



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0044728
(43) 공개일자 2020년04월29일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>C30B 29/36</i> (2006.01) <i>C30B 23/02</i> (2006.01)
 <i>C30B 33/02</i> (2006.01) <i>C30B 35/00</i> (2006.01)
 <i>H01L 21/02</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>C30B 29/36</i> (2013.01)
 <i>C30B 23/02</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2019-7037935
 (22) 출원일자(국제) 2018년12월26일
 심사청구일자 2019년12월23일
 (85) 번역문제출일자 2019년12월23일
 (86) 국제출원번호 PCT/CN2018/123707
 (87) 국제공개번호 WO 2020/077846
 국제공개일자 2020년04월23일</p> <p>(30) 우선권주장
 201811204690.7 2018년10월16일 중국(CN)
 201811204702.6 2018년10월16일 중국(CN)</p> | <p>(71) 출원인
 에스아이씨씨 컴퍼니 리미티드
 중국 250118 산둥성 지난시 화이인 디스트릭트 티엔위에 사우스 로드 99번지</p> <p>(72) 발명자
 가오 차오
 중국 250118 산둥성 지난시 화이인 디스트릭트 티엔위에 사우스 로드 99번지
 리우 지아펑
 중국 250118 산둥성 지난시 화이인 디스트릭트 티엔위에 사우스 로드 99번지
 (뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
 특허법인 신태양</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 25 항

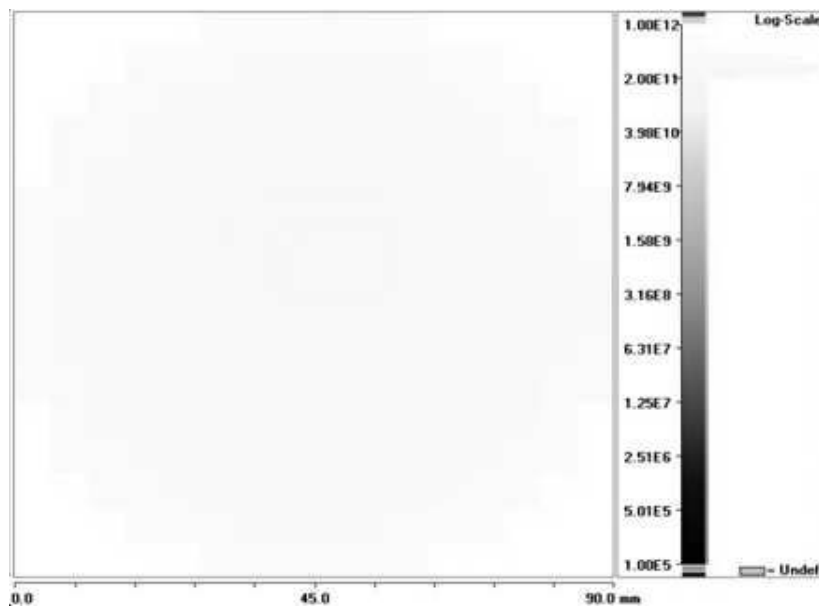
(54) 발명의 명칭 **소량의 바나듐이 도핑된 반절연 탄화규소 단결정, 기판, 제조 방법**

(57) 요약

본 출원은 소량의 바나듐이 도핑된 반절연 탄화규소 단결정, 기판, 제조 방법을 공개하며, 반도체 재료 분야에 속한다. 당해 반절연 탄화규소 단결정은, 얇은 에너지 준위 불순물, 저농도 깊은 에너지 준위 도핑제 및 극소량의 고유점 결함을 포함하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제와 상기 고유점 결함은 함께 얇은 에너지 준위 불순물

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



을 보상하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 도핑된 반절연 탄화규소 단결정 중의 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도보다 낮으며, 상기 고유점 결함의 농도는 실온에서의 탄화규소 단결정 중의 고유점 결함의 초기 농도이고, 상기 고유점 결함의 농도는 탄화규소 단결정의 전기적 성능의 안정성에 영향을 주지 않는다. 당해 반절연 탄화규소 단결정은 매우 안정적인 저항률을 가지고, 또한 높은 저항률 균일성을 가진다. 당해 탄화규소 단결정으로 제조된 탄화규소 단결정 기판은 높은 저항률 균일성, 낮은 응력을 가지어, 탄화규소 단결정 기판으로 하여금 우수한 표면품질을 가지므로, 후속의 에피택시얼 품질의 안정성과 일치성을 보장한다.

(52) CPC특허분류

C30B 33/02 (2013.01)

C30B 35/002 (2013.01)

H01L 21/02529 (2013.01)

(72) 발명자

리 지아린

중국 250118 산둥성 지난시 화이인 디스트릭트 티엔위에 사우스 로드 99번지

리 창진

중국 250118 산둥성 지난시 화이인 디스트릭트 티엔위에 사우스 로드 99번지

바이 웬웬

중국 250118 산둥성 지난시 화이인 디스트릭트 티엔위에 사우스 로드 99번지

쥔 안민

중국 250118 산둥성 지난시 화이인 디스트릭트 티엔위에 사우스 로드 99번지

명세서

청구범위

청구항 1

소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정에 있어서,
얇은 에너지 준위 불순물, 저농도 깊은 에너지 준위 도핑제 및 극소량의 고유점 결함을 포함하고,
상기 깊은 에너지 준위 도핑제와 상기 고유점 결함은 함께 얇은 에너지 준위 불순물을 보상하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 도핑된 반절연 탄화규소 단결정 중의 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도보다 낮으며,
상기 고유점 결함의 농도는 실온에서의 탄화규소 단결정 중의 고유점 결함의 초기 농도이고, 상기 고유점 결함의 농도는 탄화규소 단결정의 전기적 성능의 안정성에 영향을 주지 않는 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 미만이고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 미만이며, 상기 고유점 결함의 농도는 실온에서 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하지 않는 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 얇은 에너지 준위 불순물의 합은 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 보다 낮지 않고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 보다 낮지 않으며, 상기 고유점 결함의 농도는 실온에서 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하지 않는 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 보다 낮지 않은 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 5

제4항에 있어서,
상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 보다 낮지 않은 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 얇은 에너지 준위 불순물은, 원소주기율표의 IIIA 및 VA 주족 원소를 한 종류 이상 포함하는 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 깊은 에너지 준위 도핑제는, 원소주기율표의 VB족 중의 적어도 한 종류로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 깊은 에너지 준위 도핑제는 바나듐인 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 탄화규소 단결정의 결정 형태는 4H-SiC, 6H-SiC 또는 3C-SiC인 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 반절연 탄화규소 단결정은,

- 1) 열장 장치에 의한 불순물 제거: 흑연 보온 구조와 흑연 도가니에 대해 고온 정제를 진행하는 단계;
- 2) 재료 혼합: 깊은 에너지 준위 도핑제 원소를 탄화규소 분말 중에 도핑시키고, 탄화규소 분말 중의 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도가 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 단계;
- 3) 결정 성장: 단계2)에서 획득한 깊은 에너지 준위 도핑제 원소가 도핑된 탄화규소 분말을, 단계1)에서 처리된 흑연 도가니에 넣은 후, 결정이 성장하기 시작하고, 결정 성장 완료 후의 깊은 에너지 준위 도핑 중심 원소의 농도가 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 단계; 및
- 4) 어닐링: 단계3)에서 처리한 탄화규소 단결정에 대해 어닐링 처리를 진행하는 단계;를 포함하는 방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 11

반절연 탄화규소 단결정 기판에 있어서,

제1항 내지 제10항 중의 어느 한 항의 반절연 탄화규소 단결정에 의해 제조되는 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정 기판.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 탄화규소 단결정 기판에 대한 에피택시얼 프로세스 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 55% 미만이고,

바람직하게는, 상기 탄화규소 단결정 기판에 대한 900-1200℃ 온도에서의 0.5-10h 유지 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 55% 미만이며,

더욱 바람직하게는, 상기 탄화규소 단결정 기판에 대한 900-1200℃ 온도에서의 0.5-10h 유지 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 50% 미만인 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정 기판.

청구항 13

제11항 또는 제12항의 반절연 탄화규소 단결정 기판을 포함하는 것을 특징으로 하는 에피택시얼 웨이퍼 및/또는 트랜지스터.

청구항 14

소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정의 제조 방법에 있어서,

- 1) 열장 장치에 의해 불순물을 제거하는 단계;
- 2) 재료 혼합: 일정한 량의 깊은 에너지 준위 도핑제를 탄화규소 분말 중에 도핑하는 단계;
- 3) 결정 성장: 단계2)에서 획득한 깊은 에너지 준위 도핑제가 도핑된 탄화규소 분말을 단계1)에서 처리된 열장 장치에 넣은 후, 결정이 성장하기 시작하고, 결정 성장 완료 후의 깊은 에너지 준위 도핑 중심 원소의 농도가 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 단계; 및
- 4) 어닐링: 단계3)에서 처리한 탄화규소 단결정 초기제품에 대해 어닐링 처리를 진행하여, 상기 반절연 탄화규소 단결정을 획득하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 반절연 탄화규소 단결정은, 얇은 에너지 준위 불순물, 깊은 에너지 준위 도핑제 및 소량의 고유점 결함을 포함하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제와 상기 고유점 결함은 함께 얇은 에너지 준위 불순물을 보상하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 도핑된 반절연 탄화규소 단결정 중의 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도보다 낮으며, 상기 고유점 결함의 농도는 실온에서 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하지 않으며, 탄화규소 결정의 전기적 성능의 안정성에 영향을 주지 않는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 미만이고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 미만이며, 상기 고유점 결함의 농도는 실온에서 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하지 않으며,

바람직하게는, 상기 얇은 에너지 준위 불순물은, 원소주기율표의 IIIA 및 VA 주족 원소를 한 종류 이상 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 깊은 에너지 준위 도핑제는 원소주기율표의 VB족 중의 적어도 한 종류로부터 선택되고, 바람직하게는, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제는 바나듐인 것을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 18

제14항에 있어서,

상기 열장 장치는, 흑연 보온 구조와 흑연 도가니를 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 19

제14항에 있어서,

상기 단계1)의 열장 장치에 의해 불순물을 제거하는 것은, 탄화규소 분말을 흑연 도가니에 넣은 후, 온도 1800~2500℃ 및 압력 5~50mbar에서 20~100h 유지하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 20

제14항에 있어서,

상기 단계2)의 재료 혼합 중의 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도가 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 것을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 21

제14항에 있어서,

상기 단계3) 중의 결정 성장 단계는, 고온 전처리 단계와 결정 성장 단계를 포함하고,

상기 고온 전처리 단계는, 온도 1800℃-2000℃ 및 압력 800-900mbar에서의 유지시간 30-50h를 포함하며,

상기 결정 성장 단계의 조건은, 10-30℃/min의 속도로 2200℃ 이상의 온도까지 상승시킴과 동시에, 압력을 5-50mbar까지 하강시키는 것임을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 22

제14항에 있어서,

상기 단계4)의 어닐링 처리 조건은, 단계3)에서 획득한 탄화규소 단결정 초기제품을 어닐링 노 중에 넣고, 1800-2200℃ 온도에서 10-50h 유지하는 것임을 특징으로 하는 제조 방법.

청구항 23

제14항 내지 제22항 중 어느 한 항의 제조 방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 하는 소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정.

청구항 24

소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정 기판의 제조 방법에 있어서,

제23항의 소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정에 대해 절단, 연마 및 폴리싱을 진행하여, 상기 반절연 탄화규소 단결정 기판을 획득하는 것

을 특징으로 하는 소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정 기판의 제조 방법.

청구항 25

제23항의 반절연 탄화규소 단결정 및/또는 제10항의 제조 방법에 의해 획득한 반절연 탄화규소 단결정 기판이, 에피택시얼 웨이퍼 및/또는 트랜지스터 제조 중에서의 응용.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정, 기판 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 반도체 재료 분야에 속한다.

배경 기술

[0002] 반절연 탄화규소(SiC) 단결정 기판은 금지 대역폭이 크고, 저항률 및 열전도율이 높으며, 절연과파 전계 강도가 큰 등 우수한 물리적 특성을 가지고 있기에, GaN 기반의 고주파 마이크로파 디바이스를 제조하는 데 바람직한 반도체 재료이다. 5G 기술의 지속적인 발전에 따라, 반절연 탄화규소 단결정 기판에 대한 수요 수량이 시장에서 부단히 확대하고 있으며, 더욱 중요한 것은, 대량 상용화의 응용은 탄화규소 반절연 단결정 기판의 품질 요구에 대해 더욱 높은 요구를 부여하고 있다.

[0003] 현재 공업화된 반절연 탄화규소 단결정 제조는, 물리 기상법(PVT)을 토대로, 고농도의 바나듐 불순물을 도입하여 깊은 에너지 준위 보상 중심으로 함으로써 반절연 특성을 실현하고, 이와 같이 제조된 탄화규소 단결정을 도핑된 반절연 탄화규소 단결정이라 지칭한다. 또는, 결정 제조 과정에 있어서, 결정 중의 얇은 에너지 준위 불순물 농도를 부단히 감소시키고 일정한 량의 고유점 결함을 도입하여 그 반절연 특성을 실현하며, 이와 같이 제조된 탄화규소 단결정을 고순도 반절연 탄화규소 단결정이라 지칭한다.

[0004] 도핑된 반절연 탄화규소 단결정은 제조 과정에 고농도의 바나듐이 도입되기에, 결정 중에 바나듐의 침전물을 형성하기 쉽고, 미소관 결함을 유발하며, 결정의 품질을 감소시킨다. 더 나아가, 연구에 따르면, 고농도의 바나듐은, 디바이스의 전자 포획 중심으로서, 백게이트 효과를 일으키고, 디바이스 성능을 감소시키거나 파괴한다. 따라서, 기판 제조 기술 및 디바이스 제조 기술의 발전에 따라, 고순도 반절연 탄화규소 단결정 기판은 점차 주류로 되었다. 고순도 반절연 탄화규소 단결정 중 비교적 적은 얇은 에너지 준위 불순물은, 결정 중의 유효 캐리어

농도를 감소시키고, 이와 동시에 도입된 특정 수량의 고유점 결함에 의해 페르미 레벨 피닝을 금지대 중심에 고정시킴으로써, 결정의 반절연 특성을 실현한다. 하지만, 고유점 결함은 결정 중에 비교적 높은 이동 속도를 갖고, 일정한 온도(예를 들어 GaN 에피택시얼 층 제조 온도 조건)에서 이동 확산이 발생하여 소멸되며, 이는 기판 저항물의 불안정성을 야기하고, 또한 디바이스 성능의 안정성에 영향을 준다.

[0005] 도핑된 반절연 탄화규소 단결정 중, 바나듐 농도[V]는 일반적으로 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 이고, 상응한 질소 농도[N]는 10^{17} cm^{-3} 수량급보다 높으며, 그 제조 과정 중의 고농도 바나듐 도핑은 비교적 높은 기술적 장벽을 가지며, 또한 결정 제조 중, 대량의 결함을 함유하고 제어 불가능한 얇은 에너지 준위 불순물 농도를 형성하기 쉽기에, 결정 품질의 제어 불가능을 초래한다. 고순도 반절연 탄화규소 단결정 중, [N]는 10^{15} cm^{-3} 수량급이고, 상응한 점 결함의 농도는 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 수량급 및 그 이상이며, 그 제조 과정 중의 질소 등 얇은 에너지 준위 불순물 농도의 제거는 비교적 높은 기술 비용 및 자금 비용을 필요로 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 출원은 고품질 경도핑된 반절연 탄화규소 단결정, 기판, 제조 방법을 제공하는 바, 당해 반절연 탄화규소 단결정은 저항률이 더욱 안정적이고, 고농도 도핑으로 인한 침전물 결함과 전자 포획 문제가 존재하지 않는다. 당해 탄화규소 단결정으로 제조된 탄화규소 단결정 기판은 높은 저항률 균일성, 낮은 응력을 가지어, 탄화규소 단결정 기판으로 하여금 우수한 우수한 표면품질을 가지므로, 후속의 에피택시얼 품질의 안정성과 일치성을 보장하고, 당해 탄화규소 단결정 기판은 디바이스 성능의 개선에 기여한다.

과제의 해결 수단

[0007] 일 양태에 있어서, 본 출원은, 얇은 에너지 준위 불순물, 저농도 깊은 에너지 준위 도핑제 및 극소량의 고유점 결함을 포함하고,

[0008] 상기 깊은 에너지 준위 도핑제와 상기 고유점 결함은 함께 얇은 에너지 준위 불순물을 보상하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 도핑된 반절연 탄화규소 단결정 중의 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도보다 낮으며,

[0009] 상기 고유점 결함의 농도는 실온에서의 탄화규소 단결정 중의 고유점 결함의 초기 농도(Primary concentration)이고, 상기 고유점 결함의 농도는 탄화규소 단결정의 전기적 성능의 안정성에 영향을 주지 않는것을 특징으로 하는 소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정을 제공한다.

[0010] 본 출원 중의 상기 고유점 결함의 초기 농도는, 탄화규소 단결정을 성장시키는 과정 중 자기 가열에 의해 형성된 고유점 결함의 농도인 바, 탄화규소 단결정의 후속 처리에서 도입되는 고유점 결함의 농도는 포함하지 않는다.

[0011] 본 출원 중의 상기 도핑된 반절연 탄화규소 단결정 중 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 일반적으로 $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 이다.

[0012] 옵션으로서, 상기 탄화규소 단결정은 탄화규소 결정 중의 얇은 에너지 준위 불순물을 감소시킴과 동시에 소량의 깊은 에너지 준위 도핑제를 도입하여 탄화규소 단결정 중의 고유점 결함을 대체함으로써, 그 반절연 특성을 실현한다.

[0013] 옵션으로서, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 미만이고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 미만이며, 상기 고유점 결함의 실온에서의 농도는 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 를 초과하지 않는다. 더 나아가, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 미만이고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 미만이며, 상기 고유점 결함의 실온에서의 농도는 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 를 초과한다.

[0014] 옵션으로서, 상기 고유점 결함의 실온에서의 농도는 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하지 않는다. 더 나아가, 상기 고유점 결함의 실온에서의 농도는 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과한다.

- [0015] 옵션으로서, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 보다 낮지 않고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 보다 낮지 않으며, 상기 고유점 결합의 실온에서의 농도는 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하지 않는다. 더 나아가, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하며, 상기 고유점 결합의 실온에서의 농도는 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 미만이다.
- [0016] 옵션으로서, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $5 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이며, 상기 고유점 결합의 실온에서의 농도는 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하지 않는다. 더 나아가, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하고, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $5 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이며, 상기 고유점 결합의 실온에서의 농도는 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 미만이다.
- [0017] 바람직하게는, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 보다 낮지 않다. 더 나아가, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과한다.
- [0018] 더욱 바람직하게는, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 보다 낮지 않다. 더 나아가, 상기 얇은 에너지 준위 불순물의 농도의 합은 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과한다.
- [0019] 바람직하게는, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도는 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 이다.
- [0020] 바람직하게는, 상기 고유점 결합의 농도는 실온에서의 고유 농도를 초과하지 않는다.
- [0021] 바람직하게는, 상기 고유점 결합의 농도는 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 을 초과하지 않는다. 더 나아가, 상기 고유점 결합의 농도는 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 미만이다.
- [0022] 옵션으로서, 상기 탄화규소 단결정에 대한 에피택시얼 어닐링 프로세스 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 55% 미만이다.
- [0023] 옵션으로서, 상기 탄화규소 단결정에 의해 단결정 기판을 제조할 수 있으며, 에피택시얼 프로세스 어닐링은, 900-1200℃ 온도에서 0.5-10h 유지하는 것을 포함한다.
- [0024] 옵션으로서, 상기 탄화규소 단결정에 대한 900-1200℃ 온도에서의 0.5-10h 유지 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 55% 미만이다.
- [0025] 바람직하게는, 상기 탄화규소 단결정에 대한 900-1200℃ 온도에서의 0.5-10h 유지 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 55% 미만이다. 더 나아가, 상기 탄화규소 단결정에 대한 900-1200℃ 온도에서의 0.5-10h 유지 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 30% 미만이다.
- [0026] 옵션으로서, 상기 얇은 에너지 준위 불순물은, 원소주기율표의 IIIA 및 VA 주족 원소를 한 종류 이상 포함한다.
- [0027] 옵션으로서, 상기 얇은 에너지 준위 불순물은, 질소, 붕소 및 알루미늄을 한 종류 이상 포함한다.
- [0028] 바람직하게는, 상기 얇은 에너지 준위 불순물은, 질소, 붕소 및 알루미늄을 포함한다.
- [0029] 옵션으로서, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제는, 원소주기율표의 VB족 중의 적어도 한 종류로부터 선택된다.
- [0030] 바람직하게는, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제는 바나듐이다.
- [0031] 옵션으로서, 상기 탄화규소 결정의 결정 형태는 4H-SiC, 6H-SiC 또는 3C-SiC이다. 더 나아가, 상기 탄화규소 단결정의 결정 형태는 4H-SiC이다.
- [0032] 옵션으로서, 상기 탄화규소 결정의 저항률은 $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 을 초과하고, 더 나아가, 상기 탄화규소 결정의 저항률은 $3 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 을 초과하며, 더 나아가, 상기 탄화규소 결정의 저항률은 $6 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 을 초과한다.
- [0033] 본 출원의 다른 양태에 따르면,
- [0034] 1) 열장 장치에 의해 불순물을 제거하는 단계;

- [0035] 2) 재료 혼합: 깊은 에너지 준위 도핑제를 탄화규소 분말 중에 도핑하는 단계;
- [0036] 3) 결정 성장: 단계2)에서 획득한 깊은 에너지 준위 도핑제가 도핑된 탄화규소 분말을 단계1)에서 처리된 열장 장치에 넣은 후, 결정이 성장하기 시작하고, 결정 성장 완료 후의 깊은 에너지 준위 도핑 중심 원소의 농도가 $5 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 단계; 및
- [0037] 4) 어닐링: 단계3)에서 처리한 탄화규소 단결정 초기제품에 대해 어닐링 처리를 진행하여, 상기 반절연 탄화규소 단결정을 획득하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정의 제조 방법을 제공한다.
- [0038] 옵션으로서, 상기 반절연 탄화규소 단결정은,
- [0039] 1) 열장 장치에 의한 불순물 제거: 흑연 보온 구조와 흑연 도가니에 대해 고온 정제를 진행하는 단계;
- [0040] 2) 재료 혼합: 깊은 에너지 준위 도핑제 원소를 탄화규소 분말 중에 도핑시키고, 탄화규소 분말 중의 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도가 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 단계;
- [0041] 3) 결정 성장: 단계2)에서 획득한 깊은 에너지 준위 도핑제 원소가 도핑된 탄화규소 분말을, 단계 1)에서 처리된 흑연 도가니에 넣은 후, 결정이 성장하기 시작하고, 결정 성장 완료 후의 깊은 에너지 준위 도핑 중심 원소의 농도가 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 단계; 및
- [0042] 4) 어닐링: 단계3)에서 처리한 탄화규소 단결정에 대해 어닐링 처리를 진행하는 단계;를 포함한 방법에 의해 제조된다.
- [0043] 바람직하게는, 상기 결정 성장 단계는 고온 전처리 단계와 결정 성장 단계를 포함한다.
- [0044] 상기 깊은 에너지 준위 도핑제 원소는, 원소주기율표의 VB족 중의 적어도 한 종류로부터 선택된다.
- [0045] 바람직하게는, 상기 깊은 에너지 준위 도핑제는 바나듐이다.
- [0046] 옵션으로서, 상기 열장 장치는 흑연 보온 구조와 흑연 도가니를 포함한다. 더 나아가, 상기 흑연 보온 구조는 흑연 보온 펠트이다.
- [0047] 바람직하게는, 상기 단계1)의 열장 장치에 의해 불순물을 제거하는 것은, 탄화규소 분말을 흑연 도가니에 넣은 후, 온도 1800~2500℃ 및 압력 5~50mbar에서 20~100h 유지하는 것을 포함한다. 더 나아가, 상기 단계1)의 열장 장치에 의해 불순물을 제거하는 것은, 탄화규소 분말을 흑연 도가니에 넣은 후, 온도 2200~2400℃, 압력 20~30mbar에서 50~100h 유지하는 것을 포함한다.
- [0048] 옵션으로서, 상기 단계2)의 재료 혼합 중의 깊은 에너지 준위 도핑제 원소의 농도가 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이다. 더 나아가, 상기 단계2)의 재료 혼합 중의 깊은 에너지 준위 도핑제 원소의 농도가 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 이다.
- [0049] 옵션으로서, 상기 단계3) 중의 결정 성장 단계는, 고온 전처리 단계와 결정 성장 단계를 포함한다.
- [0050] 상기 고온 전처리 단계의 조건은, 온도 1200℃~2000℃ 및 압력 800~1000mbar에서의 유지시간 5~50h이며,
- [0051] 상기 결정 성장 단계의 조건은, 10~50℃/mi의 속도로 2200℃ 이상의 온도까지 상승시킴과 동시에, 압력을 5~50mbar까지 하강시키는 것이다. 당해 결정 성장 단계 방법은, 흑연 도가니 내의 탄화규소 분말로 하여금 충분히 승화되도록 한다.
- [0052] 또한, 상기 단계3) 중의 결정 성장 단계는, 고온 전처리 단계와 결정 성장 단계를 포함한다.
- [0053] 상기 고온 전처리 단계의 조건은, 온도 1800℃~2000℃ 및 압력 800~900mbar에서의 유지시간 30~50h이다.
- [0054] 상기 결정 성장 단계의 조건은, 10~30℃/min의 속도로 2200℃ 이상의 온도까지 상승시킴과 동시에, 압력을 5~50mbar까지 하강시키는 것이다.
- [0055] 옵션으로서, 상기 단계4)의 어닐링 처리 조건은, 단계3)의 탄화규소 단결정 초기제품을 어닐링 노 중에 넣고, 1800~2200℃ 온도에서 10~50h 유지하는 것이다. 더 나아가, 상기 단계4)의 어닐링 처리 조건은, 단계3)의 탄화규소 단결정 초기제품을 어닐링 노 중에 넣고, 2000~2200℃ 온도에서 30~50h 유지하는 것이다.
- [0056] 일 실시형태로서, 상기 반절연 탄화규소 단결정은, 이하의 단계를 포함한 방법에 의해 제조된다.

- [0057] (1) 탄화규소 단결정의 결정 성장에 사용된 흑연 보온 펠트와 흑연 도가니에 대해 고온 정제를 진행한다. 흑연 도가니 내에 탄화규소 분말을 넣고, 분말의 입자 크기를 50-500um로 제어하고, 양은 도가니 용적의 50%-80%로 제어한다. 흑연 도가니를 흑연 보온 펠트에 배치시키고 탄화규소 결정 성장 노에 넣은 후, 온도 1800-2500℃ 및 압력 5-50mbar에서 20-100h 고온 처리한다. 당해 단계는 도가니 내의 분말을 승화시키어 고온 기체를 형성하고, 고온 기체는 확산 과정에서 흑연 도가니와 흑연 보온 펠트 중에 침윤되고 흡착된 질소 등의 불순물 원소를 방출시키어, 고순도의 흑연 재료를 획득한다.
- [0058] (2) 바나듐 원소를 탄화규소 분말 중에 균일하게 도핑한다. 탄화규소 분말 합성 과정 중의 바나듐 원소의 도핑은, 탄화규소 분말과 혼합하는 방식에 의해 진행될 수 있고, 흑연 용기 내에 넣은 후 혼합 후의 탄화규소 분말 중에 매립될 수도 있다. 후속의 탄화규소 단결정 중에 도입된 바나듐 도핑 농도를 제어하기 위해, 탄화규소 분말 중의 바나듐 도핑 농도는 상응하게 제어되어야 하고, 후속의 결정 성장 과정 중의 바나듐의 함유량 범위 목적을 실현하기 위해, 매 1kg 반응원 분말 중에 0.01-1g 바나듐 원소를 배치해야 하며, 반응 후 탄화규소 분말 중의 농도는 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 수량급이어야 한다. 구체적으로, 탄화규소 분말이 바나듐과 균일하게 혼합한 후, 또는 흑연 용기 중에 일정한 농도의 바나듐이 도핑된 탄화규소 분말을 배치한 후의 탄화규소 분말 반응 과정은 이미 공개된 특허문헌을 참조할 수 있다.
- [0059] (3) 반응에 의해 일정한 농도의 바나듐이 함유된 탄화규소 분말을 획득한 후, 소량의 바나듐이 도핑된 탄화규소 분말을 흑연 도가니 중에 배치하고 결정 성장 노에 넣은 후, 결정 성장을 시작한다. 결정 성장 과정은, 노 내에 흡착된 질소 등 불순물을 제거하기 위해, 1200℃-2000℃, 800-1000mbar, 5-50h의 고온 전처리를 포함한다. 본 출원은 소량의 바나듐 원소를 도입하기에, 고순도 반절연 탄화규소 단결정에 비해, 본 단계의 정제 과정은 크게 간단화할 수 있고, 과량의 질소 원소를 제거하기만 하면 되며, 고순도 반절연 탄화규소 단결정의 제조 과정에 비해, 기술 비용과 종결정 비용을 감소시킬 수 있다. 노 내의 정제 전처리를 완성한 후, 온도를 10-30℃/min의 속도로 2200℃ 이상 온도까지 상승시킴과 동시에, 압력을 5-50mbar까지 하강시켜, 흑연 도가니 내의 소량의 바나듐이 도핑된 탄화규소 분말이 충분히 승화되도록 한다. 승화 후의 기체상 및 방출된 바나듐 원소는, 온도 구배에 따라 종결정으로 수송되고 결정화된다. 고농도로 도핑된 반절연 탄화규소 단결정 성장 과정에 따르면, 바나듐 원소는, 결정 성장 과정 중 결정 성장 계면의 일부 격자 위치를 차지하여, 바나듐 원소의 도핑을 실현한다. 소량의 바나듐이 도핑된 탄화규소 분말 중에 함유된 바나듐 원소는 이미 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 의 함유량으로 제한되었기에, 기체상 수송 과정 진행 후, 수송 과정의 손실 및 바나듐 원소와 탄화규소 분말의 재결합으로 인해, 최종적으로 결정 중에 도핑된 바나듐 원소의 농도는 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이다. 이러한 탄화규소 단결정에 진입된 바나듐 원소는 도너로서 존재할 수도 있고, 억셉터로서 존재할 수도 있기에, 탄화규소 단결정 중의 얇은 에너지 준위 불순물을 보상할 수 있다.
- [0060] (4) 탄화규소 단결정 성장 완료 후, 탄화규소 단결정을 흑연 도가니에서 꺼낸다. 탄화규소 단결정 성장 과정 중 성장 계면이 비교적 높은 온도에 있기에, 성장 계면의 원자는 격자 위치에서 탈리되어 일정한 농도의 고유점 결함을 형성한다. 탄화규소 단결정을 어닐링 노 중에 배치하고, 1800-2000℃ 온도에서 10-50h의 어닐링 처리하여, 고유점 결함을 제거할 수 있다. 어닐링 과정에 있어서, 탄화규소 단결정 중에 존재하는 고유점 결함은 이동에 의해 소멸되고, 고유점 결함의 농도는 결정의 전기적 성능에 영향주지 않는 수준까지 하강한다.
- [0061] 본 출원에서 제조된 탄화규소 단결정의 저항률은, 잔류된 얇은 에너지 준위 불순물과 소량의 바나듐 원소에 의해 결정된다. 얇은 에너지 준위 불순물과 소량의 바나듐 원소는 모두 격자 위치를 차지하기에, 매우 높은 열 안정성을 갖고, 이 또한 본 출원의 탄화규소 단결정이 매우 안정한 저항률을 가짐을 의미한다.
- [0062] 본 출원 중의 "초과하지 않음", "낮지 않음", "초과", "보다 높음", "보다 낮음", "미만"은, 단점(端点)값을 포함한다.
- [0063] 본 출원의 다른 양태에 따르면, 상기 임의의 반절연 탄화규소 단결정 또는 상기 임의의 방법으로 제조된 반절연 탄화규소 단결정에 제조되는 것을 특징으로 하는 반절연 탄화규소 단결정 기판을 제공한다.
- [0064] 본 출원의 또 다른 양태에 따르면, 상기 임의의 소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정에 대해 절단, 폴리싱을 진행하여, 상기 반절연 탄화규소 단결정 기판을 획득하는 것을 특징으로 하는 소량의 바나듐이 도핑된 고품질 반절연 탄화규소 단결정 기판의 제조 방법을 제공한다.
- [0065] 옵션으로서, 상기 탄화규소 단결정 기판에 대한 에피택시얼 프로세스 어닐링 처리 전후의 저항률 평균값의 변화율은 55% 미만이다.

- [0066] 옵션으로서, 상기 탄화규소 단결정 기판에 대한 900-1200℃ 온도에서의 0.5-10h 유지 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 55% 미만이다.
- [0067] 또한, 상기 탄화규소 단결정 기판에 대한 900-1200℃ 온도에서의 0.5-10h 유지 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 50% 미만이다. 더 나아가, 상기 탄화규소 단결정 기판에 대한 900-1200℃ 온도에서의 0.5-10h 유지 처리 전후의 저항률 평균값의 변화값은 30% 미만이다.
- [0068] 본 출원의 또 다른 양태에 따르면, 상기 임의의 반절연 탄화규소 단결정 기판을 포함하는 것을 특징으로 하는 에피택시얼 웨이퍼 및/또는 트랜지스터를 제공한다.

발명의 효과

- [0069] 본 출원의 유익한 효과는 다음과 같으나, 이에 제한되지 않는다.
- [0070] 1) 본 출원의 탄화규소 단결정은 소량의 바나듐이 도핑된 반절연 단결정이고, 본 출원은 탄화규소 결정 중의 얇은 에너지 준위 불순물을 감소시킴과 동시에, 소량의 바나듐 도핑을 도입하여 탄화규소 단결정 중의 고유점 결함을 대체하여, 탄화규소 단결정의 반절연 특성을 실현한다.
- [0071] 2) 본 출원의 탄화규소 단결정의 저항률은 잔류된 얇은 에너지 준위 불순물과 소량의 바나듐 원소에 의해 결정되고, 이러한 불순물은 모두 격자 위치를 차지하기에, 매우 높은 열 안정성을 가지며, 이 또한 결정이 매우 안정한 저항률을 갖고, 높은 저항률 균일성을 갖고 있음을 의미한다.
- [0072] 3) 본 출원의 탄화규소 단결정의 제조에 있어서, 기존의 도핑된 반절연 탄화규소 단결정과 고순도 반절연 탄화규소 단결정 제조 기술을 결합하고, 탄화규소 결정 중의 얇은 에너지 준위 불순물 농도와 깊은 에너지 준위 도핑제의 농도를 제어하는 것에 의해, 더욱 높은 저항률 안정성을 갖는 반절연 탄화규소 단결정과 기판을 실현함과 동시에, 고농도 도핑으로 인한 침전물 결함과 전자 포획 문제를 피면할 수 있기에, 탄화규소 단결정 기판의 품질을 제고하고, 당해 기판의 디바이스 성능 향상의 사용에 유리하다.
- [0073] 4) 본 출원의 탄화규소 단결정 중의 얇은 에너지 준위 불순물 농도는 고순도 반절연 탄화규소 단결정의 수준까지 하강할 필요가 없기에, 비용을 절감할 수 있고, 프로세스 난도를 낮출 수 있다.
- [0074] 5) 본 출원의 탄화규소 단결정은 기판으로서, 우수한 전기적 성능 안정성을 가지며, 탄화규소 단결정 기판에 대해 어닐링 전후의 표면 테스트를 진행 시, 굽힘도와 휨도의 절대값의 변화는 에피택시얼 프로세스에서 필요한 어닐링 전후 5um의 제어 라인보다 훨씬 작으며, 이는 탄화규소 단결정 기판 내부 응력이 매우 작다는 것을 나타내며, 기판이 우수한 표면 품질을 갖도록 보장할 수 있기에, 후속의 에피택시얼 공정 중 기판 품질의 안정성과 일치성을 보장할 수 있다.
- [0075] 6) 본 출원의 방법으로 소량의 바나듐이 도핑된 반절연 단결정/단결정 기판을 제조할 시, 탄화규소 단결정 중의 얇은 에너지 준위 불순물을 통해, 동시에 소량의 바나듐 도핑을 도입하여 결정 중의 고유점 결함을 대체하는 것에 의해, 반절연 특성을 실현하며, 당해 제조 방법의 기술 비용과 자금 비용이 낮다.

도면의 간단한 설명

- [0076] 도1은 어닐링 전의 탄화규소 단결정 기판1# 저항률 표면 스캔도이다.
- 도2는 어닐링 후의 탄화규소 단결정 기판1# 저항률 표면 스캔도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0077] 이하 실시예와 결합하여 본 출원을 상세히 설명하나, 본 출원은 이러한 실시예에 제한되지 않는다.
- [0078] 특별한 설명이 없는 한, 본 출원의 실시예에서 언급된 원료 등은 모두 상업 경로에 의해 구매된다.
- [0079] 본 출원의 실시예에 있어서, 분석 방법은 이하와 같다.
- [0080] 탄화규소 단결정 결정 형태 측정은, Horiba사의 HR800 공초점 라만 분광기를 이용한다.
- [0081] 탄화규소 단결정 기판의 표면 측정은, FRT사의 MicroProf@TTV200 자동 표면 측정기를 이용한다.
- [0082] 저항률 측정은, Semimap사의 COREMA-WT 비접촉식 반절연 저항률 측정기를 이용한다.

- [0083] 원소 함유량 측정은, Cameca사의 IMS 7f-Auto 2차 이온 질량 분석기를 이용한다.
- [0084] 본 출원의 실시형태에 있어서, 탄화규소 단결정의 제조 프로세스는 이하의 단계를 포함한다.
- [0085] 1) 열장(thermal field) 장치에 의한 불순물 제거: 흑연 보온 펠트와 흑연 도가니에 대해 고온 정제를 진행하는 단계;
- [0086] 2) 재료 혼합: 바나듐 원소를 탄화규소 분말 중에 균일하게 도핑하고, 탄화규소 분말 중의 바나듐 농도가 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 단계;
- [0087] 3) 결정 성장: 단계2)에서 획득한 바나듐이 도핑된 탄화규소 분말을, 단계1)에서 처리된 흑연 도가니에 넣은 후, 결정이 성장하기 시작하고, 상기 결정 성장단계는 고온 전처리 단계와 결정 성장 단계를 포함하고, 결정 성장 완료 후의 바나듐의 농도가 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 인 단계; 및
- [0088] 4) 어닐링: 단계3)에서 처리한 탄화규소 단결정에 대해 어닐링 처리를 진행하여, 상기 반절연 탄화규소 단결정을 획득하는 단계.
- [0089] **실시예1 반절연 탄화규소 단결정의 제조—열장 장치에 의한 불순물 제거**
- [0090] 열장 장치는 흑연 도가니와 흑연 보온 펠트를 포함하고, 탄화규소 단결정 제조에 사용되는 흑연 보온 펠트와 흑연 도가니에 대해 고온 정제를 진행한다. 고온 정제 단계는, 흑연 도가니 내에 탄화규소 분말을 넣는 것을 포함하고, 분말 입자 크기를 50-500um로 제어하고, 수량은 도가니 용적의 50%-80%로 제어한다. 흑연 도가니를 흑연 보온 펠트에 배치시키고 탄화규소 결정 성장 노에 넣은 후, 일정한 온도 및 압력에서 일정한 시간 유지하여, 열장 장치에 의한 불순물 제거를 진행한다. 열장1#, 열장2#, 열장3#, 열장4# 및 열장5#의 구체적인 처리 온도, 압력 및 시간은 표1과 같으며, 표1 중의 열장 장치는 흑연 도가니와 흑연 보온 펠트를 포함한다.

표 1

[0091]

	온도/℃	압력/mbar	시간/h
열장1#	2300	30	50
열장2#	1800	5	100
열장3#	1900	10	80
열장4#	2400	40	30
열장5#	2500	50	20

- [0092] 열장1#, 열장2#, 열장3#, 열장4# 및 열장5#의 처리 과정 중의 흑연 도가니 내의 탄화규소 분말은 승화되어 고온 기체를 형성하고, 고온 기체는 확산 과정 중에 흑연 도가니와 흑연 보온 펠트 중에 침윤되어 흡착된 질소 등 불순물 원소를 제거하여, 고순도 흑연 재료를 획득하고, 제조된 열장1#, 열장2#, 열장3#, 열장4# 및 열장5# 중의 불순물을 제거하며, 반절연 탄화규소 단결정의 제조 과정 중의 불순물 도입을 제어할 수 있다.

[0093] **실시예2 반절연 탄화규소 단결정 초기제품의 제조—재료 혼합, 결정 성장**

- [0094] 탄화규소 분말과 바나듐 원소에 대해 도핑을 진행하여, 소량의 바나듐이 도핑된 탄화규소 분말을 획득하며, 후속의 결정 성장 과정 중의 바나듐의 함유량 범위 목적을 실현하기 위해, 매 1kg 반응 탄화규소 분말 중에 0.01-1g 바나듐 원소를 배치해야 하며, 반응 후 탄화규소 분말 중의 바나듐 농도는 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 수량급이어야 한다.

- [0095] 소량의 바나듐이 도핑된 탄화규소 분말을 각각 실시예1에서 처리한 후의 열장1#, 열장2#, 열장3#, 열장4# 및 열장5#의 흑연 도가니 중에 배치하고 결정 성장 노에 넣은 후, 결정 성장 단계를 진행한다. 열장1#을 예로 결정 성장 단계를 설명할 시, 결정 성장 단계의 구체적인 결정 성장 조건은 표2와 같다.

- [0096] 본 실시예 중의 결정 성장 단계는, 고온 전처리 단계와 결정 성장 단계를 포함하고, 고온 전처리 단계는 노 내의 흡착된 질소 등 불순물을 깨끗하게 제거하며, 본 실시예의 목적이 소량의 바나듐 원소를 도입하는 것이기에, 고순도 반절연 탄화규소 단결정에 비해, 본 단계의 정제 과정을 크게 간단화할 수 있고, 과량의 질소 원소를 제거하기만 하면 되며, 고순도 반절연 탄화규소 단결정의 제조 과정에 비해 기술 비용과 종결정 비용을 감소시킬 수 있다.

- [0097] 노 내의 정제 전처리 완료 후, 본 출원의 결정 성장 단계의 파라미터 제어는, 흑연 도가니 내의 소량의 바나듐

이 도핑된 탄화규소 분말로 하여금 충분히 승화하도록 하고, 승화 후의 기체상 및 방출된 바나듐 원소는 온도 구배에 따라 종결정으로 수송하여 결정화 된다. 고농도로 도핑된 반절연 탄화규소 단결정 성장 과정에 따르면, 바나듐 원소는, 결정 성장 과정 중 결정 성장 계면의 일부 격자 위치를 차지하여, 바나듐 원소의 도핑을 실현한다. 소량의 바나듐이 도핑된 탄화규소 분말 중에 함유된 바나듐 원소는 이미 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 의 함유량으로 제한되었기에, 기체상 수송 과정 진행 후, 수송 과정의 손실 및 바나듐 원소와 탄화규소 분말의 재결합으로 인해, 최종적으로 탄화규소 단결정 중에 진입된 바나듐 원소 농도는 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 이다. 이러한 탄화규소 단결정에 진입된 바나듐 원소는 도너로서 존재할 수도 있고, 억셉터로서 존재할 수도 있기에, 탄화규소 단결정 중의 얇은 에너지 준위 불순물을 보상할 수 있다.

[0098] 실시예3 반절연 탄화규소 단결정의 제조—어닐링

[0099] 실시예2에서 제조된 탄화규소 단결정 초기제품에 대해 계속하여 어닐링 처리를 진행하여, 반절연 탄화규소 단결정을 획득한다. 열장1#에 의해 탄화규소 단결정 결정 성장 단계를 진행하여 제조된 탄화규소 단결정 초기제품에 대해 어닐링 처리를 진행하는 것을 예로, 탄화규소 단결정을 제조하는 단계를 설명한다. 실시예2의 열장1#이 각각 표2의 결정 성장 단계를 거친 후에 획득된 반절연 탄화규소 단결정 초기제품에 대해 어닐링 처리를 진행하여 각각 탄화규소 단결정1#, 탄화규소 단결정2#, 탄화규소 단결정3#, 탄화규소 단결정4# 및 탄화규소 단결정5#을 획득하고, 구체적인 어닐링 처리 조건은 표2와 같다.

[0100] 탄화규소 단결정 성장 완료 후, 탄화규소 단결정을 흑연 도가니에서 꺼낸다. 결정 성장 과정 중 성장 계면이 비교적 높은 온도에 있기에, 성장 계면의 일부 원자가 격자 위치로부터 탈리되어 일정한 농도의 고유점 결함을 형성한다. 탄화규소 단결정을 어닐링 노 중에 배치한 후, 1800-2000℃ 온도에서 10-50h의 어닐링 처리를 진행하여, 고유점 결함을 제거할 수 있다. 어닐링 과정에 있어서, 탄화규소 단결정 중에 존재하는 고유점 결함은 이동에 의해 소멸되고, 고유점 결함의 농도는 실온에서의 고유 농도 이하까지 하강하고 또한 결정의 전기적 성능의 안정성 수준에 영향주지 않는다. 본 출원에서 제조된 탄화규소 단결정의 저항률은, 잔류된 얇은 에너지 준위 불순물과 소량의 바나듐 원소에 의해 결정된다. 얇은 에너지 준위 불순물과 소량의 바나듐 원소가 모두 격자 위치를 차지하기에, 매우 높은 열 안정성을 가지며, 이는 본 출원의 탄화규소 단결정이 매우 안정한 저항률을 가진다는 것을 의미한다.

표 2

제품	고온 전처리 단계 파라미터	결정 성장 단계 파라미터	어닐링 단계 파라미터
탄화규소 단결정1#	온도 1500℃, 압력 900mbar, 유지 시간 30h	30℃/min의 속도로 2300℃까지 동시에, 압력을 25mbar까지 하강	상승시킴과 2100℃ 온도에서 30h 유지
탄화규소 단결정2#	온도 1200℃, 압력 800mbar, 유지 시간 50h	10℃/min의 속도로 2300℃까지 동시에, 압력을 50mbar까지 하강	상승시킴과 1800℃ 온도에서 50h 유지
탄화규소 단결정3#	온도 2000℃, 압력 1000mbar, 유지 시간 5h	50℃/min의 속도로 2300℃까지 동시에, 압력을 5mbar까지 하강	상승시킴과 2200℃ 온도에서 10h 유지
탄화규소 단결정4#	온도 1400℃, 압력 850mbar, 유지 시간 40h	15℃/min의 속도로 2400℃까지 동시에, 압력을 10mbar까지 하강	상승시킴과 1900℃ 온도에서 15h 유지
탄화규소 단결정5#	온도 1800℃, 압력 950mbar, 유지 시간 15h	45℃/min의 속도로 2400℃까지 동시에, 압력을 40mbar까지 하강	상승시킴과 2000℃ 온도에서 40h 유지

[0102] 결정 성장 과정 중 성장 계면이 비교적 높은 온도에 있기에, 성장 계면의 일부 원자가 격자 위치로부터 탈리되어 일정한 농도의 고유점 결함을 형성한다. 본 출원의 어닐링 처리를 통해, 결정 중에 존재하는 점 결함은 이동에 의해 소멸되기에, 농도는 결정의 전기적 성능에 영향주지 않는 수준으로 낮아진다. 결정의 저항률은 잔류된 얇은 에너지 준위 불순물과 소량의 바나듐 원소에 의해 결정된다. 이러한 불순물은 모두 격자 위치를 차지하기에, 매우 높은 열 안정성을 가지며, 이는 결정이 매우 안정한 저항률을 가진다는 것을 의미한다.

[0103] 실시예4 반절연 탄화규소 단결정의 특징

[0104] 실시예3에서 제조한 탄화규소 단결정의 저항률, 결정 형태, 불순물 함유량, 고유점 결함 및 저항률을 측정한다. 측정 결과에 따르면, 제조된 탄화규소 단결정은, 반절연성을 갖고, 저항률이 높으며, 에피택시얼 프로세스 어닐링(900-1200℃/0.5-10h) 경과 후의 저항률 평균값의 변화율은 55% 미만이다. 탄화규소 단결정1#, 탄화규소 단결정2#, 탄화규소 단결정3#, 탄화규소 단결정4# 및 탄화규소 단결정5#를 예로, 측정된 저항률, 결정 형태, 불순물 함유량, 고유점 결함 및 저항률의 결과를 설명한다. 표3에 나타낸바와 같이, 얇은 에너지 준위 불순물 함유량은

N, B 및 Al를 포함한다.

표 3

샘플 번호	초기 저항률/ $\Omega \cdot \text{cm}$	결정 형태	바나듐 함유량 $/\text{cm}^{-3}$	얇은 에너지 준위 불순물 함유량/ cm^{-3}	고유점 결함 $/\text{cm}^{-3}$	1200℃/2h 경과 후의 저항률 평균값의 감소율
탄화규소 단결정1#	4.22×10^{11}	4H-SiC	7.26×10^{15}	7.43×10^{15}	$< 1 \times 10^{14}$	25%
탄화규소 단결정2#	3.82×10^{11}	4H-SiC	2.49×10^{16}	2.60×10^{16}	$< 1 \times 10^{15}$	53%
탄화규소 단결정3#	2.01×10^{11}	4H-SiC	4.36×10^{15}	4.41×10^{15}	$< \times 10^{14}$	31%
탄화규소 단결정4#	1.92×10^{11}	6H-SiC	1.04×10^{16}	1.07×10^{16}	$< \times 10^{14}$	42%
탄화규소 단결정5#	1.10×10^{11}	6H-SiC	5.61×10^{15}	5.53×10^{15}	$< \times 10^{14}$	51%

실시예5 반절연 탄화규소 단결정 기판의 성능 측정

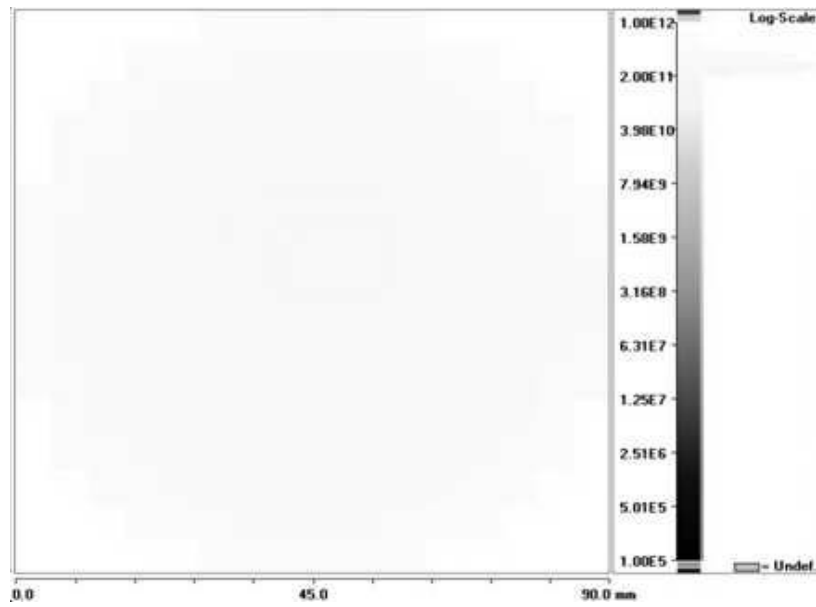
실시예3에서 제조된 탄화규소 단결정에 대해 각각 절단, 연마 및 폴리싱을 진행하여 4-8인치의 반절연 탄화규소 단결정 기판을 획득하고, 획득된 반절연 탄화규소 단결정 기판에 대해 어닐링 처리를 진행함과 동시에, 탄화규소 단결정 기판의 어닐링 전후의 저항률과 표면 형태를 측정한다. 측정 결과에 따르면, 실시예3에서 제조된 탄화규소 단결정 기판은 우수한 전기적 성능 안정성을 갖고, 또한 기판의 내부 응력이 매우 작다.

탄화규소 단결정1#로 제조된 4인치의 탄화규소 단결정 기판1#을 예로 설명한다. 탄화규소 단결정 기판1#이 1200℃ 어닐링2h 경과 후, 탄화규소 단결정 기판1#어닐링 전의 저항률 표면을 측정한 스캔도는 도1에 도시된 바와 같으며, 탄화규소 단결정 기판1#어닐링 후의 저항률 표면을 측정한 스캔도는 도2에 도시된 바와 같다. 저항률 측정 평균값은 $4.22 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 로부터 $3.17 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 로 변화하고, 저항률 감소<50%이다. 또한, 탄화규소 단결정 기판1#에 대한 어닐링 전후의 표면 측정에 따르면, 탄화규소 단결정 기판1#어닐링 전후의 WARP값은 8.35um로부터 8.42um로 변화하고, BOW값은 9.62um로부터 9.87um로 변화하며, 굽힘도와 휨도의 절대값의 변화는 에피택시얼 프로세스에서 필요한 어닐링 전후 5um의 제어 라인보다 훨씬 작으며, 이는 탄화규소 단결정 기판 내부 응력이 매우 작다는 것을 나타내며, 기판이 우수한 표면 품질을 갖도록 보장할 수 있기에, 후속의 에피택시얼 과정 중 탄화규소 단결정 기판 품질의 안정성과 일치성을 보장할 수 있다.

이상 설명한 내용은 다만 본 발명의 실시예로서, 본 발명의 보호 범위는 이러한 구체적인 실시예에 제한되는 것이 아니며, 본 출원의 특허청구범위에 의해 결정된다. 당업자는 본 출원에 대한 각종 수정 및 변경을 진행할 수 있다. 본 출원의 기술적 사상 및 원리 내에서 이루어진 임의의 수정, 균등한 대체, 개선 등은 본 출원의 범위 내에 속한다.

도면

도면1



도면2

