



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H01L 29/772 (2017.05)

(21)(22) Заявка: 2016150464, 21.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.12.2016

Дата регистрации:
05.03.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2016

(45) Опубликовано: 05.03.2018 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Гудкова
А.Г. (каф. РЛ-6)

(72) Автор(ы):

Тихомиров Владимир Геннадьевич (RU),
Вьюгинов Владимир Николаевич (RU),
Гудков Александр Григорьевич (RU),
Городничев Артем Аркадьевич (RU),
Зыбин Андрей Артурович (RU),
Видякин Святослав Игоревич (RU),
Парнес Яков Михайлович (RU),
Чижилов Сергей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 154437 U1, 27.08.2015. US
5192987 A, 09.03.1993. US 2004/0155260 A1,
12.08.2004. US 2001/0020700 A1, 13.09.2001.
WO 03/049193 A1, 12.06.2003. JP 2008118044
A, 22.05.2008.

(54) Гетероструктурный полевой транзистор на основе нитрида галлия с улучшенной температурной стабильностью вольт-амперной характеристики

(57) Реферат:

Изобретение относится к области радиотехники и электроники. В гетероструктурном полевом транзисторе на основе нитрида галлия с улучшенной стабильностью вольт-амперной характеристики, включающем подложку из карбида кремния, каналный слой, буферный слой, барьерный слой на основе AlGaIn, слой пассивации на основе нитрида кремния, электроды стока, затвора, истока, буферный слой выполнен на основе нитрида галлия, после процедуры снижения толщины подложки до 100 мкм нанесен слой с

высокой теплопроводностью, модулированный по глубине подложки в районе расположения затвора. Глубина модулирования подложки в районе расположения затвора может составлять 50 мкм. Изобретение позволяет улучшить теплоотвод от подзатворной области и уменьшить температуру канала полевого транзистора на основе гетероструктур типа AlGaIn/GaN, что приводит к улучшению температурной стабильности его вольт-амперной характеристики. 1 з.п. ф-лы, 3 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H01L 29/772 (2017.05)

(21)(22) Application: **2016150464**, **21.12.2016**

(24) Effective date for property rights:
21.12.2016

Registration date:
05.03.2018

Priority:

(22) Date of filing: **21.12.2016**

(45) Date of publication: **05.03.2018** Bull. № 7

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGТУ im. N.E. Bauman, TSZIS, dlya Gudkova
A.G. (kaf. RL-6)**

(72) Inventor(s):

**Tikhomirov Vladimir Gennadevich (RU),
Vyuginov Vladimir Nikolaevich (RU),
Gudkov Aleksandr Grigorevich (RU),
Gorodnichev Artem Arkadevich (RU),
Zybin Andrej Arturovich (RU),
Vidyakin Svyatoslav Igorevich (RU),
Parnes Yakov Mikhajlovich (RU),
Chizhikov Sergej Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Bauman
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"
(MGТУ im. N.E. Bauman) (RU)**

(54) **HETEROSTRUCTURAL FIELD-EFFECT TRANSISTOR BASED ON GALLIUM NITRIDE WITH IMPROVED TEMPERATURE STABILITY OF CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS**

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering; electronics.

SUBSTANCE: invention relates to radio engineering and electronics. In a heterostructured field-effect transistor based on gallium nitride with improved stability of the current-voltage characteristic, including a substrate of silicon carbide, channel layer, buffer layer, AlGaN-based barrier layer, silicon nitride-based passivation layer, electrodes of drain, gate, source, buffer layer made on the basis of gallium nitride, after reducing the thickness of the substrate to 100 microns, a layer with a high thermal conductivity is being

applied, layer is modulated according to the depth of the substrate in the shutter vicinity. Depth of modulation of the substrate in the shutter vicinity can be 50 mcm.

EFFECT: invention provides improved heat removing from the gate region and reduced temperature of the channel of the field-effect transistor based on heterostructures of the AlGaN/GaN type, which leads to improved temperature stability of its current-voltage characteristics.

1 cl, 3 dwg

Изобретение относится к области радиотехники и электроники. В частности, к высокочастотным полевым транзисторам на основе широкозонных полупроводников группы A_3B_5 . Изобретение может быть использовано в СВЧ-транзисторах для усилителей мощности в устройствах различного функционального назначения.

Известен транзистор с высокой подвижностью электронов на $GaN/Al_xGa_{1-x}N$ гетеропереходах (см. US №5192987, кл. H01L 29/80, 09.03.1993). Указанный транзистор с высокой подвижностью электронов имеет преимущество возросшей мобильности за счет двумерных электронного газа, имеющих место в $GaN/Al_xGa_{1-x}N$ гетеропереходах. Эти структуры осаждаются на базальной плоскости сапфира с использованием низкого давления металлоорганических химических осадений из паровой фазы. Транзистор включает подложку, буферный слой, осаждаемый на подложку, первый активный слой, состоящий по существу из GaN , нанесенный на буферный слой, второй активный слой, состоящий в основном из $Al_xGa_{1-x}N$, где x больше 0 и меньше 1, и множество электрических соединений, находящихся на втором активном слое, причем множество электрических соединений включает соединение истока, соединение затвора и соединение стока, позволяя тем самым разности электрических потенциалов быть примененной ко второй активной области с тем, чтобы обеспечить работу транзистора. Транзистор, сконструированный в соответствии с изобретением, имеет более низкий шумовой ток, температура эксплуатации увеличивается по сравнению с арсенид-галлиевым транзистором до $800^\circ C$.

Недостатком транзистора является недостаточная стабильность вольт-амперной характеристики.

Наиболее близким аналогом-прототипом является гетероструктурный полевой транзистор на основе нитрида галлия с улучшенной стабильностью вольт-амперной характеристики (см. RU 154437 U1, кл. H01L 29/772, 27.08.2015). Гетероструктурный полевой транзистор на основе нитрида галлия с улучшенной стабильностью вольт-амперной характеристики включает подложку из карбида кремния, каналный слой, буферный слой, барьерный слой на основе $AlGaN$, слой пассивации на основе нитрида кремния, электроды стока, затвора, истока. Гетероструктурный полевой транзистор имеет уменьшенный гистерезис тока стока полевого транзистора на основе гетероструктур типа $AlGaN/GaN/AlGaN$ с каналом в слое GaN и может быть использован в СВЧ-транзисторах для усилителей мощности в устройствах различного функционального назначения.

Недостатками прототипа являются сложность и недостаточная температурная стабильность его вольт-амперной характеристики.

Технический результат, на достижение которого направлено изобретение, заключается в устранении вышеуказанных недостатков, локальном улучшении теплоотвода от подзатворной области и уменьшении температуры канала полевого транзистора на основе гетероструктур типа $AlGaN/GaN$, что приводит к улучшению температурной стабильности его вольт-амперной характеристики.

Технический результат достигается тем, что в гетероструктурном полевом транзисторе на основе нитрида галлия с улучшенной стабильностью вольт-амперной характеристики, включающем подложку из карбида кремния, каналный слой, буферный слой, барьерный слой на основе $AlGaN$, слой пассивации на основе нитрида кремния, электроды стока, затвора, истока. Буферный слой выполнен на основе нитрида галлия, после процедуры снижения толщины подложки до 100 мкм нанесен слой с высокой теплопроводностью, модулированный по глубине подложки в районе расположения

затвора.

Технический результат достигается также тем, что в гетероструктурном полевом транзисторе на основе нитрида галлия с улучшенной стабильностью вольт-амперной характеристики глубина модулирования подложки в районе расположения затвора

составляет 50 мкм.

На фиг. 1 показана принципиальная схема гетероструктурного полевого транзистора на основе нитрида галлия с улучшенной стабильностью вольт-амперной характеристики.

На фиг. 2 показаны результаты расчета распределения температуры по глубине транзистора.

На фиг. 3 показаны результаты расчета вольт-амперной характеристики транзистора.

Гетероструктурный полевой транзистор на основе нитрида галлия с улучшенной стабильностью вольт-амперной характеристики (см. фиг. 1) содержит подложку из карбида кремния 1, каналный слой 2, буферный слой 3, барьерный слой на основе AlGa_N 4, слой пассивации на основе нитрида кремния 5, электроды стока 6, затвора 7, истока 8, слой с высокой теплопроводностью 9. Буферный слой выполнен на основе нитрида галлия.

Для слоя с высокой теплопроводностью может быть использовано золото, которое обладает высокой пластичностью, электропроводностью и теплопроводностью.

Предложенная конструкция была описана и просчитана в программном пакете системы автоматизированного технологического проектирования полупроводниковых приборов TCAD "Synopsys" (см. TCAD "Synopsys" Synopsys Inc., Sentaurus Device User Guide, Version E-2010.12, Fremont, California, 2010). Результаты моделирования сравнивались с результатами измерения вольт-амперных характеристик изготовленных транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT транзисторов).

После процедуры снижения толщины подложки до 100 мкм нанесен слой с высокой теплопроводностью, модулированный по глубине подложки в районе расположения затвора. Снижение толщины подложки до 50 и менее микрон приводит к потере прочности структуры и значительным сложностям в монтаже, требующим применения специальной технологической оснастки. Однако на предприятии «Светлана-Электронприбор» освоена технология изготовления сквозных отверстий с металлизацией, которая может успешно применяться для нанесения модулированного по глубине подложки слоя с высокой теплопроводностью.

Результаты расчета распределения температуры по глубине транзистора показаны на фиг. 2. Из анализа результатов хорошо видно, что при работе транзистора в области под стоковым краем затвора формируется локальная зона повышенной температуры, которая может приводить к снижению тока через транзистор и, следовательно, температурной нестабильности его вольт-амперной характеристики.

Введение в конструкцию транзистора слоя с высокой теплопроводностью модулированного по глубине подложки в районе расположения затвора, позволяет существенно снизить температуру в этой локальной зоне под затвором и повысить температурную стабильность вольт-амперной характеристики транзистора.

Сравнительные вольт-амперные характеристики транзистора с предложенной конструкцией (отдельные точки 10) и экспериментальных характеристик транзистора аналога-прототипа (сплошные линии 11) показаны на фиг. 3.

Анализ полученных вольт-амперных характеристик предложенного транзистора показывает, что технический результат, который заключался в локальном улучшении теплоотвода от подзатворной области полевого транзистора на основе гетероструктур типа AlGa_N/Ga_N, достигнут и наблюдается явное улучшение температурной

стабильности его вольт-амперной характеристики.

Гетероструктуры НЕМТ транзисторов были выращены в Научно-техническом центре микроэлектроники РАН на SiC подложках, изготовленных ЗАО «Светлана-Электронприбор» методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (МО ГФЭ) на установке Dragon-125. Водород и азот-водородные смеси, триметилгаллий (TMGa), триметилалюминий (TMA1), аммиак и моносилан (SiH_4) использовались в качестве несущего газа и прекурсоров. Исследованные транзисторы были изготовлены в АО «Светлана-Электронприбор». Транзисторы имели конструкцию, позволяющую удобно проводить измерения с помощью копланарных зондов. Тестовые транзисторы изготавливались методами оптической фотолитографии и имели затвор длиной 0.6 мкм. При формировании омических контактов была использована стандартная металлизация из Ti/Al/Ni/Au, в барьерном контакте Ni/Au. Затворы транзисторов были пассивированы слоем Si_3N_4 , нанесенного методом плазмохимического осаждения.

Предлагаемая конструкция гетероструктурного полевого транзистора на основе нитрида галлия с улучшенной стабильностью вольт-амперной характеристики позволяет улучшить теплоотвод от подзатворной области и уменьшить температуры канала полевого транзистора на основе гетероструктур типа AlGaIn/GaN, что приводит к улучшению температурной стабильности его вольт-амперной характеристики.

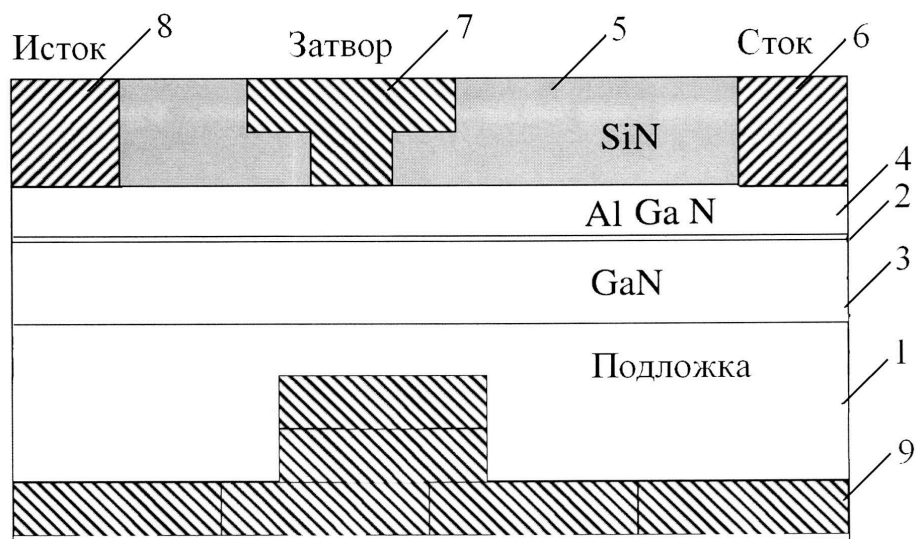
(57) Формула изобретения

1. Гетероструктурный полевой транзистор на основе нитрида галлия с улучшенной температурной стабильностью вольт-амперной характеристики, включающий подложку из карбида кремния 1, каналный слой 2, буферный слой 3, барьерный слой на основе AlGaIn 4, слой пассивации на основе нитрида кремния 5, электроды стока 6, затвора 7, истока 8, отличающийся тем, что буферный слой выполнен на основе нитрида галлия, толщина подложки составляет 100 мкм, на подложку нанесен слой с высокой теплопроводностью 9, модулированный по глубине подложки в районе расположения затвора.

2. Гетероструктурный полевой транзистор по п. 1, отличающийся тем, что глубина модулирования подложки в районе расположения затвора составляет 50 мкм.

1

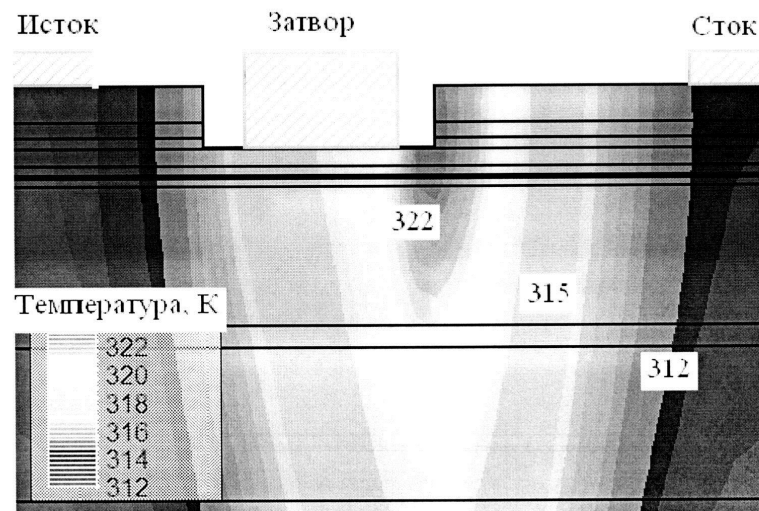
Гетероструктурный полевой транзистор на основе нитрида галлия с
улучшенной температурной стабильностью вольт-амперной характеристики



Фиг.1

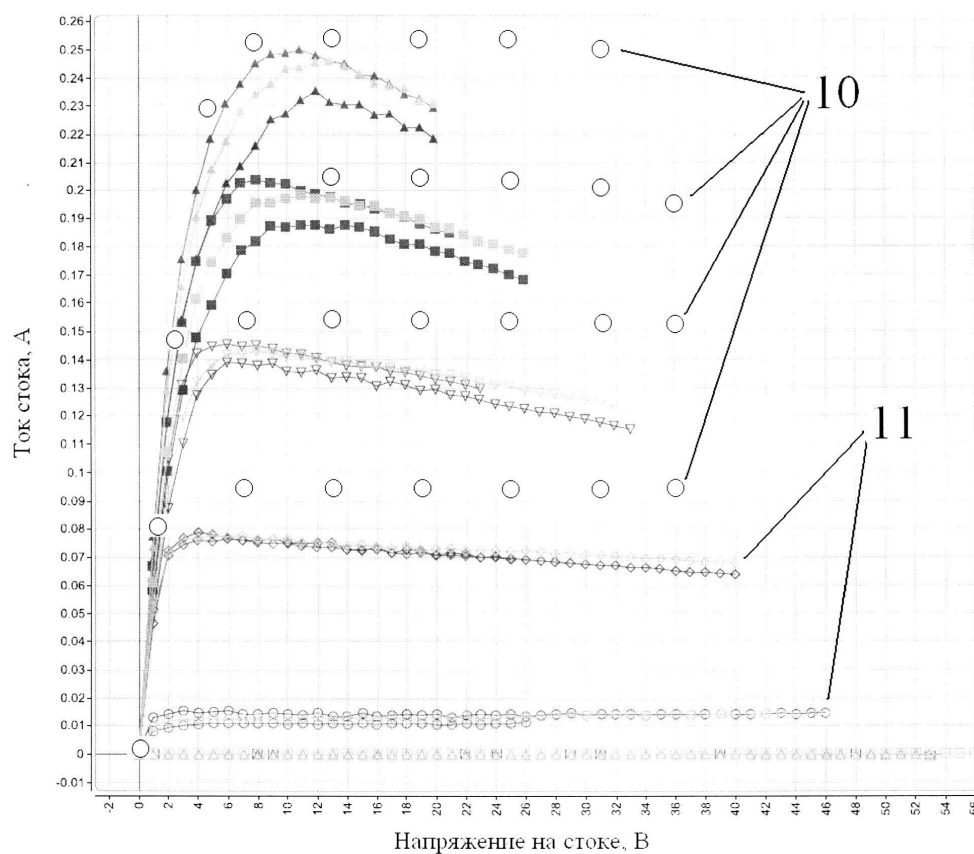
2

Гетероструктурный полевой транзистор на основе нитрида галлия с
улучшенной температурной стабильностью вольт-амперной характеристики



Фиг.2

Гетероструктурный полевой транзистор на основе нитрида галлия с
улучшенной температурной стабильностью вольт-амперной характеристики



Фиг.3