센서, 초음파 센서, 가스 센서, 또는 기관(102), 플라즈마(122) 및/또는 플라즈마 톨(500)의 상태를 모니터링할 수 있는 다른 센서를 포함하지만 이에 한정되지 않는 다양한 유형의 센서를 포함할 수 있다. 특정 실시형태에서, 하나 이상의 광센서는 Ge 함유 층의 표면(118) 및 기저 층(106)의 표면(예를 들어, 패시베이션 층(124)이 형성되는 표면)에서 재료의 두께 및 굴절률, 노출된 단부 이격 거리(142), 및/또는 에칭된 폭(144a)(또는 다른 적합한 측정치)을 (플라즈마 단계(120) 동안) 실시간으로 측정하는 데 사용될 수 있다. 다른 예로서, 분광계는 Ge 함유 층의 표면(118) 및 기저 층(106)의 표면(예를 들어, 패시베이션 층(124)이 형성되는 표면)에서 재료의 막 두께, 노출된 단부 이격 거리(142), 및/또는 에칭된 폭(144a)(또는 다른 적합한 측정치)을 (플라즈마 단계(120) 동안) 실시간으로 측정하는 데 사용될 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 잔여 가스 분석기(residual gas analyzer: RGA)는 실시간 화학 반응 완료 검출을 위해 잔여 가스 분석기(플라즈마 단계(120) 동안) 실시간으로 검출하는 데 사용될 수 있다.

[0065] 제어기(536)는 표준 플라즈마 에칭 매개변수, 예컨대 챔버 압력, 챔버 온도, RF 소스 전력, RF 바이어스 전력, RF 파형(예를 들어, 연속파 RF, 펄스 RF, 방형파 펄스, 톱니 펄스 등), 에칭 시간, 및 다양한 공정 가스와 캐리어 가스의 조성 및 유량에 기초하여 (예를 들어, 패시베이션 층(124)의) 예를 들어, 에칭률, 등각성, 프로파일 및 침착 속도를 포함한, 사용자-입력 공정 매개변수를 수신할 수 있다. 유리하게는, 목표 국부적 임계 치수 균일성(local critical dimension uniformity: LCDU)을 충족하도록 사용자가 플라즈마(122)를 조정할 수 있다.

[0066] 기관 센서(528-534)로부터의 데이터 및 사용자 입력 공정 매개변수에 기초하여, 제어기(536)는 온도 센서(512) 및 히터(510)에 대한 제어 신호를 생성하여 플라즈마 챔버(123) 내의 열을 조정한다. 히터(510)가 플라즈마 챔버(123)를 가열함에 따라, 제어기(536)는 온도 센서(512)를 지속적으로 또는 주기적으로 모니터링하여 플라즈마 챔버(123)의 온도를 추적해서 제어 신호를 히터(510)로 전송함으로써 플라즈마 챔버(123)의 온도를 유지한다.

[0067] 일례로, 제어기(536)가 온도 센서(512)에 의해 제공된 데이터에 기초하여 플라즈마 챔버(123)의 목표 온도에 도달했다고 결정하면, 제어기(536)는 제1 흐름 제어기(520), 제2 흐름 제어기(522) 및 제3 흐름 제어기(524)를 활성화시키고, 사용자 입력 공정 매개변수에 기초하여, 목표 유량의 잔류체 가스를 제1 흐름 제어기(520)에 제공하고, 목표 유량의 혼합 가스를 제2 흐름 제어기(522)에 제공하고, 목표 유량의 캐리어 가스를 제3 흐름 제어기(524)에 제공하기 위한 제어 신호 및 데이터 신호를 생성한다. 제어기(536)가 상응하는 유량이 확립되었다고 결정하면, 제어기(536)는 전력을 플라즈마 챔버(123)에 제공하여 바이어스 전극 및 소스 전극을 통해 플라즈마(122)에 전력을 공급한다. V-I 센서(526)로부터의 측정치에 기초하여, 바이어스 전극 및 소스 전극에 공급되는 전력을 조정할 수 있다. 제1 흐름 제어기(520), 제2 흐름 제어기(522) 및 제3 흐름 제어기(524) 각각은 유량 센서 및 조정 가능한 비례 밸브에 연결된 펌프 제어 시스템일 수 있고, 이를 통해 각각의 흐름 제어기는 유량 센서 및 조정 가능한 비례 밸브를 통해 각각의 가스의 목표 유량을 지속적으로 또는 주기적으로 모니터링하고 내부적으로 유지할 수 있다.

[0068] 특정 실시형태에서, 제어기(536)가 사용자 입력 데이터에 기초하여 에칭 공정 시간을 충족했다고 결정하면, 제어기(536)는 제1 흐름 제어기(520), 제2 흐름 제어기(522) 및 제3 흐름 제어기(524)를 비활성화하기 위한 제어 신호를 생성하며, 이들 흐름 제어기는 적절한 경우 동일하거나 상이한 시간에 비활성화될 수 있다.

[0069] 제어기(536)는 기관 센서 데이터를 사용하거나 분석하여 플라즈마 단계(120)를 종료할 시기를 결정할 수 있다. 예를 들어, 제어기(536)는 잔여 가스 분석기로부터 데이터를 수신하여 플라즈마 단계(120)의 종료점을 검출할 수 있다. 다른 예에서, 제어기(536)는 분광 타원 계측법을 사용하여 플라즈마 단계(120) 동안 패시베이션 층(124)의 평균 막 두께, Ge 함유 층(110)의 노출된 단부(141) 및/또는 노출된 단부 이격 거리(142)를 검출하고, 플라즈마 단계(120) 동안 변화를 표시할 수 있다. 다른 예에서, 제어기(536)는 분광 타원 계측법을 사용하여 플라즈마 단계(120) 동안 Ge 함유 층의 표면(118) 및 기저 층(106)의 표면(예를 들어, 패시베이션 층(124)이 형성되는 표면)에서 재료의 굴절률을 검출하고, 플라즈마 단계(120) 동안 막 조성의 변화를 표시할 수 있다. 제어기(536)는 노출된 단부 이격 거리(142) 및/또는 에칭된 폭(144a)(또는 다른 적합한 측정치) 목표가 달성될 때 플라즈마 단계(120)를 자동으로 종료할 수 있다. 특정 실시형태에서, 제어기(536)는 막 스택(104)의 원하는 에칭

프로파일을 달성하기 위해 예를 들어 플라즈마 단계(120) 동안 NF3 대 H2의 비 및/또는 NF3 대 N2의 비와 같은 하나 이상의 매개변수를 자동으로 조정할 수 있다. 제어기(536) 및 기관 센서(528-534)로부터의 데이터를 또한 사용하여 원하는 반도체 기관 처리량 목표를 달성할 수 있다. 추가로, 제어기(536) 및 기관 센서(528-534)로부터의 데이터를 사용하여 원하는 반도체 기관 처리량과 함께 막 스택(104)의 원하는 에칭 프로파일 및 조성을 달성하거나 또는 대안적으로 조합 목표를 달성할 수 있다.

[0070] 전술한 바와 같이, 본원에 기재된 바와 같은 제어기는, 예를 들어 컴퓨터 또는 프로세서를 포함할 수 있고, 비일시적인 컴퓨터-판독 가능한 데이터 및/또는 명령어를 저장하는 메모리를 포함할 수 있다. 제어기는 단일 또는 다중 분배 제어기 또는 하위 제어기를 포함할 수 있으며, 마스터 또는 상위 레벨 제어기는 예를 들어 개별 챔버 또는 챔버의 구성요소를 제어하는 하위 제어기에 명령어를 제공하는 것으로 이해되어야 한다.

[0071] 기관의 열 처리를 위한 시스템(300)이 도 4에 나타나 있다. 일 실시형태에서, 시스템(300)은 또한 처리 단계를 위해 사용될 수 있다. 대안적으로, 장벽 층(114)(예를 들어, 산화물 층, 예컨대 NO₂)의 초기 비플라즈마 처리는 하나의 챔버에서 수행될 수 있고, 열 처리는 별개의 챔버에서 수행될 수 있다. 시스템(300)은 비플라즈마 진공 환경에서 워크피스(325)를 처리하기 위한 공정 챔버(310), 공정 챔버(310) 내에 배열되고 워크피스(325)를 지지하도록 구성된 워크피스 홀더(320), 워크피스 홀더(320)에 결합되고 설정점 온도로 워크피스 홀더(320)의 온도를 제어하도록 구성된 온도 제어 시스템(350), 공정 챔버(310)에 결합되고 하나 이상의 공정 가스를 공정 챔버(310)에 공급하도록 배열된 가스 분배 시스템(330), 및 온도 제어 시스템(350)에 작동가능하게 결합되고 예를 들어 -40°C 내지 250°C 범위의 워크피스 홀더(320)의 온도를 제어하도록 구성된 제어기(360)를 포함한다. 예를 들어, 온도 제어 시스템(350)은 워크피스 홀더(320)의 온도를 제어하도록 구성될 수 있다. 공정 챔버(310)는 공정 챔버(310)로부터 공정 가스를 배기하기 위한 진공 펌프(340)를 포함할 수 있다. 공정 챔버(310)는 여기 중, 라디칼 중 또는 준안정 중 또는 이들의 조합을 공정 챔버에 공급하도록 배열된 원격 플라즈마 발생기 또는 원격 라디칼 발생기를 추가로 포함할 수 있다.

[0072] 가스 분배 시스템(330)은, 가스 분배 조립체 및 가스 분배 조립체에 결합되고 하나 이상의 가스 분배 플레넘(plenum) 또는 공급 라인을 형성하도록 구성된 하나 이상의 가스 분배 판 또는 도관을 갖는 샤워헤드 가스 주입 시스템을 포함할 수 있다. 나타내지는 않았지만, 하나 이상의 가스 분배 플레넘은 하나 이상의 가스 분배 배플(baffle) 판을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 가스 공급은 또한 초기 비플라즈마 처리(열 처리 전)를 위해 에어로졸화 H₂O 및/또는 수증기를 공급할 수 있다. 하나 이상의 가스 분배 판은 하나 이상의 가스 분배 플레넘으로부터 공정 챔버(310)로 공정 가스를 분배하기 위한 하나 이상의 가스 분배 오리피스(orifice)를 추가로 포함한다. 추가적으로, 하나 이상의 가스 공급 라인은 하나 이상의 가스를 포함하는 공정 가스를 공급하기 위해, 예를 들어 가스 분배 조립체를 통하여 하나 이상의 가스 분배 플레넘에 결합될 수 있다. 공정 가스들은 단일 흐름으로 함께 도입될 수 있거나, 별개의 흐름으로 독립적으로 도입될 수 있다.

[0073] 가스 분배 시스템(330)은 가스 분배 체적을 감소시키거나 최소화하도록 설계된 분기 가스 분배 망을 추가로 포함할 수 있다. 분기 망은 플레넘을 제거할 수 있거나, 가스 플레넘의 체적을 최소화할 수 있으며, 가스 밸브로부터 공정 챔버로의 가스 분배 길이를 단축시킬 수 있는 동시에, 워크피스(325)의 직경에 걸쳐서 공정 가스를 효과적으로 분배할 수 있다. 그렇게 할 때, 가스는 보다 신속하게 전환될 수 있고, 화학적 환경의 조성이 보다 효과적으로 변할 수 있다.

[0074] 하나의 화학적 환경을 다른 화학적 환경으로 배기하고, 변위시키고, 교체하는 데 필요한 시간 또는 체류 시간을 감소시키거나 최소화하기 위해, 워크피스(325)가 노출되는 화학적 환경을 한정하는 공정 챔버(310)의 체적을 감소시키거나 최소화할 수 있다. 공정 챔버(310) 내의 화학적 환경을 변위시키는 시간은 진공 펌프(340)에 의해 공정 챔버 체적으로 전달되는 펌핑 속도에 대한 공정 챔버 체적의 비로서 추정될 수 있다.

[0075] 워크피스 홀더(320)는 워크피스(325)를 열적으로 제어하고 처리하기 위한 여러 개의 작동 기능을 제공할 수 있다. 워크피스 홀더(320)는 워크피스 홀더(320)의 온도를 조정 및/또는 상승시키도록 구성된 하나 이상의 온도 제어 요소를 포함한다.

[0076] 도 5에 나타난 바와 같이, 워크피스 홀더(320)는 열 전달 유체의 흐름을 허용하고 워크피스 홀더(320)의 온도를 변경하기 위한 적어도 하나의 유체 채널(322)을 포함할 수 있다. 워크피스 홀더(320)는 적어도 하나의 저항성 가열 요소(324)를 추가로 포함할 수 있다. 다중 구역 채널 및/또는 가열 요소는 워크피스(325)의 가열 및 냉각의 공간적 균일성을 조정 및 제어하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 적어도 하나의 저항성 가열 요소(324)는 중앙 구역 가열 요소 및 에지 구역 가열 요소를 포함할 수 있다. 추가적으로, 예를 들어 적어도 하나의 유체 채널

널(322)은 중앙 구역 유체 채널 및 에지 구역 유체 채널을 포함할 수 있다. 200 내지 250℃ 초과 온도에서, 램프 가열 등과 같이, 적외선(IR) 가열을 포함한 다른 가열 시스템이 사용될 수 있다.

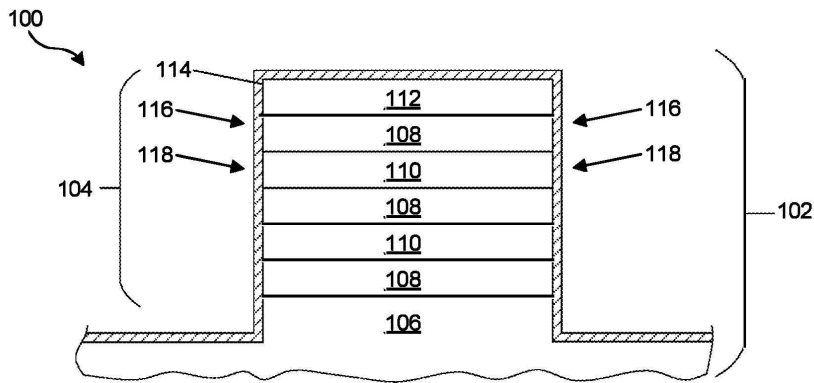
- [0077] 전원(358)은 전류를 공급하기 위해 적어도 하나의 저항성 가열 요소(324)에 결합된다. 전원(358)은 직류(DC) 전원 또는 교류(AC) 전원을 포함할 수 있다. 더 나아가, 적어도 하나의 저항성 가열 요소(324)는 직렬로 연결될 수 있거나, 병렬로 연결될 수 있다.
- [0078] 적어도 하나의 저항성 가열 요소(324)는, 예를 들어 탄소, 텅스텐, 니켈-크롬 합금, 알루미늄-철 합금, 질화알루미늄 등으로부터 제작된 저항성 히터 요소를 포함할 수 있다. 저항성 가열 요소를 제작하기 위해 상업적으로 입수가 가능한 재료의 예에는 Kanthal, Nikrothal, Akrothal이 포함되며, 이들은 미국 코네티컷주 베텔 소재의 Kanthal Corporation에 의해 생산된 금속 합금의 등록 상표명이다. Kanthal 패밀리는 페라이트계 합금(FeCrAl)을 포함하고, Nikrothal 패밀리는 오스테나이트계 합금(NiCr, NiCrFe)을 포함한다. 하나의 예에 따라, 적어도 하나의 저항성 가열 요소(324) 각각은, Watlow Electric Manufacturing Company(미국 미주리주 63146 세인트루이스 랙랜드 로드 12001)로부터 상업적으로 입수가 가능한 가열 요소를 포함할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 임의의 실시형태에서 냉각 요소가 사용될 수 있다.
- [0079] 열 전달 유체 분배 매니폴드(manifold)(352)는 하나 이상의 유체 채널(322)을 통한 열 전달 유체의 흐름을 펌핑하고 모니터링하도록 배열된다. 열 전달 유체 분배 매니폴드(352)는 제1 열 전달 유체 온도의 제1 열 전달 유체 공급 용기(bath)(354), 및/또는 제2 열 전달 유체 온도의 제2 열 전달 유체 공급 용기(356)로부터 열 전달 유체를 흡입할 수 있다. 매니폴드(352)는 중간 온도를 달성하기 위해 제1 및 제2 열 전달 유체 공급 용기(354, 356)로부터 열 전달 유체를 혼합할 수 있다. 더 나아가, 열 전달 유체 분배 매니폴드(352)는 소정의 온도로 열 전달 유체를 제어가능하게 공급, 분배 및 혼합하기 위해, 펌프, 밸브 조립체, 히터, 냉각기 및 유체 온도 센서를 포함할 수 있다.
- [0080] 대안의 실시형태에서, 온도 제어 시스템(350)은 워크피스 홀더(320)에 매우 근접한 고온 벽을 포함할 수 있다. 워크피스 홀더(320)는 워크피스를 워크피스 홀더에 체결하도록 구성된 워크피스 체결 시스템, 및 워크피스의 후면에 열 전달 가스를 공급하도록 구성된 후면 가스 공급 시스템을 추가로 포함할 수 있다.
- [0081] 열 전달 유체는 200℃를 초과하는 비등점을 갖는 고온 유체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 열 전달 유체는 3M으로부터 상업적으로 입수가 가능한 Fluorinert.TM. FC40(-57 내지 165℃의 온도 범위를 가짐), 또는 Fluorinert.TM. FC70(-25 내지 215℃의 온도 범위를 가짐)을 포함할 수 있다.
- [0082] 워크피스 홀더(320)는 열전대(예를 들어, K형 열전대, Pt 센서 등) 또는 광학 디바이스와 같은 온도 감지 디바이스를 사용하여 모니터링될 수 있다. 더 나아가, 기관 홀더 온도 제어 시스템(350)은 워크피스 홀더(320)의 온도를 제어하기 위해 워크피스 홀더(320)에 대한 피드백으로서 온도 측정치를 사용할 수 있다. 예를 들어, 유체 유량, 유체 온도, 열 전달 유체 유형, 열 전달 유체 압력, 체결력, 저항성 히터 전류 또는 전압, 열전기 디바이스 전류 또는 극성 등 중 적어도 하나는 워크피스 홀더(320)의 온도 및/또는 워크피스(325)의 온도 변화에 영향을 주도록 조정될 수 있다.
- [0083] 상기 언급한 바와 같이, 제어기(360)는 온도 제어 시스템(350)에 작동가능하게 결합되며, 예를 들어 -40℃ 내지 250℃ 범위의 온도에서 워크피스 홀더(320)를 포함한 시스템(300)의 다양한 구성요소의 온도를 제어하도록 구성된다. 온도 제어 시스템(350)은 특히 워크피스 홀더(320), 워크피스(325), 공정 챔버(310)의 챔버 벽의 온도, 또는 가스 분배 시스템(330)의 온도를 측정하도록 배열된 하나 이상의 온도 센서로부터 온도 정보를 획득할 수 있으며, 온도 정보를 이용하여 이러한 온도를 제어가능하게 조정할 수 있다.
- [0084] 챔버 벽, 가스 분배 시스템(330) 등을 포함한, 공정 챔버(310)의 다른 챔버 구성요소들은 해당 온도를 제어하기 위한 가열 및/또는 냉각 요소를 포함할 수 있다. 예를 들어, 공정 챔버(310)의 챔버 벽 온도 및 가스 분배 시스템의 적어도 일부의 온도는 최대 150℃의 온도까지, 또는 50℃ 내지 150℃ 범위(바람직하게는, 70℃ 내지 110℃) 내에서 제어될 수 있다.
- [0085] 본 개시내용은 GAA 디바이스를 위한 나노와이어/나노시트를 형성하는 특정 응용에 대해 설명되지만, Ge 함유 층에 선택적인 Si의 등방성 에칭의 임의의 유형에 사용될 수도 있다. 더 나아가, 수행되는 에칭은 주로 Si 층(108)의 대향하는 단부의 부분을 제거함으로써 막 스택(104)에 만입부를 형성하기 위한 것으로 설명되었지만, 공정(100)은 Si 층(108)의 실질적으로 모든 부분을 제거하는 데 사용될 수 있으며, 이는 Ge 함유 층(110)을 해제하는 것 또는 채널 해제(channel release)로 지칭될 수 있다.
- [0086] 이제 도 6을 참조하면, 본원에 개시된 바와 같은 공정의 예의 개요가 제공된다. 도 6의 흐름도는, 예를 들어 본

원에 개시된 공정 챔버 또는 시스템의 하나 이상의 제어기에 의해 제어하기 위한 알고리즘을 제공할 수 있다.

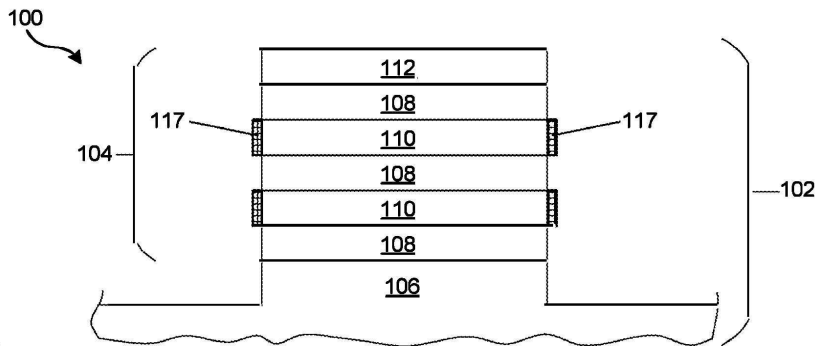
- [0087] S10에 나타난 바와 같이, Ge 함유 층 및 Si 함유 층, 및 또한 스택의 측 표면 상의 층, 예를 들어 도 1a의 114로 나타난 바와 같은 산화물 층을 갖는 기판이 초기에 제공된다.
- [0088] S12에 나타난 바와 같이, 이어서 본원에 개시된 예에서 비플라즈마 환경 하에 처리가 수행된다. 바람직한 예에서, 비플라즈마 환경은, 예를 들어 수소 함유 가스, 산소 함유 가스 및 불소 함유 가스를 포함하며, 일례로 H 및 O를 제공하기 위해 에어로졸화 물 또는 수증기가 제공되며 예를 들어 불소를 제공하기 위해 HF 또는 F가 제공된다. 비플라즈마 환경에서 초기 처리는 개질된 층이 형성되도록 층(114)을 처리할 것이며, 예를 들어 개질된 부분(118)은 Ge 함유 층 상에 형성되며 H, Si, Ge 및 F를 포함하고, 개질된 부분(116)은 Si 함유 층 상에 형성되며 예를 들어 H, Si 및 F를 포함하지만 Ge는 없거나 또는 부분(118)보다 더 적은 최소한의 Ge를 갖는다.
- [0089] 이어서, S14에 나타난 바와 같은 열 처리가 수행되며, 이에 의해 개질된 층 부분(116)의 남아 있는 부분이 제거되며, 열 처리에 의해 또한 잔여 수증기가 제거되고 불소가 약간 감소될 것이다. 결과적으로, 열 처리 후, 종단 층(117) 또는 개질된 측 표면(117)이 도 1b에 나타난 바와 같이 남아 있지만, 116에 이전에 배치된 부분은 제거된다.
- [0090] S16, S18에 나타난 바와 같이, 이어서 바람직하게는 제1 부분(S16) 또는 제1 플라즈마 단계(S16) 후 제2 부분(S18) 또는 제2 플라즈마 단계(S18)를 포함하는 플라즈마 공정이 기판 상에서 수행된다. 제1 단계에서, 종단 층 또는 개질된 표면(117)이 게르마늄 질화물을 포함한 보호 층으로 전환되도록, 질소 및 수소를 포함하지만 불소 또는 다른 할로젠을 포함하지 않는 플라즈마가 형성된다. 이어서, 보호 층(121)의 소모를 방지하고/하거나 Ge 함유 층 상에서 추가 보호를 형성하기 위해, 질소를 계속 공급하면서 불소를 플라즈마에 첨가하여 S18에서 에칭이 수행된다. 바람직하게는, 플라즈마 공정의 두 부분(S16, S18)에 대하여 수소가 플라즈마에 도입된다. 또한, 바람직하게는 S16, S18에 산소가 도입되지 않는다.
- [0091] 공정은 필요한 에칭 양에 따라 반복될 수 있으며, 또한 상기 논의된 124, 138로 나타난 바와 같이 추가 개질 표면이 제공될 수 있으며, 따라서 Ge 함유 층의 추가 노출된 표면은 보호되는데, 예를 들어 이들은 만입부를 형성하도록 Si 함유 층이 제거될 때 노출되기 때문이다.
- [0092] 도 7a 및 7b는, 예를 들어 상기 기재된 도 1e에 예시된 바와 같이 만입부가 형성된 후 발생할 수 있는 추가 공정을 예시한다.
- [0093] 도 7a 및 7b의 배열은, 예를 들어 Ge 함유 층(104)을 포함하며, 층(104)들 사이에 Si 함유 층(102)이 있고, Si 함유 층은 상기 기재된 바와 같이 만입되어 있다. 영역(108)은 마스크, 예를 들어 하드 마스크일 수 있으며, 영역(107)은 초기에 더미(dummy) 게이트를 포함할 수 있고, 이는 후속적으로 제거되며 게이트 금속이 침착된다. 상기 논의된 만입 과정 후, 스페이서 층(110)이 침착되어 내부 스페이서 층(110)이 제공된다. 층(110)은 예를 들어 SiN과 같은 스페이서 재료 또는 저-k 유전체로 형성될 수 있다. 이어서, 내부 스페이서 층(110)은 상기 논의된 만입 또는 만입부로서 이전에 형성된 것에서 스페이서(103)가 남도록 부분적으로 제거된다. 이어서, 층(102)은 Ge 함유 층으로 형성된 채널(104)이 남도록 제거될 수 있고(채널 해제), 이어서 더미 게이트(107) 및 Si 함유 층(102)이 이미 차지한 영역은 게이트 금속으로 채워질 수 있다. 또한, 스페이서(103)를 남기기 위해 내부 스페이서 층(110)을 제거 또는 에칭하는 데 있어서, 스페이서(103)는 스페이서의 외부 표면(103s)이 층(104)의 외부 표면 또는 외부 치수(104s)보다 더 적은 외부 치수를 갖도록 Ge 함유 층의 외부 표면 또는 채널(104)에 대해 만입되어야 한다. 본 발명은 Si 함유 층(도 1a 내지 1b에서 108, 도 7a 및 7b에서 102)의 에칭에 대하여 상기에 논의하였지만, 본 발명은 또한 Ge 함유 층(104)(예를 들어, SiGe 층)을 보호하면서 층(102)(도 7a 및 7b)을 제거하는 데 있어서 예를 들어 채널 해제를 위해 사용될 수도 있다. 다른 대안으로서, 본 발명은 내부 스페이서 층(110)의 남아 있는 부분이 에칭되고 스페이서의 만입된 외부 표면(103s)이 Ge 함유 층(또는 SiGe)의 외부 표면(104s)에 대해 만입되도록, (층(104)을 보호하면서) 층(104)에 대해 또는 대하여 스페이서 재료(103)를 선택적으로 에칭하기 위해 적용될 수 있다.
- [0094] 본원에 개시된 바와 같은 예의 특징을 포함하는 다른 응용예가 활용될 수 있는 것으로 이해해야 한다.
- [0095] 본 개시내용은 특정 공정/방법 단계가 특정 순서로 발생하는 것으로 설명되지만, 본 개시내용은 임의의 적합한 순서로 발생하는 공정 단계를 고려한다. 본 개시내용이 예시적인 실시형태를 참조하여 설명되었지만, 이 설명은 제한적인 의미로 해석되도록 의도되지 않는다. 상기 설명을 참조함으로써 본 개시내용의 예시적인 실시형태뿐만 아니라 다른 실시형태의 다양한 변형 및 조합이 당업자에게는 명확할 것이다. 따라서, 첨부된 청구범위는 임의의 그러한 변형 또는 실시형태를 포함하는 것으로 의도된다.

도면

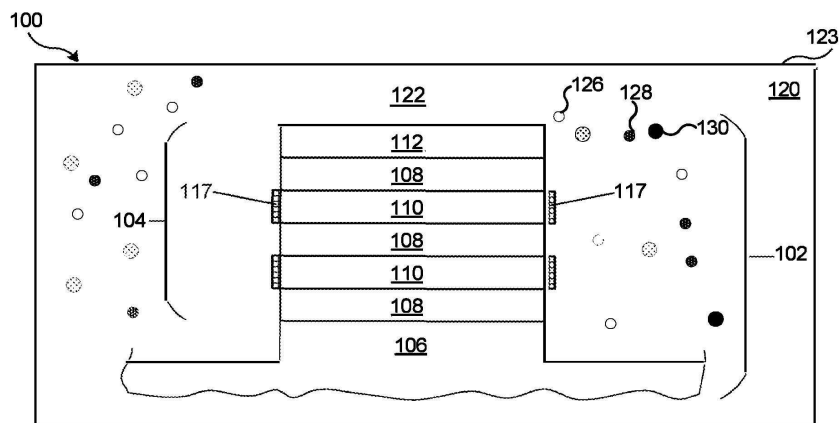
도면1a



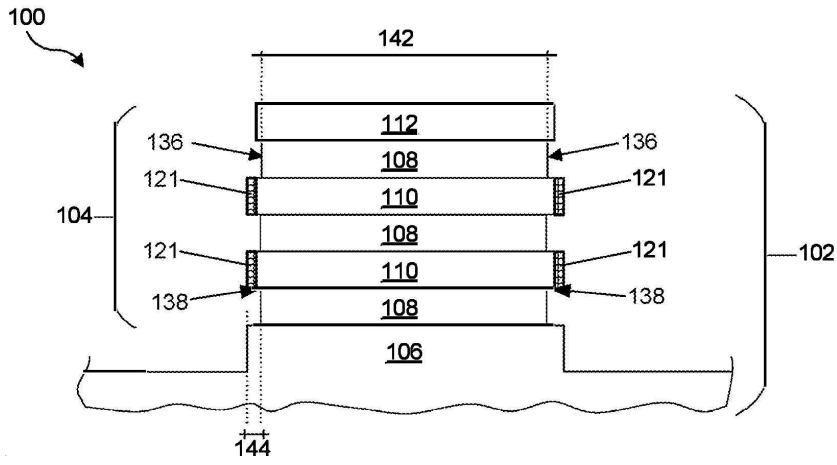
도면1b



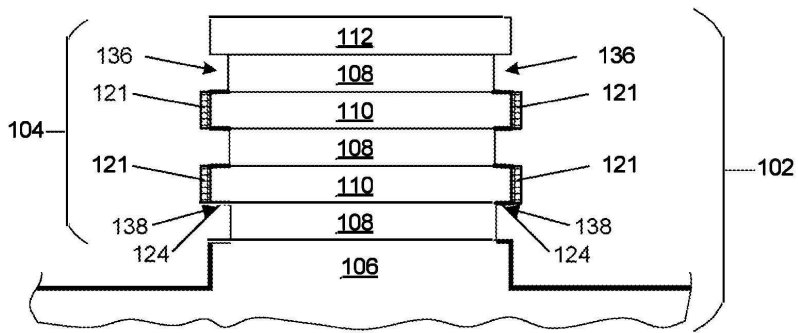
도면1c



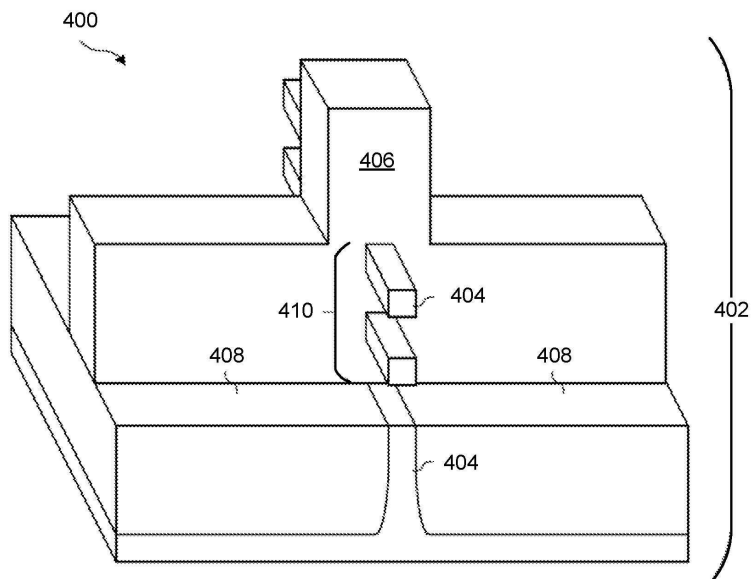
도면1d



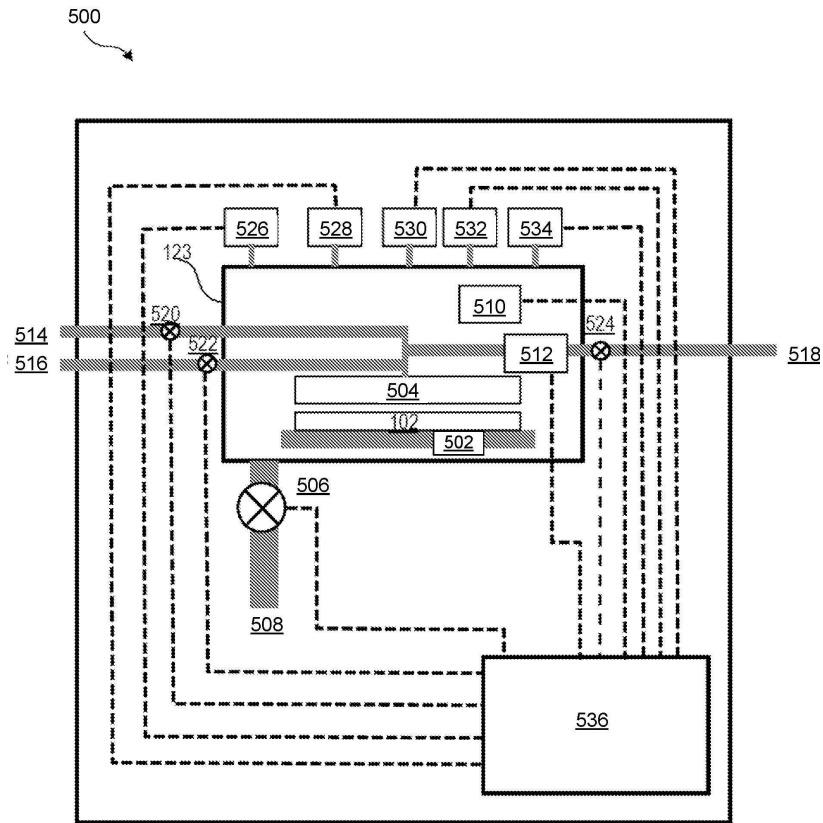
도면1e



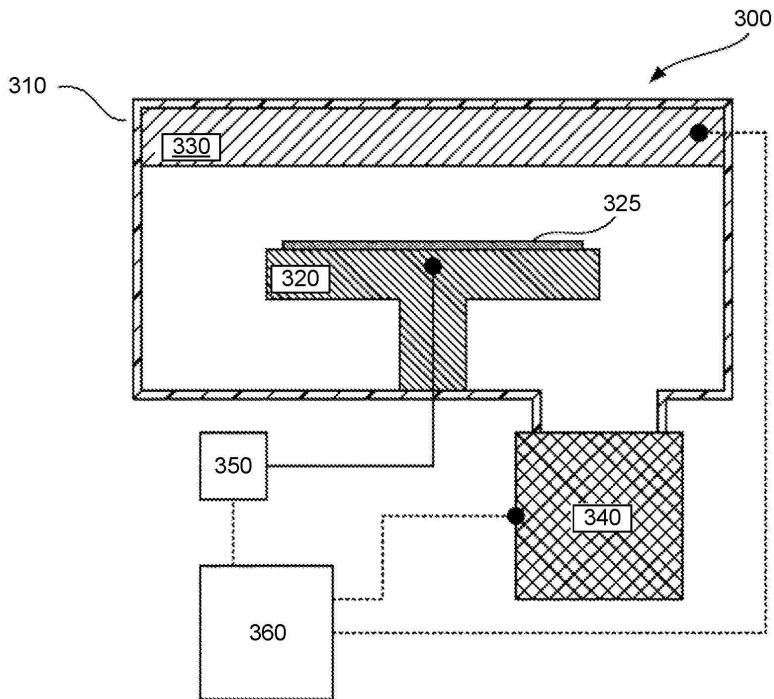
도면2



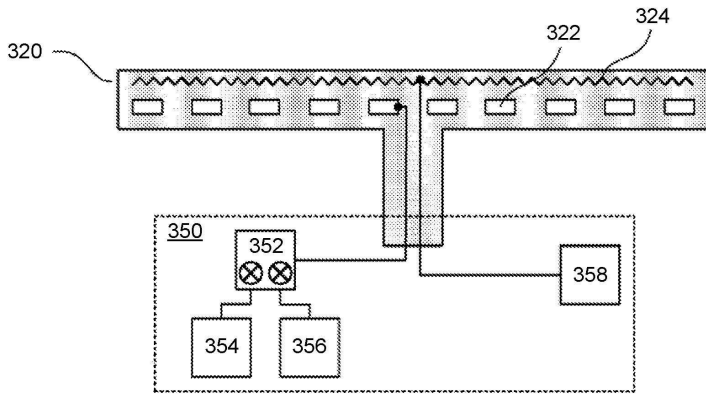
도면3



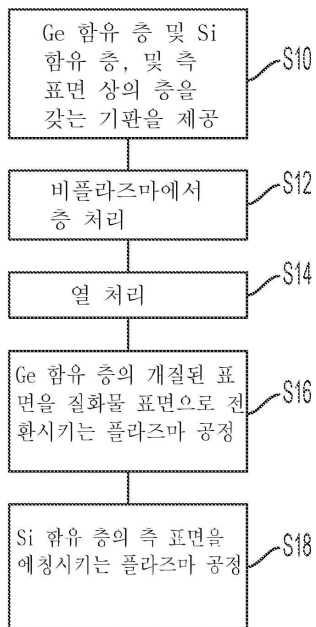
도면4



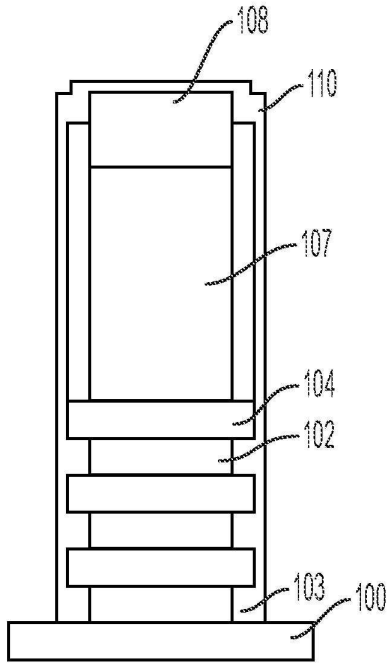
도면5



도면6



도면7a



도면7b

