



(51) МПК  
*C30B 25/22* (2006.01)  
*C30B 29/38* (2006.01)  
*H01L 21/20* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013130490/05, 02.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 02.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.07.2013

(43) Дата публикации заявки: 10.01.2015 Бюл. № 1

(45) Опубликовано: 27.02.2015 Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
 поиске: . EP 1346085 B1, 12.10.2011. US  
 2008105969 A1, 08.05.2008. RU 60269 U1,  
 10.01.2007. US 5290393 A, 01.03.1994. TW  
 591808 B, 11.06.2004

Адрес для переписки:

197046, Санкт-Петербург, Каменноостровский  
 пр-кт, 1-3, оф. 30, ООО "Юридическая фирма  
 Городисский и Партнеры"

(72) Автор(ы):

**Шретер Юрий Георгиевич (RU),  
 Ребане Юрий Тоомасович (RU),  
 Миронов Алексей Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Шретер Юрий Георгиевич (RU),  
 Ребане Юрий Тоомасович (RU),  
 Миронов Алексей Владимирович (RU)**

## (54) СПОСОБ ВЫРАЩИВАНИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ ПЛЕНКИ НИТРИДА ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ НА РОСТОВОЙ ПОДЛОЖКЕ

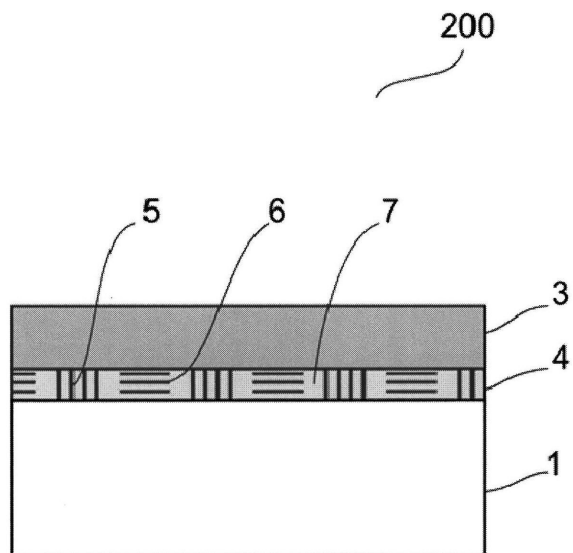
(57) Реферат:

Изобретение относится к области технологии получения твердых кристаллических материалов методом газофазной эпитаксии. При выращивании эпитаксиальной пленки нитрида третьей группы 3 на ростовой подложке 1 используют полиморфный углеродный буферный слой 4, расположенный между подложкой 1 и эпитаксиальной пленкой 3 и состоящий из смеси поликристаллического углерода с преимущественно вертикально ориентированными базисными плоскостями 5, поликристаллического углерода с преимущественно горизонтально

ориентированными базисными плоскостями 6 и аморфного углерода 7. Использование полиморфного углеродного буферного слоя позволяет, с одной стороны, снизить механические напряжения, возникающие из-за рассогласования параметров кристаллических решеток между эпитаксиальной пленкой и подложкой, и предотвратить растрескивание эпитаксиальных пленок, а с другой - не приводит к высокопрочному механическому соединению подложки с выращенной пленкой, что обеспечивает ее легкое отделение от подложки. 7 з.п. ф-лы, 4 ил., 9 пр.

С 2  
 С 2  
 2 1 2 2 1 2  
 2 5 4 3 2 1 2  
 R U

R U  
 2 5 4 3 2 1 2  
 С 2



ФИГ. 2

RU 2543212 C2

RU 2543212 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C30B 25/22* (2006.01)  
*C30B 29/38* (2006.01)  
*H01L 21/20* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013130490/05, 02.07.2013

(24) Effective date for property rights:  
02.07.2013

Priority:

(22) Date of filing: 02.07.2013

(43) Application published: 10.01.2015 Bull. № 1

(45) Date of publication: 27.02.2015 Bull. № 6

Mail address:

197046, Sankt-Peterburg, Kamennooostrovskij pr-kt,  
1-3, of. 30, OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij  
i Partnery"

(72) Inventor(s):

Shreter Jurij Georgievich (RU),  
Rebane Jurij Toomasovich (RU),  
Mironov Aleksej Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Shreter Jurij Georgievich (RU),  
Rebane Jurij Toomasovich (RU),  
Mironov Aleksej Vladimirovich (RU)

(54) **METHOD OF GROWING EPITAXIAL FILM OF GROUP THREE NITRIDE ON GROWTH SUBSTRATE**

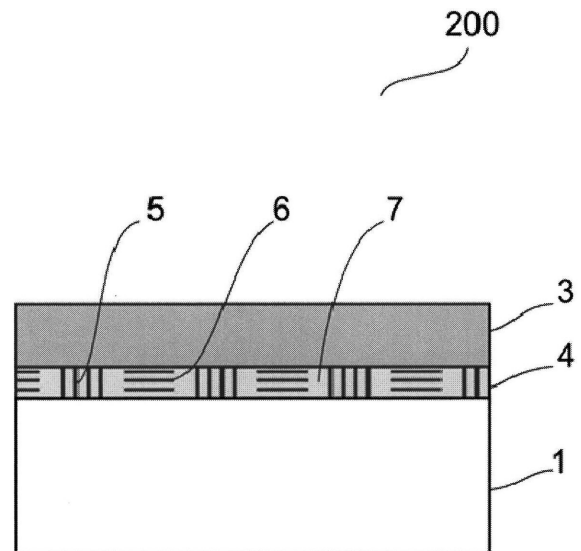
(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: in the process of growing epitaxial film of group three nitride on growth substrate 1 used is polymorphic carbon buffer layer 4, located between substrate 1 and epitaxial film 3 and consisting of mixture of polycrystalline carbon with mainly vertically oriented basal planes 5, polycrystalline carbon with mainly horizontally oriented basal planes 6 and amorphous carbon 7.

EFFECT: application of polymorphic carbon buffer layer makes it possible, on one hand, to reduce mechanical tension, arising because of discrepancy of parameters of crystalline grids between epitaxial film and substrate, and prevent cracking of epitaxial films, and on the other hand, it does not lead to highly strong mechanical connection of substrate with grown film, which provides its easy separation from substrate.

8 cl, 4 dwg, 9 ex



ФИГ. 2

RU 2 543 212 C2

RU 2 543 212 C2

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Изобретение относится к области технологии получения твердых кристаллических материалов, в частности к способу выращивания эпитаксиальных слоев полупроводниковых кристаллов методом газофазной эпитаксии.

### УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Основная проблема при выращивании эпитаксиальных слоев полупроводниковых кристаллов нитридов третьей группы, таких как GaN, AlN и их твердых растворов  $Al_xGa_{1-x}N$  заключается в отсутствии подходящих для эпитаксии ростовых подложек, имеющих рассогласование латерального параметра кристаллической решетки менее 1%. Поэтому при выращивании эпитаксиальных пленок нитридов третьей группы на сапфире, имеющем рассогласование латерального параметра решетки с нитридами третьей группы около 15%, или на карбиде кремния с рассогласованием около 3,5% для компенсации ростовых механических напряжений, связанных с большими рассогласованиями решеток, необходимо использовать промежуточные буферные слои 2, расположенные между ростовой подложкой 1 и эпитаксиальной пленкой 3 нитрида третьей группы, Фиг.1.

Обычно такие слои имеют толщину 0,001-0,05 мкм и наносятся методом химического осаждения из газовой фазы при температуре в области 200-900°C, находящейся ниже температуры роста эпитаксиальной пленки  $T_g=950-1100^\circ C$ . В качестве буферных слоев было предложено использовать аморфные и поликристаллические слои AlN, GaN и твердые растворы  $Al_xGa_{1-x}N$ ,  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ,  $B_xAl_yGa_zIn_{1-x-y-z}$ , N. H. Amano, N. Sawaki, I. Akasaki, Y. Toyoda, Appl. Phys. Lett. 48 (1986) 353, I. Akasaki, H. Amano, Y. Koide, K. Hirayama, N. Sawaki, J. Cryst. Growth 98 (1989) 209, US 5290393, US 6924511. Такие буферные слои содержат большое количество центров кристаллизации и генерируют высокую плотность дислокаций несоответствия. В результате высокая плотность дислокации несоответствия позволяет существенно снизить механические напряжения, возникающие из-за рассогласования параметров кристаллических решеток, и предотвратить растрескивание эпитаксиальных пленок.

Однако использование буферных слоев из аморфных и поликристаллических AlN, GaN и твердых растворов  $Al_xGa_{1-x}N$ ,  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ,  $B_xAl_yGa_zIn_{1-x-y-z}$  приводит к высокопрочному механическому соединению подложки с выращенной эпитаксиальной пленкой, что вызывает трудности при отделении выращенной эпитаксиальной пленки от подложки.

Задачей настоящего изобретения является предложить способ выращивания эпитаксиальной пленки нитрида третьей группы на ростовой подложке с помощью нанесенного на подложку буферного слоя, который позволяет, с одной стороны, снизить механические напряжения, возникающие из-за рассогласования параметров кристаллических решеток, и предотвратить растрескивание эпитаксиальных пленок, а, с другой стороны, не приводит к высокопрочному механическому соединению подложки с выращенной эпитаксиальной пленкой, что обеспечивает последующее легкое отделение выращенной эпитаксиальной пленки от подложки.

### РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Для решения поставленной задачи предложен способ выращивания эпитаксиальной пленки нитрида третьей группы на ростовой подложке с нанесенным буферным слоем, в котором при выращивании эпитаксиальной пленки на ростовой подложке используют полиморфный углеродный буферный слой, расположенный между подложкой и эпитаксиальной пленкой и состоящий из смеси поликристаллического углерода с

преимущественно вертикально ориентированными базисными плоскостями, поликристаллического углерода с преимущественно горизонтально ориентированными базисными плоскостями и аморфного углерода.

В предпочтительном варианте на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой формируют промежуточный интердиффузионный слой путем взаимной диффузии атомов подложки в полиморфный углеродный слой и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя в подложку.

Полиморфный углеродный буферный слой предпочтительно наносят при температуре в интервале от 100°C до 1200°C, причем указанный слой имеет толщину в пределах от 0,01 мкм до 10 мкм и содержит от 1 до 99% вертикально ориентированного поликристаллического углерода с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на 30°, а также от 1 до 99% горизонтально ориентированного поликристаллического углерода с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на 30°, и от 0 до 50% аморфного углерода.

В качестве эпитаксиальной пленки предпочтительно используют нитриды третьей группы AlN, GaN и их твердые растворы  $Al_xGa_{1-x}N$ ,  $In_xGa_{1-x}N$ ,  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ,  $B_xAl_yGa_zIn_{1-x-y-z}$ , где x, y и z изменяются в пределах от 0 до 1.

В качестве подложки предпочтительно используют сапфир, карбид кремния, кремний, арсенид галлия, нитрид галлия и нитрид алюминия.

В другом предпочтительном варианте в качестве подложки используют сапфир, а в качестве промежуточного интердиффузионного слоя используют твердый раствор  $Al_{4-x}C_3$ , где x изменяется от 0 до 4.

В другом предпочтительном варианте в качестве подложки используют кремний, а в качестве промежуточного интердиффузионного слоя используют твердый раствор  $Si_xC_{1-x}$ , где x изменяется от 0 до 1.

Еще в одном предпочтительном варианте в качестве подложки используют карбид кремния, а в качестве промежуточного интердиффузионного слоя используют твердый раствор  $Si_xC_{1-x}$ , где x изменяется от 0 до 0,5.

Технический результат предложенного изобретения состоит в обеспечении улучшенного качества эпитаксиальной пленки за счет компенсации рассогласования решеток, и облегчении отделения эпитаксиальной пленки от ростовой подложки.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Настоящее изобретение иллюстрируется чертежами, на которых представлена схема известного уровня техники, Фиг. 1, и схема, иллюстрирующая реализацию настоящего изобретения, Фиг. 2 и Фиг. 3.

На Фиг. 1 представлена схема известного из уровня техники способа выращивания эпитаксиальных пленок нитридов третьей группы на подложках с большими рассогласованиями постоянных кристаллических решеток с использованием буферных слоев, состоящих из нитридов третьей группы AlN, GaN и их твердых растворов  $Al_xGa_{1-x}N$ ,  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ,  $B_xAl_yGa_zIn_{1-x-y-z}N$ .

На Фиг. 2 представлена схема, иллюстрирующая предложенный способ выращивания эпитаксиальных пленок нитридов третьей группы на подложках с большими рассогласованиями постоянных кристаллических решеток с использованием буферного слоя из полиморфного углерода.

На Фиг. 3 представлена схема, иллюстрирующая внутреннюю структуру полиморфного углеродного слоя.

На Фиг. 4 представлена схема, иллюстрирующая предложенный способ выращивания

эпитаксиальных пленок нитридов третьей группы на подложках с большими рассогласованиями постоянных кристаллических решеток с использованием буферного слоя из полиморфного углерода при формировании промежуточного интердиффузионного слоя.

#### 5 ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В предложенном способе используют полиморфный углеродный буферный слой 4, Фиг. 2, расположенный между подложкой 1 и эпитаксиальной пленкой 3 и состоящий из определенной смеси поликристаллического углерода 5 с преимущественно вертикально ориентированными базисными плоскостями поликристаллического углерода с преимущественно горизонтально ориентированными базисными плоскостями 6 и аморфного углерода 7.

Внутренняя структура 300 полиморфного углеродного слоя представлена на Фиг. 3 и включает области, состоящие из поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на  $30^\circ$ , области, состоящие из поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на  $30^\circ$  и области 7, состоящие из аморфного углерода. Области 5 с преимущественно вертикально ориентированными базисными плоскостями обеспечивают согласование параметров решеток подложки и эпитаксиальной пленки за счет расклинивания относительно слабосвязанных между собой базовых плоскостей.

Области 6 с преимущественно горизонтально ориентированными базисными плоскостями, служат для релаксации механических напряжений в эпитаксиальной пленке за счет горизонтального проскальзывания слабосвязанных между собой базовых плоскостей, а также для ослабления механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой. Области аморфного углерода 7 являются связующим элементом, объединяющим полиморфный углеродный слой в единое целое.

Настоящее изобретение будет прояснено ниже на нескольких примерах его осуществления. Следует отметить, что последующее описание этих примеров осуществления является лишь иллюстративным и не является исчерпывающим.

Пример 1. Выращивание эпитаксиальной пленки нитрида галлия на сапфировой подложке с использованием буферного слоя из полиморфного углерода.

На Фиг. 2 представлена схема 200 выращивания эпитаксиальной пленки 3 нитрида галлия толщиной 100 мкм на сапфировой подложке 1 толщиной 300 мкм с использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода толщиной 0,2 мкм, состоящего из 20% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на  $30^\circ$ , 70% горизонтально ориентированного поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на  $30^\circ$ , и 10% аморфного углерода 7.

Полиморфный углеродный слой 4, толщиной 0,2 мкм наносится на сапфировую подложку методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью микроволнового плазменного разряда при температуре  $450^\circ\text{C}$ .

Эпитаксиальная пленка нитрида галлия наносится на подложку 1 с полиморфным углеродным слоем 4 методом хлорид-гидридной газофазной эпитаксии при температуре  $1050^\circ\text{C}$ .

После окончания роста подложка 1 с полиморфным углеродным буферным слоем 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 нитрида галлия охлаждается в течение двух часов до температуры  $400^\circ\text{C}$ , при этом из-за возникающих термомеханических напряжений и вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного

слоя 4 механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

Пример 2. Выращивание эпитаксиальной пленки нитрида галлия на подложке арсенида галлия с использованием буферного слоя из полиморфного углерода.

5 На Фиг. 2 представлена схема 200 выращивания эпитаксиальной пленки 3 нитрида галлия толщиной 200 мкм на подложке 1 арсенида галлия толщиной 300 мкм с использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода толщиной 0,1 мкм, состоящего из 20% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от  
10 вертикали не более чем на 30°, 70% горизонтально ориентированного поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на 30°, и 10% аморфного углерода 7.

Полиморфный углеродный слой 4 толщиной 0,1 мкм наносится на сапфировую подложку методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью  
15 микроволнового плазменного разряда при температуре 400°C.

Эпитаксиальная пленка нитрида галлия наносится на подложку 1 с полиморфным углеродным слоем 4 методом хлорид-гидридной газофазной эпитаксии при температуре 1020°C.

После окончания роста подложка 1 с полиморфным углеродным буферным слоем  
20 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 нитрида галлия охлаждается в течение пяти часов до температуры 200°C, при этом из-за возникающих термомеханических напряжений и вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного слоя 4 механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

25 Пример 3. Выращивание эпитаксиальной пленки нитрида галлия на подложке карбида кремния с использованием буферного слоя из полиморфного углерода при формировании промежуточного интердиффузионного слоя  $Si_xC_{1-x}$ .

На Фиг. 4 представлена схема 400 выращивания эпитаксиальной пленки 3 нитрида галлия толщиной 150 мкм на подложке 1 карбида кремния толщиной 300 мкм с  
30 использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода толщиной 0,1 мкм, состоящего из 10% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на 30°, 85% поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на 30°, и 5% аморфного  
35 углерода 7.

Полиморфный углеродный слой 4 толщиной 0,1 мкм наносится на подложку 1 карбида кремния методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью микроволнового плазменного разряда при температуре 850°C. При этом на границе между полиморфным углеродным слоем 4 и подложкой 1 карбида кремния образуется  
40 промежуточный интердиффузионный слой 8 толщиной 0,05 мкм, состоящий из твердого раствора  $Si_xC_{1-x}$ , где  $x$  изменяется от 0,5 на границе с подложкой 1 карбида кремния до 0 на границе с полиморфным углеродным слоем 4.

Формирование промежуточного интердиффузионного слоя 8 происходит самопроизвольно на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой 1  
45 карбида кремния вследствие взаимной диффузии атомов подложки в полиморфный углеродный слой 4 и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя 4 в подложку 1 при температурах выше 700°C.

Промежуточный интердиффузионный слой 8 с плавным изменением химического

состава обеспечивает плавное согласование параметров решетки подложки 1 карбида кремния и полиморфного углеродного слоя 4.

Эпитаксиальная пленка нитрида галлия наносится на подложку 1 карбида кремния с промежуточным интердиффузионным слоем 8 и полиморфным углеродным слоем 4  
5 методом хлорид-гидридной газофазной эпитаксии при температуре 1050°C.

После окончания роста подложка 1 карбида кремния с промежуточным интердиффузионным слоем 8, полиморфным углеродным слоем 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 нитрида галлия охлаждается в течение четырех часов до температуры 300°C, при этом из-за возникающих термомеханических напряжений и  
10 вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного слоя 4 механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

Пример 4. Выращивание эпитаксиальной пленки нитрида галлия на подложке кремния с использованием буферного слоя из полиморфного углерода при формировании  
15 промежуточного интердиффузионного слоя  $\text{Si}_x\text{C}_{1-x}$ .

На Фиг. 4 представлена схема 400 выращивания эпитаксиальной пленки 3 нитрида галлия толщиной 200 мкм на подложке 1 кремния толщиной 400 мкм с использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода толщиной 0,2 мкм, состоящего из 15% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5  
20 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на 30°, 80% поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на 30°, и 5% аморфного углерода 7.

Полиморфный углеродный слой 4 толщиной 0,2 мкм наносится на подложку 1 кремния методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью  
25 микроволнового плазменного разряда при температуре 900°C. При этом на границе между полиморфным углеродным слоем 4 и подложкой 1 кремния образуется промежуточный интердиффузионный слой 8 толщиной 0,1 мкм, состоящий из твердого раствора  $\text{Si}_x\text{C}_{1-x}$ , где  $x$  изменяется от 1 на границе с подложкой 1 кремния до 0 на границе  
30 с полиморфным углеродным слоем 4.

Формирование промежуточного интердиффузионного слоя 8 происходит самопроизвольно на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой 1 кремния вследствие взаимной диффузии атомов кремния из подложки 1 в полиморфный углеродный слой 4 и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя 4 в подложку 1 при температурах выше 700°C.  
35

Промежуточный интердиффузионный слой 8 с плавным изменением химического состава обеспечивает плавное согласование параметров решетки подложки 1 кремния, и полиморфного углеродного слоя 4.

Эпитаксиальная пленка нитрида галлия наносится на подложку 1 кремния с  
40 промежуточным интердиффузионным слоем 8 и полиморфным углеродным слоем 4 методом хлорид-гидридной газофазной эпитаксии при температуре 1050°C.

После окончания роста подложка 1 кремния с промежуточным интердиффузионным слоем 8, полиморфным углеродным слоем 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 нитрида галлия охлаждается в течение четырех часов до температуры 300°C, при этом  
45 из-за возникающих термомеханических напряжений и вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного слоя 4 механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

Пример 5. Выращивание эпитаксиальной пленки нитрида галлия на подложке



сапфира, с использованием буферного слоя из полиморфного углерода при формировании промежуточного интердиффузионного слоя  $Al_{4-x}C_3$ .

На Фиг. 4 представлена схема 400 выращивания эпитаксиальной пленки 3 нитрида галлия толщиной 300 мкм на подложке 1 сапфира толщиной 400 мкм с использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода толщиной 0,1 мкм, состоящего из 10% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на  $30^\circ$ , 85% поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на  $30^\circ$ , и 5% аморфного углерода 7.

Полиморфный углеродный слой 4 толщиной 0,1 мкм наносится на подложку 1 сапфира методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью микроволнового плазменного разряда при температуре  $850^\circ C$ . При этом на границе между полиморфным углеродным слоем 4 и подложкой 1 сапфира образуется промежуточный интердиффузионный слой 8 толщиной 0,05 мкм, состоящий из твердого раствора  $Al_{4-x}C_3$ , где  $x$  изменяется от 0 на границе с подложкой 1 сапфира до 4 на границе с полиморфным углеродным слоем 4.

Формирование промежуточного интердиффузионного слоя 8 происходит самопроизвольно на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой 1 сапфира вследствие взаимной диффузии атомов алюминия из подложки 1 в полиморфный углеродный слой 4 и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя 4 в подложку 1 при температурах выше  $800^\circ C$ .

Промежуточный интердиффузионный слой 8 с плавным изменением химического состава обеспечивает плавное согласование параметров решетки подложки 1 сапфира, и полиморфного углеродного слоя 4.

Эпитаксиальная пленка нитрида галлия наносится на подложку 1 сапфира с промежуточным интердиффузионным слоем 8 и полиморфным углеродным слоем 4 методом хлорид-гидридной газофазной эпитаксии при температуре  $1050^\circ C$ .

После окончания роста подложка 1 сапфира, с промежуточным интердиффузионным слоем 8, полиморфным углеродным слоем 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 нитрида галлия охлаждается в течение четырех часов до температуры  $400^\circ C$ , при этом из-за возникающих термомеханических напряжений и вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного слоя 4 механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

Несмотря на то, что настоящее изобретение было описано и проиллюстрировано примерами вариантов осуществления изобретения, необходимо отметить, что настоящее изобретение ни в коем случае не ограничено приведенными примерами.

Пример 6. Выращивание эпитаксиальной пленки нитрида алюминия на подложке кремния с использованием буферного слоя из полиморфного углерода при формировании промежуточного интердиффузионного слоя  $Si_xC_{1-x}$ .

На Фиг. 4 представлена схема 400 выращивания эпитаксиальной пленки 3 нитрида алюминия толщиной 100 мкм на подложке 1 кремния толщиной 400 мкм с использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода толщиной 0,2 мкм, состоящего из 15% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на  $30^\circ$ , 80% поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на  $30^\circ$ , и 5% аморфного

углерода 7.

Полиморфный углеродный слой 4 толщиной 0,2 мкм наносится на подложку 1 кремния методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью микроволнового плазменного разряда при температуре 900°C. При этом на границе между полиморфным углеродным слоем 4 и подложкой 1 кремния образуется промежуточный интердиффузионный слой 8 толщиной 0,1 мкм, состоящий из твердого раствора  $\text{Si}_x\text{C}_{1-x}$ , где  $x$  изменяется от 1 на границе с подложкой 1 кремния до 0 на границе с полиморфным углеродным слоем 4.

Формирование промежуточного интердиффузионного слоя 8 происходит самопроизвольно на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой 1 кремния вследствие взаимной диффузии атомов кремния из подложки 1 в полиморфный углеродный слой 4 и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя 4 в подложку 1 при температурах выше 700°C.

Промежуточный интердиффузионный слой 8 с плавным изменением химического состава обеспечивает плавное согласование параметров решетки подложки 1 кремния и полиморфного углеродного слоя 4.

Эпитаксиальная пленка нитрида алюминия наносится на подложку 1 кремния с промежуточным интердиффузионным слоем 8 и полиморфным углеродным слоем 4 методом хлорид-гидридной газовой фазы эпитаксии при температуре 1280°C.

После окончания роста подложка 1 кремния с промежуточным интердиффузионным слоем 8, полиморфным углеродным слоем 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 нитрида алюминия охлаждается в течение пяти часов до температуры 300°C, при этом из-за возникающих термомеханических напряжений и вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного слоя 4 механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

Пример 7. Выращивание эпитаксиальной пленки твердого раствора  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , с атомной частью индия  $x=0.3$  ( $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ ) на подложке сапфира с использованием буферного слоя из полиморфного углерода при формировании промежуточного интердиффузионного слоя  $\text{Al}_{4-x}\text{C}_3$ .

На Фиг. 4 представлена схема 400 выращивания эпитаксиальной пленки 3 твердого раствора  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  толщиной 50 мкм на подложке 1 сапфира толщиной 400 мкм с использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода толщиной 0,1 мкм, состоящего из 10% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на 30°, 85% поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на 30°, и 5% аморфного углерода 7.

Полиморфный углеродный слой 4 толщиной 0,1 мкм наносится на подложку 1 сапфира методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью микроволнового плазменного разряда при температуре 850°C. При этом на границе между полиморфным углеродным слоем 4 и подложкой 1 сапфира образуется промежуточный интердиффузионный слой 8 толщиной 0,05 мкм, состоящий из твердого раствора  $\text{Al}_{4-x}\text{C}_3$ , где  $x$  изменяется от 0 на границе с подложкой 1 сапфира до 4 на границе с полиморфным углеродным слоем 4.

Формирование промежуточного интердиффузионного слоя 8 происходит самопроизвольно на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой 1

сапфира вследствие взаимной диффузии атомов алюминия из подложки 1 в полиморфный углеродный слой 4 и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя 4 в подложку 1 при температурах выше 800°C.

5 Промежуточный интердиффузионный слой 8 с плавным изменением химического состава обеспечивает плавное согласование параметров решетки подложки 1 сапфира и полиморфного углеродного слоя 4.

Эпитаксиальная пленка нитрида галлия наносится на подложку 1 сапфира с промежуточным интердиффузионным слоем 8 и полиморфным углеродным слоем 4 методом хлорид-гидридной газофазной эпитаксии при температуре 920°C.

10 После окончания роста подложка 1 сапфира с промежуточным интердиффузионным слоем 8, полиморфным углеродным слоем 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 твердого раствора  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  охлаждается в течение четырех часов до температуры 400°C, при этом из-за возникающих термомеханических напряжений и вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного слоя 4 механической связи  
15 эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

Пример 8. Выращивание эпитаксиальной пленки твердого раствора  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ , с атомной частью алюминия  $x=0.25$  ( $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ ) на подложке кремния, с использованием  
20 буферного слоя из полиморфного углерода при формировании промежуточного интердиффузионного слоя  $\text{Si}_x\text{C}_{1-x}$ .

На Фиг. 4 представлена схема 400 выращивания эпитаксиальной пленки 3 твердого раствора  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  толщиной 80 мкм на подложке 1 кремния толщиной 400 мкм с использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода  
25 толщиной 0,2 мкм, состоящего из 15% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на 30°, 80% поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на 30°, и 5% аморфного углерода 7.

30 Полиморфный углеродный слой 4 толщиной 0,2 мкм наносится на подложку 1 кремния методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью микроволнового плазменного разряда при температуре 900°C. При этом на границе между полиморфным углеродным слоем 4 и подложкой 1 кремния образуется промежуточный интердиффузионный слой 8 толщиной 0,1 мкм, состоящий из твердого  
35 раствора  $\text{Si}_x\text{C}_{1-x}$ , где  $x$  изменяется от 1 на границе с подложкой 1 кремния до 0 на границе с полиморфным углеродным слоем 4.

40 Формирование промежуточного интердиффузионного слоя 8 происходит самопроизвольно на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой 1 кремния вследствие взаимной диффузии атомов кремния из подложки 1 в полиморфный углеродный слой 4 и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя 4 в подложку 1 при температурах выше 700°C.

Промежуточный интердиффузионный слой 8 с плавным изменением химического состава обеспечивает плавное согласование параметров решетки подложки 1 кремния и полиморфного углеродного слоя 4.

45 Эпитаксиальная пленка твердого раствора  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  наносится на подложку 1 кремния с промежуточным интердиффузионным слоем 8 и полиморфным углеродным слоем 4 методом хлорид-гидридной газофазной эпитаксии при температуре 1090°C.

После окончания роста подложка 1 кремния с промежуточным интердиффузионным

слоем 8, полиморфным углеродным слоем 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 твердого раствора  $Al_xGa_{1-x}N$  охлаждается в течение пяти часов до температуры  $300^\circ C$ , при этом из-за возникающих термомеханических напряжений и вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного слоя 4 механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

Пример 9. Выращивание эпитаксиальной пленки твердого раствора  $Al_{0.74}Ga_{0.1}In_{0.16}N$ , постоянная решетки которого совпадает с постоянной решетки нитрида галлия, на подложке сапфира с использованием буферного слоя из полиморфного углерода при формировании промежуточного интердиффузионного слоя  $Al_{4-x}C_3$ .

На Фиг. 4 представлена схема 400 выращивания эпитаксиальной пленки 3 твердого раствора  $Al_{0.74}Ga_{0.1}In_{0.16}N$  толщиной 50 мкм на подложке 1 сапфира толщиной 400 мкм с использованием промежуточного буферного слоя 4 из полиморфного углерода толщиной 0,1 мкм, состоящего из 10% вертикально ориентированного поликристаллического углерода 5 с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на  $30^\circ$ , 85% поликристаллического углерода 6 с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на  $30^\circ$ , и 5% аморфного углерода 7.

Полиморфный углеродный слой 4 толщиной 0,1 мкм наносится на подложку 1 сапфира методом осаждения из газовой фазы, активированной с помощью микроволнового плазменного разряда при температуре  $850^\circ C$ . При этом на границе между полиморфным углеродным слоем 4 и подложкой 1 сапфира образуется промежуточный интердиффузионный слой 8 толщиной 0,05 мкм, состоящий из твердого раствора  $Al_{4-x}C_3$ , где  $x$  изменяется от 0 на границе с подложкой 1 сапфира до 4 на границе с полиморфным углеродным слоем 4.

Формирование промежуточного интердиффузионного слоя 8 происходит самопроизвольно на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой 1 сапфира вследствие взаимной диффузии атомов алюминия из подложки 1 в полиморфный углеродный слой 4 и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя 4 в подложку 1 при температурах выше  $800^\circ C$ .

Промежуточный интердиффузионный слой 8 с плавным изменением химического состава обеспечивает плавное согласование параметров решетки подложки 1 сапфира и полиморфного углеродного слоя 4.

Эпитаксиальная пленка твердого раствора  $Al_{0.74}Ga_{0.1}In_{0.16}N$  наносится на подложку 1 сапфира с промежуточным интердиффузионным слоем 8 и полиморфным углеродным слоем 4 методом хлорид-гидридной газофазной эпитаксии при температуре  $1020^\circ C$ .

После окончания роста подложка 1 сапфира с промежуточным интердиффузионным слоем 8, полиморфным углеродным слоем 4 и нанесенной эпитаксиальной пленкой 3 твердого раствора  $Al_{0.74}Ga_{0.1}In_{0.16}N$  охлаждается в течение четырех часов до температуры  $400^\circ C$ , при этом из-за возникающих термомеханических напряжений и вследствие ослабления за счет полиморфного углеродного буферного слоя 4 механической связи эпитаксиальной пленки с подложкой происходит самопроизвольное отделение эпитаксиальной пленки 3 от подложки 1.

Несмотря на то, что настоящее изобретение было описано и проиллюстрировано примерами вариантов осуществления изобретения, необходимо отметить, что настоящее изобретение ни в коем случае не ограничено приведенными примерами.

## Формула изобретения

1. Способ выращивания эпитаксиальной пленки нитрида третьей группы на ростовой подложке, характеризующийся тем, что при выращивании эпитаксиальной пленки используют полиморфный углеродный буферный слой, расположенный между подложкой и эпитаксиальной пленкой и состоящий из смеси поликристаллического углерода с преимущественно вертикально ориентированными базисными плоскостями, поликристаллического углерода с преимущественно горизонтально ориентированными базисными плоскостями и аморфного углерода.

2. Способ по п. 1, характеризующийся тем, что на границе между полиморфным углеродным слоем и подложкой формируют промежуточный интердиффузионный слой путем взаимной диффузии атомов подложки в полиморфный углеродный слой и атомов углерода из полиморфного углеродного слоя в подложку.

3. Способ по пп. 1 и 2, характеризующийся тем, что полиморфный углеродный буферный слой наносят при температуре в интервале от 100°C до 1200°C, причем указанный слой имеет толщину в пределах от 0,01 мкм до 10 мкм и содержит от 1 до 99% вертикально ориентированного поликристаллического углерода с базисными плоскостями, отклоняющимися от вертикали не более чем на 30°, а также от 1 до 99% горизонтально ориентированного поликристаллического углерода с базисными плоскостями, отклоняющимися от горизонтали не более чем на 30°, и от 0 до 50% аморфного углерода.

4. Способ по пп. 1 и 2, характеризующийся тем, что в качестве эпитаксиальной пленки используют нитриды третьей группы AlN, GaN и их твердые растворы  $Al_xGa_{1-x}N$ ,  $In_xGa_{1-x}N$ ,  $Al_xGa_yIn_{1-x-y}N$ ,  $B_xAl_yGa_zIn_{1-x-y-z}$ , где x, y и z изменяются в пределах от 0 до 1.

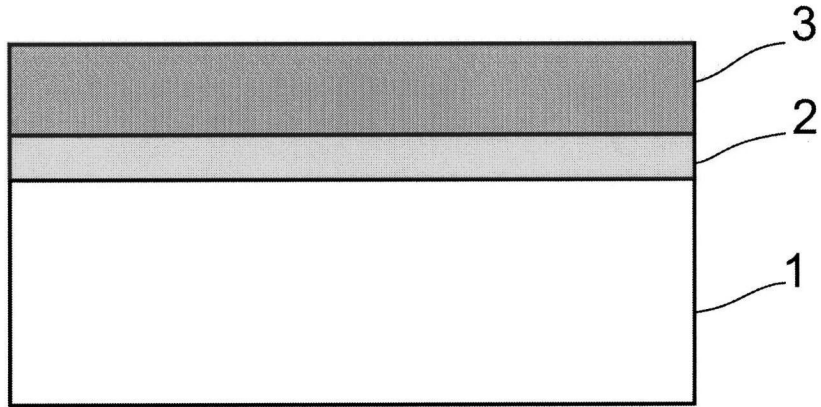
5. Способ по п. 1, характеризующийся тем, что в качестве подложки используют сапфир, карбид кремния, кремний, арсенид галлия, нитрид галлия и нитрид алюминия.

6. Способ по п. 2, характеризующийся тем, что в качестве подложки используют сапфир, а в качестве промежуточного интердиффузионного слоя используют твердый раствор  $Al_{4-x}C_3$ , где x изменяется от 0 до 4.

7. Способ по п. 2, характеризующийся тем, что в качестве подложки используют кремний, а в качестве промежуточного интердиффузионного слоя используют твердый раствор  $Si_xC_{1-x}$ , где x изменяется от 0 до 1.

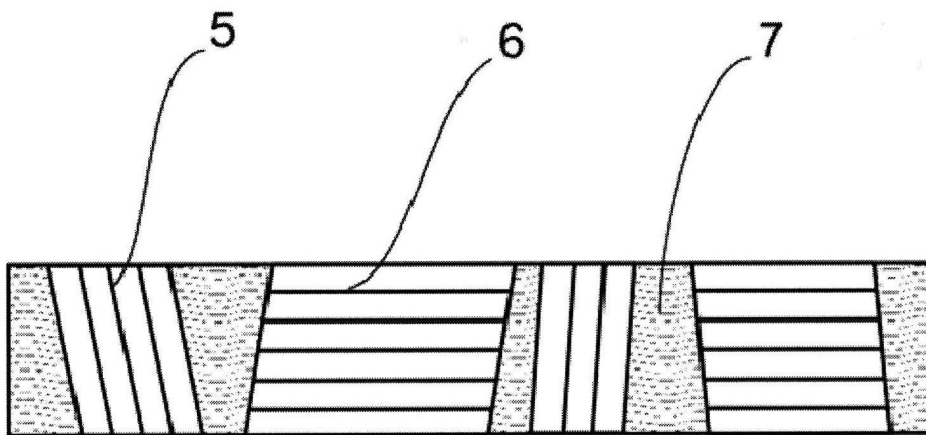
8. Способ по п. 2, характеризующийся тем, что в качестве подложки используют карбид кремния, а в качестве промежуточного интердиффузионного слоя используют твердый раствор  $Si_xC_{1-x}$ , где x изменяется от 0 до 0,5.

100

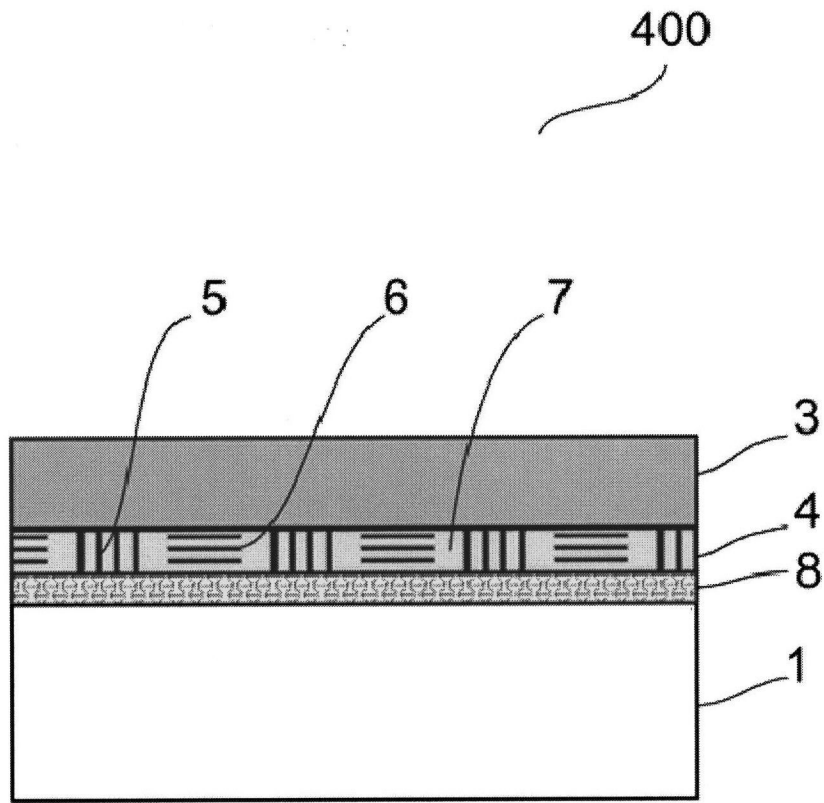


ФИГ. 1

300



ФИГ. 3



ФИГ. 4