

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 12637

(13) U

(46) 2021.06.30

(51) МПК

H 01L 29/786 (2006.01)

B 82B 1/00 (2006.01)

(54) ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФЕНА И ГЕКСОГОНАЛЬНОГО НИТРИДА БОРА

(21) Номер заявки: u 20200286

(22) 2020.12.03

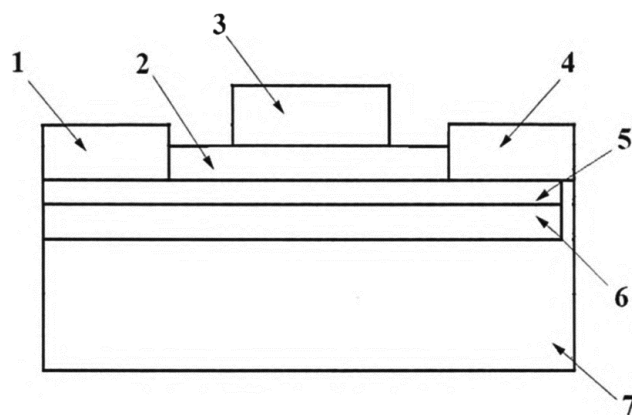
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный
университет информатики и радио-
электроники" (ВУ)

(72) Авторы: Мищенко Валерий Николае-
вич; Муравьев Валентин Владимиро-
вич; Павлючик Алексей Арсеньевич
(ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники" (ВУ)

(57)

Полевой транзистор с затвором, выполненным из комбинации металлов титан/платина/золото и изолированным слоем диоксида кремния, содержащий контактные области истока и стока, выполненные из комбинации металлов титан/платина/золото, которые вместе со слоем диоксида кремния расположены на слое графена, отличающийся тем, что слой графена расположен на слое из гексагонального нитрида бора, который в свою очередь расположен на поверхности полупроводниковой подложки, выполненной из арсенида галлия, а контактная область стока частично расположена на слое графена и частично на поверхности полупроводниковой подложки.



Фиг. 1

(56)

1. Свинцов Д.А., Вьюрков В.В., Лукичев В.Ф., Буренков А., Охснер Р. Туннельные полевые транзисторы на основе графена // Физика и техника полупроводников. - 2013. - Т. 47(2). - С. 244-250.

2. Yamoah M.A., Yang W., Pop E., Goldhaber-Gordon D. High Velocity in Graphene Encapsulated by Hexagonal Boron Nitride. Nano. - 2017. - V. 11. - P. 9914-9919.

3. Патент РБ на полезную модель 11987, 2019.

4. Babichev A. V., Gasumyants V. E., Egorov A. Yu., Vitusevich S., Tchemycheva M. Contact properties to CVD-graphene on GaAs substrates for optoelectronic applications//Nanotechnology. - V. 25. -2014. - P. 335707.

5. Wang J., Ma F., Sun M.A. Graphene, hexagonal boron nitride, and their heterostructures: properties and applications. RSA Advances. - 2017. - V. 7. - P. 16801.

Полезная модель относится к области микро- и нанoeлектроники, а именно к транзисторам - полупроводниковым приборам с использованием графена и гексагонального нитрида бора, реализующим эффект управления электрическим током, который протекает через прибор посредством внешнего напряжения, и может быть использована в качестве усилительного и коммутирующего устройства в области диапазонов СВЧ и КВЧ.

Известен туннельный транзистор с использованием слоя графена [1]. Одной из особенностей конструкции транзистора является наличие области туннельного барьера, который формируется путем помещения в туннельный зазор кремниевой вставки. Основным недостатком данного устройства являются значительные технологические сложности при реализации его на практике. Такой транзистор требует относительно большого напряжения на затворе для осуществления его переключения. Наличие кремневой вставки и подложки из кремния приводит к снижению выходного тока и быстродействия транзистора ввиду низкой скорости и подвижности носителей заряда в кремнии [2].

В качестве прототипа предлагаемой полезной модели выбран графеновый полевой транзистор [3]. Контактные области истока и стока этого транзистора выполнены из проводящего материала и полностью расположены на слое графена, а полупроводниковая подложка выполнена из материала арсенид галлия. Затвор выполнен из проводящего материала, расположенного на слое диоксида кремния, который в свою очередь расположен на слое графена. Недостатком данного транзистора является то, что кристаллическая структура арсенида галлия значительно отличается от кристаллической структуры графена, имеет высокую шероховатость, что вызывает уменьшение рабочего тока структуры, связанное с существенным рассеиванием электронов на границе раздела материалов графен-арсенид галлия. Кроме того, наблюдается увеличенная интенсивность рассеивания электронов на поверхностных оптических фононах, обусловленная особенностями параметров этих материалов, что также отрицательно влияет на дрейф электронов.

Предлагаемая полезная модель решает следующие задачи: увеличение выходного тока и улучшение выходной характеристики транзистора.

Внешний вид конструкции заявляемого транзистора представлен на фиг. 1, где 1 - контактная область истока, выполненная из комбинации металлов титан/платина/золото, 2 - слой из диоксида кремния, 3 - затвор, выполненный из комбинации металлов титан/платина/золото, 4 - контактная область стока, выполненная из комбинации металлов титан/платина/золото, 5 - слой графена, 6 - слой гексагонального нитрида бора, 7 - полупроводниковая подложка, выполненная из арсенида галлия.

Возможность практической реализации заявляемой конструкции транзистора подтверждается результатами экспериментальных исследований свойств омических контактов, выполненных из различных металлов и их комбинаций (хром, титан, платина, золото и другие) и нанесенных на слой графена путем вакуумного напыления металлов, фотоли-

тографического травления и ряда других технологических операций [4]. Слой графена на слой из гексагонального нитрида бора и другие материалы может быть нанесен путем химического осаждения паров или химического парофазного осаждения или другими способами [5].

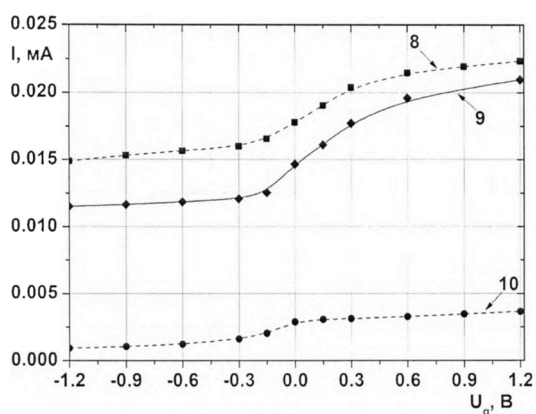
Предложенная конструкция транзистора позволяет увеличить выходной ток стока за счет формирования в слое графена канала дрейфа электронов с увеличенной скоростью по сравнению со скоростью дрейфа во всех других известных полупроводниковых материалах, а использование слоя из гексагонального нитрида бора позволяет изолировать этот канал переноса электронов от паразитного рассеивания в подложке из арсенида галлия. Известно, что гексагональный нитрид бора имеет ряд положительных свойств: приближенная к графену структура кристаллической решетки, низкая величина шероховатости поверхности, большой зазор между долинами зоны проводимости и валентной зоны, большие значения энергий оптических фононов. Размещение контактной области стока частично на слое графена и частично на поверхности полупроводниковой подложки позволяет сформировать необходимый вид выходной зависимости тока стока от напряжения на стоке при фиксированных напряжениях на затворе.

Полевой транзистор с затвором, выполненным из комбинации металлов титан/платина/золото и изолированным слоем диоксида кремния, содержащий контактные области истока и стока, выполненные из комбинации металлов титан/платина/золото, которые вместе со слоем диоксида кремния расположены на слое графена, отличается тем, что слой графена расположен на слое из гексагонального нитрида бора, который в свою очередь расположен на поверхности полупроводниковой подложки, выполненной из арсенида галлия, а контактная область стока частично расположена на слое графена и частично на поверхности полупроводниковой подложки. В заявляемой конструкции транзистора при вводе электронов из контактной области истока они попадают в слой графена, где достигают высокой скорости дрейфа, равной скорости Ферми - $1,5 \cdot 10^8$ см/с [2]. Далее дрейф электронов продолжается главным образом в слое графена, который изолирован от подложки, выполненной из арсенида галлия, слоем из гексагонального нитрида бора. В результате поток электронов максимально эффективно достигает области расположения стока, на котором формируется выходной ток рассмотренного полевого транзистора.

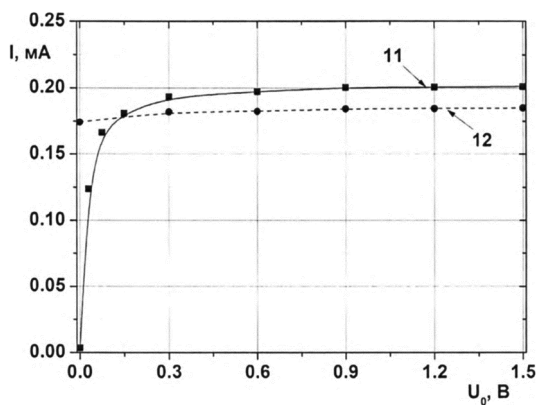
Для подтверждения реализации полезной модели выполнено моделирование с использованием метода Монте-Карло выходного тока стока I от напряжения на затворе U_g , а также выходного тока стока I от постоянного напряжения на стоке U_0 для трех структур, у которых геометрические размеры и параметры электрических режимов были полностью идентичны. Из этих трех конструкций первая конструкция полностью соответствует данной заявке (фиг. 1), вторая конструкция представлена в [3] и не содержит слой из гексагонального нитрида бора, а третья конструкция соответствует первой, однако в ней отсутствует материал арсенид галлия, который полностью заменен слоем из гексагонального нитрида бора, то есть используются только материалы графен и гексагональный нитрид бора.

Величина постоянного напряжения, которое подавалось на сток относительно истока, во всех конструкциях принималась равной 1,5 В. Полученные в результате моделирования зависимости выходного тока стока I от напряжения на затворе U_g представлены кривыми 8, 9, 10 на фиг. 2, которые соответствуют номерам конструкций, описанных выше. Сравнительный анализ кривых 8, 9, 10, представленных на фиг. 2, показывает, что использование слоя графена, размещенного на слое из гексагонального нитрида бора в первой конструкции, которая заявляется в данном патенте, позволяет значительно увеличить выходной ток I по сравнению с двумя остальными конструкциями. Особенно низкие значения выходного тока получены для третьей конструкции, поэтому на последующих фигурах результаты моделирования для этой конструкции не представлены.

На фиг. 3 представлены зависимости выходного тока стока I от напряжения на стоке U_0 при напряжении на затворе, равном 0,3 В, кривыми 11 и 12, что соответствует номерам конструкций, которые описаны выше. Анализ зависимостей, представленных на фиг. 3, показывает, что использование заявляемой конструкции транзистора, для которого получена зависимость номер один, позволяет получить необходимую выходную характеристику транзистора, для которого характерно наличие открытого и закрытого состояния, что используется в режимах коммутации транзистора по отношению к входному сигналу. Транзистор, имеющий конструкцию номер два [3], такой способностью не обладает, на что показывает анализ кривой 12 на фиг. 3, где видно, что данный транзистор во всем диапазоне питающего напряжения на стоке всегда находится в открытом состоянии, а закрытое состояние не может быть реализовано.



Фиг. 2



Фиг. 3