

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 13435

(13) U

(46) 2024.04.05

(51) МПК

H 01L 29/786 (2006.01)

B 82B 1/00 (2006.01)

## (54) ГРАФЕНОВЫЙ ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРИРОВАННОГО ГРАФЕНА

(21) Номер заявки: u 20230228

(22) 2023.11.01

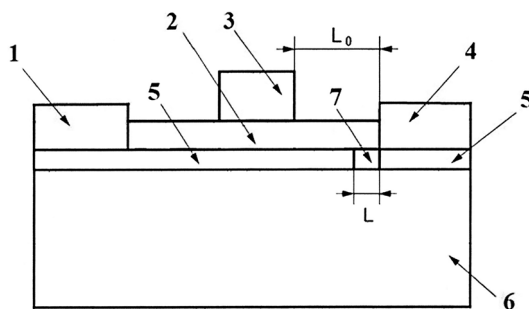
(71) Заявитель: Учреждение образования  
"Белорусский государственный  
университет информатики и радио-  
электроники" (ВУ)

(72) Автор: Мищенко Валерий Николаевич  
(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 в слое графена, который расположен на поверхности полупроводниковой подложки, выполненной из арсенида галлия, сформирована область гидрированного графена, длина которой составляет 20 % от длины зазора между стоком и затвором и которая при-  
мыкает к контактной области истока.



Фиг. 1

(56)

1. СВИНЦОВ Д.А. и др. Туннельные полевые транзисторы на основе графена. Физика и техника полупроводников. 2013; 47(2):244-250.

2. YAMOAN M.A. et al. High Velocity in Graphene Encapsulated by Hexagonal Boron Nitride. Nano. 2017; 11:9914-9919. DOI: 10.1021/acsnano.7b03878.

3. ВУ 12637, 2019.

4. BABICHEV A.V. et al. Contact properties to CVD-graphene on GaAs substrates for optoelectronic applications. Nanotechnology, 25 (2014), 335707.

5. ЕЛЕЦКИЙ А.В. и др. Графен: методы получения и теплофизические свойства. Успехи физических наук, т. 181, № 3, март 2011, с. 235-268.

ВУ 13435 U 2024.04.05

6. JANGYUP Son, et al. Hydrogenated monolayer graphene with reversible and tunable wide band gap and its field-effect transistor//Nature Communications, 7:13261(2016), DOI: 10.1038/ncomms 13261.

---

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

Известен полевой 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 в области графена и арсенида галлия, которые примыкают к стоку, формируется пространственная зона, в которой распределение электрического поля не способствует эффективному дрейфу носителей заряда, снижая количество электронов, которые попадают в сток, и, таким образом, уменьшая выходной ток. Кроме того, при большой напряженности электрического поля в области стока наблюдается увеличенная интенсивность рассеивания электронов за счет поверхностных оптических фононов на границе раздела между графеном и арсенидом галлия, обусловленная особенностями электрофизических параметров этих материалов, что также отрицательно влияет на дрейф электронов и снижает величину выходного тока.

Предлагаемая полезная модель решает задачу увеличения выходного тока полевого 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 - полупроводниковая подложка, выполненная из арсенида галлия, 7 - область гидрированного графена.

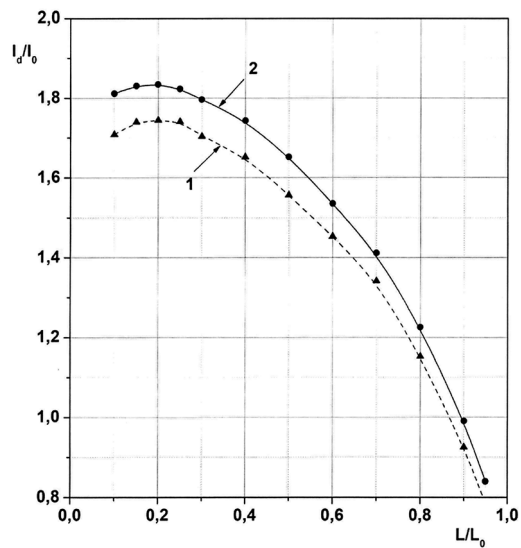
Возможность практической реализации заявляемой конструкции транзистора подтверждается результатами экспериментальных исследований свойств омических контактов, выполненных из различных металлов и их комбинаций (хром, титан, платина, золото и другие) и нанесенных на слой графена путем вакуумного напыления металлов, фотолитографического травления и ряда других технологических операций [4]. Слой графена на слой из арсенида галлия может быть нанесен путем химического осаждения паров или химического парофазного осаждения или другими способами [5]. Возможность и особенности практической реализации гидрированного графена описаны в [6].

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.

лах. Использование области гидрированного графена позволяет улучшить форму распределения напряженности электрического поля вблизи стока, создавая более лучшие условия инъекции электронов в область истока и тем самым позволяя увеличить выходной ток графенового транзистора.

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 в слое графена, который расположен на поверхности полупроводниковой подложки, выполненной из арсенида галлия, сформирована область гидрированного графена, длина которой составляет 20 % от длины зазора между стоком и затвором и которая примыкает к контактной области истока. 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, расположенном на подложке, выполненной из арсенида галлия. В результате дрейфа электроны проходят через область гидрированного графена, получая при этом дополнительную энергию, обусловленную особенностями зонной диаграммы гидрированного графена и формируемого при этом распределения электрического поля в этой области. В результате действия всех описанных выше факторов формируются условия получения увеличенной величины выходного тока.

Для подтверждения реализации полезной модели было выполнено моделирование с использованием метода Монте-Карло выходного тока стока  $I_d$  от напряжения на затворе  $U_g$  для конструкции, представленной фиг. 1. Величина постоянного напряжения, которое подавалось на сток относительно истока, принималась равной 1,5 В. Полученные в результате моделирования зависимости выходного тока стока  $I_d$ , величина которого нормирована на величину выходного тока  $I_d$  для аналогичной конструкции, но без области гидрированного графена, от величины длины области гидрированного графена  $L$ , нормированной на величину общей длины между стоком и затвором  $L_0$ , представлены кривыми 1 и 2 на фиг. 2 при напряжениях  $U_g$ , равных -0,15 и -0,3 В соответственно. Анализ кривых 1 и 2, представленных на фиг. 2, показывает, что использование области гидрированного графена 7 (фиг. 1), относительная длина которой составляет 20 % от величины длины зазора между стоком и затвором и которая примыкает к стоку, позволяет получить максимально возможное значение выходного тока структуры, которое значительно выше выходного тока для аналогичной конструкции, но без использования гидрированного графена. В целом из анализа (фиг. 2) видно, что использование области гидрированного графена, которая примыкает к стоку, но имеет величину относительной длины, отличной от 20 %, позволяет также увеличить выходной ток по сравнению с аналогичной конструкцией, но без этой области, однако величина выходного тока здесь будет меньше, чем в конструкции при использовании области гидрированного графена с величиной относительной длины, равной 20 %, и примыкающей к стоку.



Фиг. 2