



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2008년07월04일
(11) 등록번호 10-0843497
(24) 등록일자 2008년06월27일

(51) Int. Cl.

H01L 21/318 (2006.01) H01L 21/314 (2006.01)
H01L 21/8252 (2006.01) H01L 21/336 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-7004182

(22) 출원일자 2006년02월28일

심사청구일자 2006년09월18일

번역문제출일자 2006년02월28일

(65) 공개번호 10-2006-0126912

(43) 공개일자 2006년12월11일

(86) 국제출원번호 PCT/EP2004/052283

국제출원일자 2004년09월23일

(87) 국제공개번호 WO 2005/031809

국제공개일자 2005년04월07일

(30) 우선권주장

10/672,631 2003년09월27일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

IEEE Electron Device Letters, Vol.22, No.8,
pp387~389*

KR1020000008022 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

인터내셔널 비지네스 머신즈 코퍼레이션

미국 10504 뉴욕주 아몬크 뉴오차드 로드

(72) 발명자

고우세프, 에브제니

미국, 뉴욕 10541, 마호팩, 레이븐 로드 10

생, 윌링

미국, 뉴욕 10598, 요크타운 하이츠, 볼드윈로드
1870

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

윤여원, 허정훈

전체 청구항 수 : 총 10 항

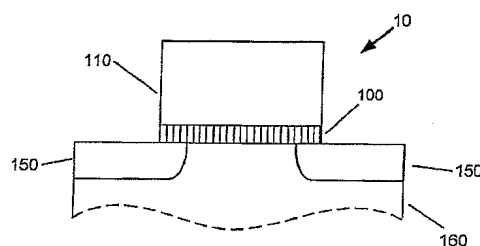
심사관 : 홍성의

(54) Ge 계 재료상에의 게르마늄 산질화물 층 제조

(57) 요약

게이트 유전체로 이용할 Ge계 재료 상에 6nm 이하의 얇은 등가 산화물 두께의 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법. 이 방법은 두 단계 프로세스와 관련된다. 먼저, 질소가 Ge계 재료의 표면층에 결합된다. 다음에, 질소 결합에 이어 산화 단계가 이어진다. 이 방법은 MOS 트랜지스터와 같은 Ge계 전계 효과 장치에 대해 두께 제어가 우수한 고품질의 게이트 유전체를 형성할 수 있다. 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 갖는 장치의 구조와 이 장치로 만들어진 프로세서가 또한 개시된다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

데믹, 크리스토퍼

미국, 뉴욕 10562, 오시닝, 맥카시 드라이브 16

코즐로우스키, 폴

미국, 뉴욕 12603, 포우프킵시, 세다 애비뉴 126

특허청구의 범위

청구항 1

게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법에 있어서:

Ge-계 재료의 기판을 제공하는 단계 - 상기 Ge-계 재료는 제1 표면을 가짐; 및

제1 단계를 수행하고 상기 제1 단계 이후에 제2 단계를 수행하는 것으로 이루어진 2개 스텝 공정을 수행하는 것을 포함하되,

상기 제1 단계는 상기 제1 표면 아래에 $1\text{E}14/\text{cm}^2$ 내지 $3\text{E}15/\text{cm}^2$ 의 표면 밀도를 가지는 제1 농도의 질소를 공급하는 공정으로 이루어지고,

상기 제2 단계는 상기 제1 표면을 산소 함유 분위기에 노출시켜 상기 Ge-계 재료를 산화시켜 게르마늄 산질화물 층을 성장시키는 공정으로 이루어지며,

상기 제1 농도는 상기 제2 단계 동안 상기 Ge-계 재료가 산화되는 속도를 조절하도록 선택되며, 상기 형성된 게르마늄 산질화물 층은 0.5nm 내지 5nm 의 등가 산화물 두께(EOT)를 갖는,

게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

청구항 4은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서, 상기 Ge-계 재료는 Ge를 포함하는, 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제1 단계는 열 조건 하에서 상기 제1 표면에 질소 함유 가스를 가하여 실행되는, 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

청구항 8은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서, 상기 제1 단계는 상기 제1 표면에 질소양을 이온 주입하여 실행되는, 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

청구항 12은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서, 상기 제1 단계는 상기 제1 표면에 질소 함유 플라즈마를 가하여 실행되는, 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 제2 단계는 열 조건 하에서 상기 제1 표면에 O_2 , O_3 , H_2O , NO , N_2O 및 이들 중의 조합으로 이루어진 그룹에서 선택된 종을 가하여 실행되는, 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법.

청구항 16

삭제

청구항 17

제1항에 있어서, 상기 제2 단계는 상기 제1 표면에 산소 함유 플라즈마를 가하여 실행되는, 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법.

청구항 18

삭제

청구항 19

제1항에 있어서, 상기 제1 단계 이전에 상기 제1 표면을 세정하는 단계를 더 포함하고, 상기 세정 단계는 산화 및 산화물 제거 주기(cycle) 중 적어도 하나의 어플리케이션을 포함하고, 상기 산화는 H_2O_2 함유 용액으로 실행되며, 상기 산화물 제거는 박리제로 실행되며, 상기 박리제는 HF , HCl 또는 이들의 혼합물인, 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법.

청구항 20

제1항에 있어서, 상기 제1 표면은 적어도 두 위치를 갖고 있고, 상기 제1 단계는 다른 제1 농도의 결합된 질소를 생성하도록 상기 적어도 두 위치에서 실행되고, 이에 의해 상기 적어도 두 위치상의 제조된 산질화물 층은 EOT가 다른, 게르마늄 산질화물 층 제조방법.

청구항 21

고성능의 Ge-계 전계 효과 장치를 제조하는 방법에 있어서,

상기 장치는 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 포함하고, 상기 게르마늄 산질화물 게이트 유전체의 제조는,

Ge-계 재료의 기판을 제공하는 단계 - 상기 Ge-계 재료는 제1 표면을 가짐;

제1 단계를 수행하고 상기 제1 단계 이후에 제2 단계를 수행하는 것으로 이루어진 2개 스텝 공정을 수행하는 것을 포함하되,

상기 제1 단계는 상기 제1 표면 아래에 $1E14/cm^2$ 내지 $3E15/cm^2$ 의 표면 밀도를 가지는 제1 농도의 질소를 공급하

는 공정으로 이루어지고,

상기 제2 단계는 상기 제1 표면을 산소 함유 분위기에 노출시켜 상기 Ge-계 재료를 산화시키고 게르마늄 산질화물 층을 성장시키는 공정으로 이루어지며,

상기 제1 농도는 상기 제2 단계 동안 상기 Ge-계 재료가 산화되는 속도를 조절하도록 선택되며, 상기 형성된 게르마늄 산질화물 층은 0.5nm 내지 5nm의 등가 산화물 두께(EOT)를 갖는,

고성능의 Ge-계 전계 효과 장치를 제조하는 방법.

청구항 22

청구항 22은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제21항에 있어서, 상기 고성능의 Ge-계 전계 효과 장치는 Ge MOS 트랜지스터인, 고성능의 Ge-계 전계 효과 장치를 제조하는 방법.

청구항 23

삭제

청구항 24

게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 가지는 Ge-계 전계 효과 장치에 있어서:

상기 게르마늄 산질화물 게이트 유전체는,

$1\text{E}14/\text{cm}^2$ 내지 $3\text{E}15/\text{cm}^2$ 의 집적된 표면 밀도인 질소 농도를 갖는 게르마늄 산질화물 층; 및

0.5 nm 내지 5nm의 등가 산화물 두께(EOT)를 포함하는,

Ge-계 전계 효과 장치.

청구항 25

삭제

청구항 26

제24항에 있어서, 상기 게르마늄 산질화물 게이트 유전체는 SiO_2 게이트 유전체 보다 전하 터널링에 대한 저항이 더 큰 반면, 상기 게르마늄 산질화물 게이트 유전체의 단위 면적 당 용량은 적어도 상기 SiO_2 게이트 유전체의 단위 면적 당 용량 만큼인, Ge-계 전계 효과 장치.

청구항 27

청구항 27은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제24항에 있어서, 상기 장치는 Ge MOS 트랜지스터인, Ge-계 전계 효과 장치.

청구항 28

고성능 프로세서에 있어서:

적어도 하나의 칩을 포함하고, 상기 칩은 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 갖는 적어도 하나의 Ge-계 전계 효과 장치를 포함하며, 상기 게르마늄 산질화물 게이트 유전체는 $1\text{E}14/\text{cm}^2$ 내지 $3\text{E}15/\text{cm}^2$ 의 집적된 표면 밀도의 질소 농도를 갖는 게르마늄 산질화물 층 및 0.5 nm 내지 5nm의 등가 산화물 두께(EOT)를 포함하는,

고성능 프로세서.

청구항 29

청구항 29은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항에 있어서, 상기 프로세서는 디지털 프로세서인, 고성능 프로세서.

청구항 30

청구항 30은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제28항에 있어서, 상기 프로세서는 적어도 하나의 아날로그 회로를 포함하는, 고성능 프로세서.

명세서

기술 분야

- <1> 본 발명은 전자 장치 및 시스템에 관한 것이다. 특히, Ge-계열 재료 (예를 들어, 얇은 게이트 유전체) 상에 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- <2> 오늘날의 집적 회로는 방대한 수의 소자를 포함한다. 소자들이 작아질수록 성능이 개선되고 신뢰성이 증진되게 된다. MOS (금속 산화물 반도체 전계 효과 트랜지스터, 일반적으로 절연 게이트 전계 효과 트랜지스터를 내포하는 이름) 장치는 크기가 계속 작아지고 있기 때문에, 기술이 더욱 복잡해지고 일 세대 소자에서 다음 세대로의 예상되는 성능 강화를 유지하기 위해서는 새로운 방법이 필요하다.
- <3> 게이트 유전체는 MOS 전계 효과 장치 스케일링의 주요 문제 중 하나이다. 이것은 종래의 실리콘 장치와 더욱 진보된 (예를 들어, SiGe, Ge) 장치 둘 다에 대해서도 마찬가지이다.
- <4> Ge계 장치에서, 이 상황은 아주 복잡하다. 용어 "Ge계"은 통상 SiGe 화합물을 말하는 것으로, 이 때 Ge 농도는 약 30-40% 이상이다. 용어 Ge계은 또한 주로 순 Ge 재료를 포함한다. 이제까지는 신뢰할만한 고품질의 게이트 유전체가 Ge계 재료에서는 발견되지 않았다. 게르마늄 산화물은 조악한 품질로 수용성이다. 이원 금속 산화물 (예를 들어, ZrO_2 , HfO_2)은 게이트 유전체로 이용될 때 ~40%의 전자 이동도의 하강을 보여주고 있다. 이제까지의 게르마늄 산질화물의 품질과 스케일링 전위는 SiO_2/Si 시스템보다 열등한 것으로 생각된다.
- <5> Ge계 장치는 특히 홀에 대해, 양호한 캐리어 이동성으로 인해 종래의 Si 계열 장치 보다 성능이 좋은 대안이 되고 있다. 이제 까지 개발되어 보고된 Ge 기판 상의 모든 게이트 절연체 중에서, 게르마늄 산질화물은 최상의 전위 성능을 보여준다. 그러나, Ge의 열 산화/산질화 속도는 Si의 것 보다 더 빠르다. 이것은 양호한 프로세스 제어로 및/또는 약 6nm 미만의 등가 산화물 두께 (EOT)로는 게르마늄 산질화물 박막을 성장하는 것을 어렵게 만든다. (본질적인 게이트 유전체 재료가 SiO_2 이기 때문에, 이 재료가 비교를 위한 표준을 제공한다. 게르마늄 산질화물의 유전 상수(약 6 내지 9)가 SiO_2 의 것과는 다르기 때문에, 두께가 고려되는 한 의미있는 값은 SiO_2 에서의 등가 두께이다. 이 등가는 용량을 말하는 것으로, 게르마늄 산질화물 층과 단위 면적당 동일한 용량을 갖는 SiO_2 층의 두께를 의미한다.)

발명의 상세한 설명

- <6> 제1 형태에 따르면, 제1 농도의 질소를 Ge계 재료의 제1 표면 아래에 표면층에 결합시키는 단계; 및 Ge계 재료의 제1 표면을 산소 함유 분위기에 노출시켜 산질화물 층의 성장을 유도하는 단계를 포함하고, 표면 층의 제1 농도의 질소는 산질화물 층의 성장을 조절하고 있는, Ge계 재료 상에 게르마늄 산질화물 층을 제조하는 방법을 제공하고 있다.
- <7> 바람직하게 이 제조된 산질화물 층은 약 6nm 미만의 등가 산화물 두께 (EOT)를 갖는다.
- <8> 바람직하게 제조된 산질화물 층은 0.5nm와 5nm 사이의 EOT를 갖는다.
- <9> 바람직하게, Ge계 재료는 주로 Ge로 이루어진다.
- <10> 일 실시예에서, 제1 농도의 질소를 결합시키는 단계는 열 조건 하에서 제1 표면에 질소 함유 가스를 가하여 실행된다.
- <11> 바람직하게, 질소 함유 가스는 NH_3 이다.

- <12> 바람직하게, 열 조건은 1초와 300초 사이 동안 적용되는 450℃와 700℃ 사이의 온도로 선택된다.
- <13> 일 실시예에서, 제1 농도의 질소를 결합시키는 단계는 제1 표면에 질소양을 이온 주입하여 실행된다.
- <14> 바람직하게, 질소양을 이온 주입하는 단계는 약 $1\text{E}15 \text{ per cm}^2$ 와 $2\text{E}16 \text{ per cm}^2$ 사이로 선택된다.
- <15> 바람직하게, 주입 에너지를 이온 주입하는 단계는 0.5KeV와 10keV 사이로 선택된다.
- <16> 바람직한 실시예에서, 이온 주입 단계는 스크린 층을 이용하여 실행된다.
- <17> 일 실시예에서, 제1 농도의 질소를 결합시키는 단계는 제1 표면에 질소 함유 플라즈마를 가하여 실행된다.
- <18> 바람직하게, 질소 함유 플라즈마는 약 실온과 500℃ 사이의 온도에서, 약 1초와 300초 사이의 시간 동안, 약 25W와 1000W 사이의 파워로 적용된다.
- <19> 바람직한 실시예에서, 제1 농도의 결합 질소의 통합 값은 약 $1\text{E}14 \text{ per cm}^2$ 와 $3\text{E}15 \text{ per cm}^2$ 사이이다.
- <20> 일 실시예에서, 산소 함유 분위기에 노출시키는 단계는 열 조건 하에서 제1 표면에 O_2 , O_3 , H_2O , NO , N_2O 및 이들 중의 조합으로 이루어진 그룹에서 선택된 종을 가하여 실행된다.
- <21> 바람직하게, 열 조건은 1분과 30분 사이 동안 적용된 500℃와 700℃ 사이의 온도로 선택된다.
- <22> 일 실시예에서, 산소 함유 분위기에 노출시키는 단계는 제1 표면에 산소 함유 플라즈마를 가하여 실행된다.
- <23> 바람직하게, 산소 함유 플라즈마는 약 실온과 500℃ 사이의 온도에서 약 1초와 300초 사이의 시간 동안, 약 25W와 1000W 사이의 파워로 적용된다.
- <24> 바람직한 실시예에서, 제1 표면은 제1 농도의 질소가 결합되기 이전에 세정된다. 이 실시예의 세정 단계는 산화 및 산화물 제거 주기 중 적어도 하나의 어플리케이션을 포함하고, 산화는 H_2O_2 함유 용액으로 실행되며, 산화물 제거는 박리제로 실행되며, 박리제는 HF, HCl 또는 이들의 혼합물이다.
- <25> 바람직한 실시예에서 제1 표면은 적어도 두 위치를 갖고 있고, 제1 농도의 질소를 결합시키는 단계는 다른 제1 농도의 결합된 질소를 생성하도록 적어도 두 위치에서 실행되고, 이에 의해 적어도 두 위치상의 제조된 게르마늄 산질화물 층은 EOT가 다르다.
- <26> 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 게르마늄 산질화물 박층을 조절 가능하게 성장시키는 문제에 대한 해결책을 제공한다. 제1 단계는 Ge계 재료의 제1 표면 아래의 표면층으로 제1 농도의 질소를 결합하는 것이다. 이 질소 영역은 바람직하게 제2 산화 단계에서 게르마늄 산화/산질화 속도를 조절하는 확산/반응 장벽으로 작용한다. 이런 조절로 통제 가능한 재생식으로 초박층 게르마늄 산질화물을 성장할 수가 있다. 얇은 게르마늄 산질화물 게이트 유전체는 Ge계 전계 효과 장치의 개선된 특성과 높은 성능을 가능하게 한다.
- <27> 본 발명의 방법은 두 개의 독립된 유전체 형성 조절을 제공한다. 먼저, 처음 단계는 Ge계 재료 기판의 표면/기판 영역 내로의 질소 결합을, 이에 따라 그 확산 장벽 "파워", 및 유전 상수를 정의하게 된다. 둘째로, 이어지는 산화 단계는 게르마늄 산질화막의 최종 두께를 조절한다.
- <28> 바람직한 실시예에 따르면, Ge계 재료 상에 6nm 이하, 바람직하게 5nm 이하의 EOT로 얇은 양호한 품질의 게르마늄 산질화물 절연체층을 제조하는 방법이 개시되어 있다.
- <29> 바람직한 실시예에 따르면, 게이트 유전체로 양호한 품질의 게르마늄 산질화물 절연체층을 함유하는 Ge계 전계 효과 장치를 제조하는 방법이 개시되어 있다.
- <30> 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, Ge계 재료 상에 6nm 이하의 EOT로 얇은 양호한 게르마늄 산질화물 게이트 절연체층을 갖는 Ge계 전계 효과 장치를 함유하는 칩을 포함하는 프로세서가 개시되어 있다.
- <31> 다른 형태에 따르면, 고성능의 Ge계 전계 효과 장치를 제조하는 방법이 개시되어 있으며, 이 장치는 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 포함하고, 게르마늄 산질화물 게이트 유전체의 제조는 제1 농도의 질소를 Ge계 재료의 제1 표면 아래의 표면층에 결합시키는 단계; 및 Ge계 재료의 제1 표면을 산소 함유 분위기에 노출시켜 산질화물 층의 성장을 유도하는 단계를 포함하고, 표면층의 제1 농도의 질소는 산질화물 층의 성장을 조절하고 있다.
- <32> 바람직하게, 고성능의 Ge계 전계 효과 장치는 Ge MOS 트랜지스터이다.

- <33> 바람직하게, 게르마늄 산질화물 게이트 유전체는 0.5nm와 5nm 사이의 EOT를 갖는다.
- <34> 다른 형태에 따르면, 6nm 미만의 EOT를 갖는 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 포함하는 Ge계 전계 효과 장치가 개시되어 있다.
- <35> 바람직하게, 게르마늄 산질화물 게이트 유전체는 0.5nm와 5nm 사이의 EOT를 갖는다.
- <36> 바람직한 실시예에서, 게르마늄 산질화물 게이트 유전체는 SiO₂ 게이트 유전체 보다 전하 터널링에 대한 저항이 더 큰 반면, 게르마늄 산질화물 게이트 유전체의 단위 면적 당 용량은 적어도 SiO₂ 게이트 유전체의 단위 면적 당 용량 만큼이다.
- <37> 바람직한 실시예에서, 장치는 Ge MOS 트랜지스터인 장치이다.
- <38> 다른 형태에 따르면, 적어도 하나의 칩을 포함하는 고성능 프로세서가 개시되어 있으며, 이 칩은 적어도 하나의 Ge계 전계 효과 장치를 포함하고, 장치는 6nm 미만의 EOT를 갖는 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 포함한다.
- <39> 바람직하게 프로세서는 디지털 프로세서이다.
- <40> 바람직한 실시예에서, 프로세서는 적어도 하나의 아날로그 회로를 포함한다.

실시예

- <48> 고성능의 Ge계 전계 효과 장치의 제조시 게이트 유전체의 제조 이전의 처리 단계는 공지되어 있다. 소자 분리, 도펀트 웰 형성 등의 이들 단계들은 바람직한 실시예의 단계를 시작하기 전에 완성되어 있다고 가정된다. 그러나, 게르마늄 산질화물 박층을 제조하기 위해 개시된 방법의 단계가 발생하기 전에, Ge계 재료, 일반적으로 웨이퍼의 제1 표면으로 언급되는 표면, 즉 게이트 유전체의 수용체가 될 것은 적당히 세정되어야 한다. 대표적 실시예에서, 이런 세정 단계는 이에만 제한되는 것은 아니지만, 산화 및 게르마늄 산화물 제거 중 적어도 하나의 주기를 포함할 수 있다. 산화는 H₂O₂ 용액에서 실행되는 것이 바람직한 반면, 산화물 제거는 HF, 또는 HCl 또는 이들의 조합으로 실행된다. 세정 단계 이후, 장치의 호스트인 Ge계 재료의 제1 표면은 제1 농도의 질소가 제1 표면 아래의 표면층에 결합되게 되는 단계의 준비가 되어 있다.
- <49> 도 1은 본 발명의 대표적 실시예의 질소 결합 단계를 나타낸다. 도 1A는 질소 결합이 Ge계 본체(160)의 제1 표면(5), 통상적으로 Ge계 재료 웨이퍼의 표면에 열이나 플라즈마 조건 하에서 질소 함유 가스를 가하여 실행된다. 대표적 실시예의 반응 질소 함유 가스는 NH₃이다. 다른 실시예에서, 이 질소 함유 가스는 또한 NO 또는 N₂O일 수 있다. 다른 대체 실시예에서는 가스 NH₃, NO 또는 NO 또는 N₂O의 여러 조합을 이용할 수 있다. 이들 모든 종류들은 적당한 분위기하에서 원자 질소원일 수 있다. 각 경우, 이들 활성 성분은 불활성 성분, 또는 N₂, Ar, He 등의 캐리어 가스와 혼합될 수 있다.
- <50> 이 화학적 질소 결합 단계에 대한 열 조건은 1초와 300초 사이 동안 적용되는 450℃와 700℃ 사이일 수 있다. 온도는 통상적으로 본 기술에서 잘 알려진 급속 열 어닐링 기술로 적용된다. 대표적 실시예에서 이 단계의 조건은 30초간 60℃에서 NH₃ 활성 가스일 수 있다. 조건에 따라서 최종 질화 박층(90)은 약 0.5nm와 1.5nm 사이의 두께이다. 이 층(90)은 제1 농도의 질소와 결합되며, 이 제1 농도는 약 1E14 per cm²와 3E15 per cm²사이의 표면 농도의 결합 질소를 제공하는 통합 값을 갖는다.
- <51> 질소 결합 단계는 또한 플라즈마 질화의 이용으로 실행될 수 있다. 이 경우, Ge계 표면 중 제1 표면은 저 에너지 질소 함유 플라즈마에 노출된다. 직접 플라즈마 모드에서 또는 원격 (하류측) 플라즈마 질화에 의해 행해질 수 있다. 플라즈마 파워는 약 25W-1000W 범위에서 변형될 수 있으며, 1sec와 300sec 사이의 노출이 바람직하다. 플라즈마 노출 동안의 샘플 온도는 약 실온 내지 500℃인 것이 바람직하다. N₂, NH₃ 및 N₂O 게이트는 N 소스로 플라즈마 리액터에 이용될 수 있다.
- <52> 도 1B는 질소 도스를 Ge계 재료체(160) 상의 제1 표면(5)으로 이온 주입(70)함으로써 실행되는 질소 결합 단계를 개략적으로 나타내고 있다. 주입 에너지는 통상 0.5KeV와 10keV 사이로 낮아야 한다. 이 방법에서는 N이 결국 층(90)의 제1 표면(5)에 가까이 위치되게 된다. 다르게, 이 저 주입 에너지를 이용하는 대신에, N이 박층(90)에 있는 것을 확실하게 하기 위해서, 이온 주입이 10nm 내지 30nm 사이의 얇은 스크린 층을 이용하여 실행될 수 있다. 이 스크린 기법은 공지되어 있다. 이 예시의 실시예에서 스크린 층은 예를 들어, SiO₂가 피착되고

그 후에 주입물이 화학적으로 제거될 수 있다. N의 주입량은 통상 약 $1E15$ per cm^2 와 $2E16$ per cm^2 사이일 수 있다.

- <53> 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라서, 농도가 핵반응 분석으로 측정되고 있기 때문에, N 결합 단계 실행 시 질소 결합 대 열 조건의 특성 플롯도를 나타낸다. 수직축 상에는 층(90)의 통합 농도가 30초 노출 동안 NH_3 가 반응 가스일 때의 반응 온도에 대해 나타나 있다.
- <54> 개별적으로, 질소 결합 단계가 제1 표면에 열 조건이나 플라즈마 조건 하에서 질소 함유 가스를 가하여, 또는 질소 결합 단계에서 유입된 질소량을 N 이온 주입하여 실행되는지는, 다음 산화 단계 동안의 산화률을 지배하게 된다. 질소가 더 많을수록 더 느린 재산화 동역학을 제공하는 경향이 있으므로 이에 따라 막도 더 얇아진다.
- <55> 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라서, 게르마늄 산질화물 박층의 제조를 완성하는 산화 단계를 나타낸다. 이것은 제1 표면(5)이 열 또는 플라즈마 조건하에서 산소 분위기에 노출됨에 따라 질소 함유층이 Ge 계 재료(160)의 산화 속도를 제어할 때에 바람직한 실시예의 제2 단계이다. 질소가 결합된 얇은 표면층(90)이 산질화물 층(100)의 제조를 조정하고 있는 반면, 층(90) 자체는 산질화물 층(100)으로 또한 변형된다.
- <56> 대표적 실시예에서의 산소 분위기는 이들이 원자 산소원일 수 있기 때문에, 반응종으로 O_2 , O_3 , H_2O , NO, N_2O 를 포함한다. 이들 가스의 조합을 또한 이용할 수 있다. 통상 반응 가스는 N_2 , Ar, He 등의 불활성 성분과 혼합될 수 있다. 산화 단계가 또한 N_2O , NO와 같은 질소 함유 가스에서 실행될 수 있는 것은 이들이 고온에서 분해되어 원자 산소를 방출하는 경향이 있다는 사실로 인한 것이다. 유사하게, 산화는 캐리어 불활성 가스에 혼합된 H_2O 증기를 이용하여 습식 산화에 의해 실행될 수 있다. 이 단계에서 열 분위기는 통상 1분과 30분 사이 동안 적용되는 $500^\circ C$ 와 $700^\circ C$ 사이의 온도이다. 산소 노출 단계가 종료된 후에, 게르마늄 산질화물 층은 게이트 유전체로서 준비되어 보통의 방법으로 다음의 장치 처리를 진행할 수 있다.
- <57> 산화 단계는 또한 플라즈마 산화를 이용하여 실행될 수 있다. 이 경우, 질소 함유층(90)을 아래 갖는 제1 표면(5)은 저에너지 산소 함유 플라즈마에 노출된다. 이것은 직접 플라즈마 모드에서 또는 원격(하류측) 플라즈마 산화에 의해 실행될 수 있다. 플라즈마 파워는 약 25W-1000W의 범위에서 변형될 수 있으며, 1sec와 300sec 사이의 노출이 바람직하다. 플라즈마 노출 동안의 샘플 온도는 약 실온에서 $500^\circ C$ 사이가 바람직하다. 동일한 산소 함유 종이 열 산화에서와 같이 이용될 수 있다.
- <58> 도 4는 질소 결합 단계가 5분간 $600^\circ C$ 에서 NH_3 노출과 관련될 때, 게르마늄 산질화물 박층(100)의 두께와 EOT 대 산소 분위기 노출 단계 조건의 플롯도를 나타낸다. 본질적 게이트 유전체 재료가 SiO_2 이기 때문에 이 재료가 표준적인 비교를 제공한다. 게르마늄 산질화물의 유전 상수는 SiO_2 의 것과 다르기 때문에, 게르마늄 산질화물 박층(100)의 두께를 제공할 뿐만 아니라, SiO_2 에서의 등가 두께를 제공하는 데에 유용하다. 등가의 의미는 단위 면적당 동일한 용량을 갖는 SiO_2 의 두께를 의미한다. 따라서 도 4에서 EOT 값은 표준 용량 대 전압 측정의 결과이다. 도 4는 게르마늄 산질화물의 두께가 얼마나 감도 좋게 조절될 수 있는지와 게르마늄 산질화물 층의 EOT가 산소 노출 단계 동안 열 부담을 조절함으로써 5nm 범위 아래에 새로이 조절되는 것을 나타낸다.
- <59> 따라서 본 발명은 바람직한 실시예에 따르면, 약 10nm 이하의 EOT를 갖는 게르마늄 산질화물 층을 제조할 수 있다. 고 성능의 장치에 대한 바람직한 게르마늄 산질화물 게이트 유전체의 범위는 6nm 이하의 EOT로, 바람직하게 0.5nm와 5nm 사이의 범위의 EOT를 갖는다.
- <60> Ge계 재료가 실제 주로 순 Ge일 때, (바람직한 실시예에 따른) 본 발명은 순 Ge 소자가 최상의 성능을 잠재적으로 낼 수 있기 때문에, 특히 중요하다.
- <61> 본 발명은 웨이퍼의 다른 부품에서 다른 양의 질소를 결합함으로써 동일한 웨이퍼 상의 다른 소자/어플리케이션에 대해 다수의, 예를 들어 이중 산질화물 유전체 두께를 성장시키기 위해서 추가로 프로세스 유연성을 제공할 수 있다. 제1 표면(5)은 적어도 두 개의 다른 위치를 가지며, 이 때 질소 결합 단계는 다르게 한 제1 농도의 결합된 질소를 산출하도록 하는 방법으로 실행된다. 따라서, 적어도 두 위치 상에서의 최종 산질화물 층은 결국 다른 EOT를 갖게 된다.
- <62> 도 5는 바람직하게 5nm 미만의 등가 산화물 두께를 갖는 게르마늄 산질화물 박층의 게이트 유전체(100)를 갖는 Ge계 전계 효과 장치(10)의 개략적 단면도를 나타낸다. 게이트 유전체(100)에서 게르마늄 산질화물은 절연체로, 도전 게이트(110)를 Ge계 본체(160)와 분리시킨다.

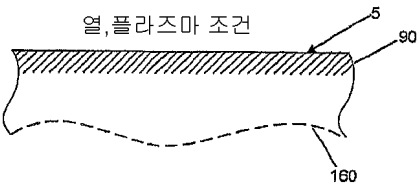
- <63> 일반적으로, 게르마늄 산질화물은 약 4 이상을 의미하는 고 유전 상수를 가지며, 이로 인해 게르마늄 산질화물이 높은 장벽을 갖는, 즉 전하 터널링에 대해 높은 저항성을 나타내게 된다. 게이트 유전체의 두께가 게이트-채널 용량을 증가시키기 위해 감소하고 있기 때문에, 게이트 유전체에 걸린 전하 터널링에 대한 저항성은 중요한 이슈가 된다. 표준 게이트 유전 재료 SiO_2 (3.9의 유전 상수)가 이런 문제를 갖는다. 게르마늄 산질화물의 유전 상수는 SiO_2 보다 더 크기 때문에, SiO_2 층으로 단위 면적 당 동일한 용량을 갖는 게르마늄 산질화물 층은 SiO_2 층 보다 더 두껍다. 터널링에 대한 저항이 층 두께에 지수적으로 변하기 때문에, 게르마늄 산질화물 층은 내 전하 투과성이 더 커지는 경향이 있다.
- <64> Ge계, 또는 대표적 실시예에서는 순 Ge 전계 효과 장치를 도시한 도 5는 모든 종류의 전계 효과 장치를 나타내도록 하기 위해 거의 부호적으로 나타내었다. 이런 장치의 공통 분모는 장치 전류가 절연체, 소위 게이트 유전체(100)를 통한 전계로 작용하는 게이트에 의해 조절된다는 것이다. 따라서, 모든 전계 효과 장치는 (적어도 하나의) 게이트 및 게이트 절연체를 갖는다.
- <65> 도 5는 소스/드레인 영역(150), 장치 본체(160)를 갖는 MOS 전계 효과 장치를 개략적으로 나타낸다. 이 본체는 도 5에서 나타난 바와 같이, 벌크일 수 있거나, 절연체 상의 박막일 수 있다. 채널은 이중 게이트형이거나 FINFET 장치 상에서 단일이거나 복수의 것일 수 있다. 장치의 기본 재료는 광범위할 수 있다. 본체는 Ge 화합물일 수 있거나 주로 순 Ge로 이루어질 수 있다.
- <66> 대표적 실시예에서, Ge계 전계 효과 장치는 Ge MOS이다. 다른 대표적 실시예에서 Ge계 전계 효과 장치는 바람직하게 0.5nm와 5nm 사이의 EOT 범위를 갖는 게르마늄 산질화물 층 게이트 유전체를 갖는다.
- <67> 도 6은 5nm 미만의 EOT를 갖는 얇은 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 갖는 Ge계 전계 효과 장치(10)를 포함하는 적어도 하나의 칩(901)을 함유하는 고성능 프로세서(900)의 부호도를 나타낸다. 프로세서(900)는 게르마늄 산질화물 게이트 유전체 Ge계 전계 효과 장치로 이득을 얻을 수 있는 프로세서이다. 이들 장치는 하나 이상의 칩(901) 상에서 프로세서의 부품을 다수 개로 형성할 수 있다. 얇은 게르마늄 산질화물 게이트 유전체 Ge계 전계 효과 장치로 제조된 프로세서의 대표적 실시예는 보통 컴퓨터의 중앙 처리 컴플렉스; 게르마늄 산질화물 게이트 유전 전계 효과 장치에서 캐리어의 고 이동도로 이득을 얻는 디지털/아날로그 혼합 프로세서 디지털 프로세서; 및 프로세서, 라우터, 레이더 시스템, 고성능 화상 전화, 게임 모듈 등과 같은 모든 통신 프로세서에서 볼 수 있는 디지털 프로세서이다.
- <68> 본 발명의 많은 변형 및 수정들은 상기 개시한 것에 비추어 보면 가능하며 본 기술의 당업자에게는 명백할 수 있다. 본 발명의 영역은 첨부한 청구범위로 정의된다.

도면의 간단한 설명

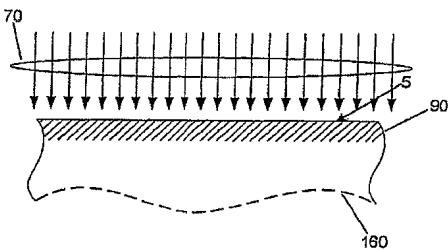
- <41> 본 발명의 바람직한 실시예는 오직 예시로서, 다음 도면을 참조하여 이하 기재될 것이다.
- <42> 도 1은 대표적 실시예의 본 방법의 질소 결합 단계를 나타낸다.
- <43> 도 2는 바람직한 실시예에 따라서 질소 결합 단계의 실행시 질소 결합 대 열 조건의 플롯도를 나타내는 도면이다.
- <44> 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라서, 게르마늄 산질화물 박층의 제조를 완성하는 산화 단계를 나타내는 도면이다.
- <45> 도 4는 게르마늄 산질화물 박층의 두께와 EOT 대 산소 분위기 노출 단계 조건의 플롯도를 나타내는 도면이다.
- <46> 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따라서, 얇은 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 갖는 Ge계 전계 효과 장치의 개략적 단면도를 나타낸다.
- <47> 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따라서, 얇은 게르마늄 산질화물 게이트 유전체를 갖는 Ge계 전계 효과 장치를 포함하는 적어도 하나의 칩을 함유하는 고성능의 프로세서의 부호도를 나타낸다.

도면

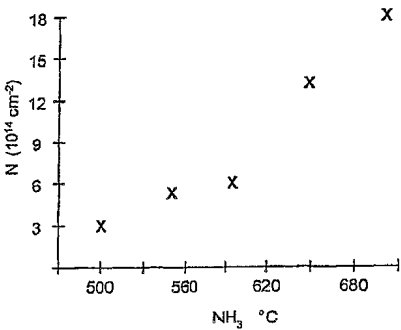
도면1A



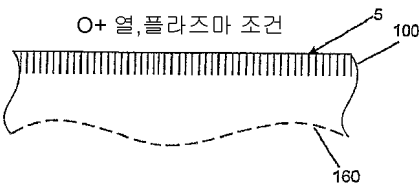
도면1B



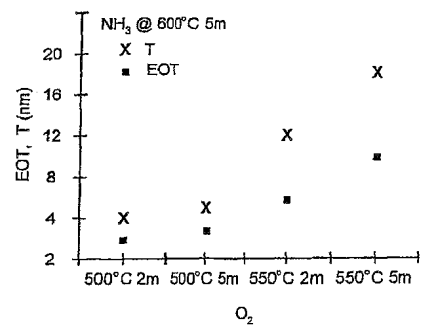
도면2



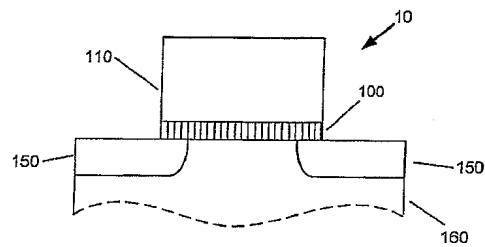
도면3



도면4



도면5



도면6

