

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 188856

ДОЛИННЫЙ ТРАНЗИСТОР

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU)*

Авторы: *Шелых Иван Андреевич (RU),
Иорш Иван Владимирович (RU)*

Заявка № 2018145663

Приоритет полезной модели 20 декабря 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 25 апреля 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 20 декабря 2028 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H01L 25/00 (2019.02)

(21) (22) Заявка: 2018145663, 20.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.12.2018

Дата регистрации:
25.04.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 20.12.2018

(45) Опубликовано: 25.04.2019 Бюл. № 12

Адрес для переписки:
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр.,
49, Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Шелых Иван Андреевич (RU),
Иорш Иван Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики" (Университет ИТМО)
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2554694 C1, 27.06.2015. RU
170009 U1, 11.04.2017. RU 2654296 C1,
17.05.2018. US 20170154975 A1, 01.06.2017. US
9590739 B2, 07.03.2017.

(54) ДОЛИННЫЙ ТРАНЗИСТОР

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области радиотехники и быстродействующей электроники, в частности к оптически управляемым транзисторам, и может быть использована для построения быстродействующих ключей для логических оптоэлектронных элементов.

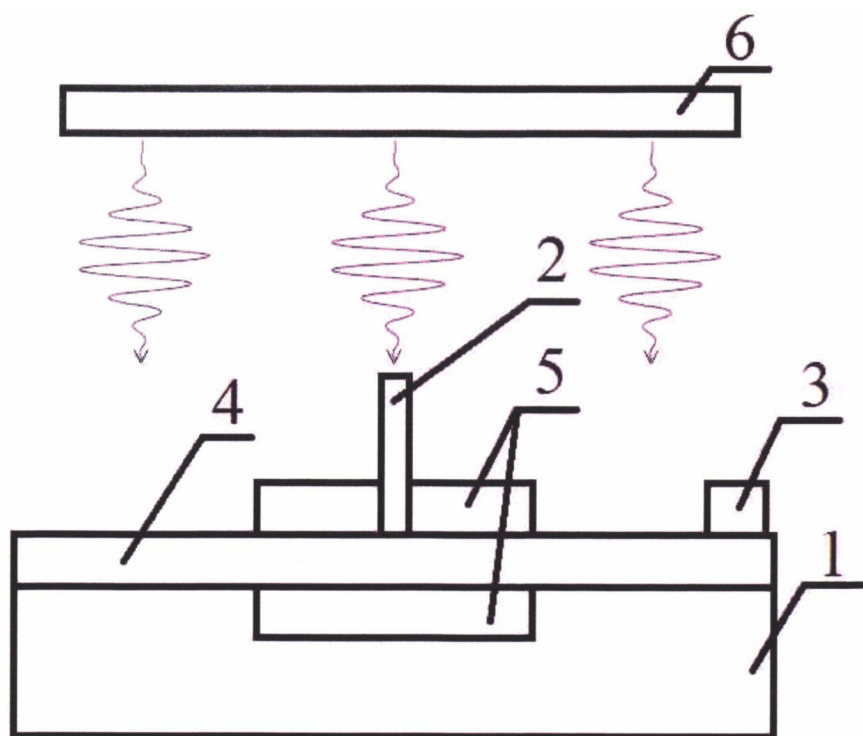
Долинный транзистор состоит из расположенных на подложке истока, стока, токопроводящего канала, выполненного из графена, и резонатора, а также затвора, и отличается тем, что токопроводящий канал,

выполнен из однородного монослоя графена, экранированного резонатором на 25%, а затвор выполнен из терагерцового лазера с функцией изменения электронных свойств графена, находящегося вне площади резонатора

Благодаря использованию однородного монослоя графена значительно повышается технологичность изготовления устройства, а его высокое быстродействие обеспечивается использованием излучения терагерцового лазера в качестве управляющего воздействия. 3 ил.

RU 188 856 U1

RU 188 856 U1



Фиг. 1

Полезная модель относится к области радиотехники и быстродействующей электроники, в частности к оптически управляемым транзисторам и может быть использована для построения быстродействующих ключей для логических оптоэлектронных элементов.

5 Из уровня техники известен полевой транзистор на гетероструктуре [Патент РФ №2093924, МПК H01L 29/772, дата приоритета 10.03.1993, опубликовано 20.10.1997]. Данное устройство выполнено из полупроводниковых элементов, характеризующихся
10 разной степенью легирования. Управляющим элементом транзистора является затвор, в котором режим пропускания сигнала через многослойный токопроводящий канал осуществляется посредством приложения к нему электрического поля. Недостатком
устройства является низкая подвижность носителей заряда и наличие высоких омических потерь в материале канала, вызывающих ограниченное быстродействие и повышенные требования к отводу тепла от устройства.

Из уровня техники известно устройство полевого транзистора на инжекции спин-
15 поляризованного тока [патент США US 5654566, МПК H01L 29/82, дата приоритета 21.04.1995, опубликовано 5.08.1997]. Данное устройство выполнено из токопроводящего канала на базе полупроводникового канала, двух электродов: стока и истока, выполненных из ферромагнитного материала, и предназначено в том числе для
20 функционирования в ключевом режиме. Принцип работы данного устройства основывается на том, что спиновая поляризации тока инжектированного в исток, управляется с помощью приложенного магнитного поля. При определенных значениях поляризациях стока и истока достигается прохождение или отражение токового
импульса, а значит пропускание или блокировка сигнала. Недостатком этого устройства является использование магнитных полей и ферромагнитных материалов.

25 Из уровня техники известно устройство спинового транзистора [Патент РФ №2387047, МПК H01L 29/82, дата приоритета 23.09.2008, опубликовано 20.04.2010]. В данном устройстве содержатся эмиттер (исток) спин поляризованных носителей, выполненный из ферромагнетика (EuO:Fe), база, выполненная из оксидного соединения, и детектор (сток), выполненный из широкозонного полупроводника (GaAs). Сила пропускаемого
30 через базу туннельного спин-поляризованного тока зависит от величины приложенного внешнего магнитного поля, а использованные материалы допускают функционировании устройства при комнатной температуре. Недостатком этого устройства являются необходимость использования достаточно высоких магнитных полей для модификации
35 транспортных свойств носителей заряда, приводящих к наличию у устройства двух характерных величин проводимости.

Наиболее близким аналогом долинного транзистора является известное устройство туннельного полевого транзистора на основе графена [Патент РФ №2554694, H01L 29/786, дата приоритета 05.02.2014, опубликовано 27.06.2015]. В этом устройстве содержатся
40 расположенные на подложке электроды стока и истока, затвор, выполненный из проводящего материала (например золота), а также токопроводящий канал из многослойного графена, содержащий вакуумный барьер с кристаллографическим краем типа зигзаг. В данном устройстве управляющим воздействием является электрический потенциал, прикладываемый к затвору и регулирующий коэффициент прохождения
туннельного тока через вакуумный барьер. Недостатками устройства аналога являются
45 высокие предъявляемые требования к технологическому оборудованию при изготовлении вакуумного барьера для многослойного графена, а также невысокая производительность, ограниченная быстродействием управляющего воздействия.

Решается задача увеличения технологичности изготовления устройства и повышения

быстродействия управляющего воздействия.

Технический результат достигается тем, что в предлагаемом долинном транзисторе, содержащем расположенные на подложке исток, сток и токопроводящий канал, выполненный из графена, используется однородный монослой графена, а функцию затвора выполняет терагерцовый лазер, работающий на частоте 33 ТГц с плотностью мощности 300 Вт/см².

Сущность предлагаемой полезной модели поясняется рисунками, где на фиг. 1 представлено схематическое изображение долинного транзистора.

на фиг. 2 представлена плотность носителей зарядов, протекающих через долинный транзистор, при нормальном режиме работы.

на фиг. 3 представлена плотность носителей зарядов, протекающих через долинный транзистор, при инверсном режиме работы.

Устройство выполнено в виде расположенной на подложке 1 многослойной гетероструктуры, состоящей из истока 2, стока 3, токопроводящего канала в виде монослоя графена 4, резонатора 5, экранирующего примерно 25% площади графена, а также затвора 6, выполненного в виде терагерцового лазера, который располагается над гетероструктурой.

Работа долинного транзистора осуществляется следующим образом. Долинный транзистор может работать в двух режимах: прямом и инверсионном. При этом параметры функционированию меняются только за счет изменения эффективности переноса заряда от стока к истоку (или наоборот). В прямом режиме работы в исток 2 инжектируются электроны с заданным волновым вектором. Попадая в токопроводящий слой 4, находящийся между металлическими обкладками резонатора 5, электрон оказывается в невозмущенном электромагнитном поле лазера 6 графене, а значит приобретает дисперсионную зависимость с фиксированным значением ширины запрещенной зоны. В свою очередь, дисперсионная зависимость электронов вне резонатора 5 в зависимости от взаимных значений волнового вектора электрона и направления циркулярной поляризации электромагнитного поля лазера 6 приобретает дополнительное увеличение или уменьшение ширины запрещенной зоны. А именно, в случае наличия у электрона волнового вектора K , и при облучении устройства циркулярно поляризованным полем с плотностью мощности 300 Вт/см² и частотой 33 ТГц, ширина запрещенной зоны вне резонатора 5 меньше, чем внутри. Это приводит к тому, что электрон покидает область инжекции и беспрепятственно достигает стока 3, создавая токовый сигнал. Если электрон имеет волновой вектор K' , то ширина запрещенной зоны вне резонатора 5 больше, чем внутри. Поэтому заряд, инжектированный в исток 2, не выходит за пределы резонатора 5, что приводит к отсутствию токового сигнала. Обратная картина наблюдается при смене направления циркулярной поляризации электромагнитного поля. В этом случае электроны с волновым вектором K , будут локализоваться в области резонатора 5, а с волновым вектором K' беспрепятственно достигать стока 3.

При функционировании устройства в инверсном режиме электроны с заданным вектором K инжектируются в сток 3, после чего сразу попадают в токопроводящий канал 4, облучаемый электромагнитным полем лазера 6. При этом ширина запрещенной зоны в графене в области резонатора 5 для таких электронов оказывается больше, а значит, они не способны достичь области истока 2 и создать сигнал. Для электронов, обладающих волновым вектором K' область графена внутри резонатора 5 имеет меньшую ширину запрещенной зоны, а значит является для таких носителей ловушкой. Электроны, локализованные внутри резонатора 5, затем могут создать токовый сигнал,

проникая в исток 2. Как и в случае прямого режима работы, инверсия направления циркулярной поляризации приводит к инверсии характеристик по отношению к состояниям K и K' .

Ниже приведен конкретный пример результатов апробации.

5 Для моделирования электронного транспорта во всех режимах работы долинного транзистора были использованы следующие параметры модели. Радиус верхней пластины резонатора, выполненной из золота равен 2 мкм. Толщина слоя, изолирующего монослой графена от обкладок микрорезонатора - 3 нм. Параметры управляющего электромагнитного поля: плотность мощности 300 Вт/см^2 , частота - 33 ТГц. Расстояние
10 между истоком, располагаемым в центре резонатора и стоком - 15 мкм.

Результат моделирования прямого режима работы долинного транзистора представлен на Фиг. 2. Плотность электронов, имеющих волновой вектор K и K' , в момент инжекции одинакова и приведена на Фиг. 2 (а). Дальнейшая временная динамика электронов, имеющих волновой вектор (K), приведена на панелях (b)-(d), а K' на панелях
15 (e)-(f). Видно, что в первом случае электронная плотность достигает стока за времена порядка 30 пикосекунд, тогда как во втором случае электронная плотность остается локализованной в пределах резонатора произвольное время.

Результат моделирования инверсного режима работы долинного транзистора представлен на Фиг. 3. В это случае электронная плотность инжектируется в сток на
20 расстоянии 15 мкм от истока. Как и в случае прямого режима работы, начальная электронная плотность электронов имеющих волновые вектора K и K' одинакова и приведена на Фиг. 3 (а). Расчет эволюции электронной плотности показывает, что в случае инжекции в сток электронов с волновым вектором K , они не достигают истока, рассеиваясь о потенциальный барьер, находящийся у границ резонатора. В случае
25 инжекции электронов с волновым вектором K' происходит их частичный сбор в области резонатора за время, меньше чем 70 пс, что приводит к появлению токового сигнала.

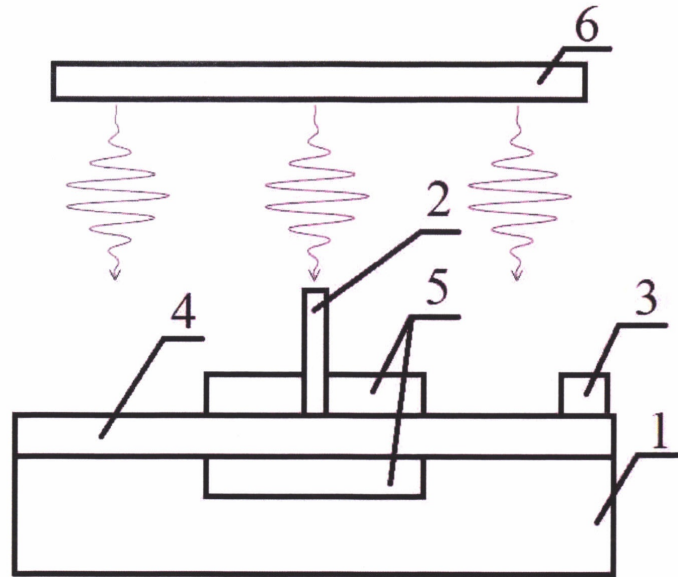
Как показывают результаты моделирования, долинный транзистор обеспечивает функционал полевого транзистора, работающего в ключевом режиме с логическими сигналами за счет наличия двух характерных величин проводимости канала, зависящих
30 от управляющего воздействия. Как и классический транзистор, долинный транзистор способен работать в двух режимах: прямом и инверсном, причем переключение между режимами может осуществляться как за счет изменения параметров инжектируемых носителей, так и за счет смены направления поляризации управляющего сигнала. В качестве управляющего сигнала в долинном транзисторе предлагается использование
35 циркулярно поляризованного электромагнитного поля.

(57) Формула полезной модели

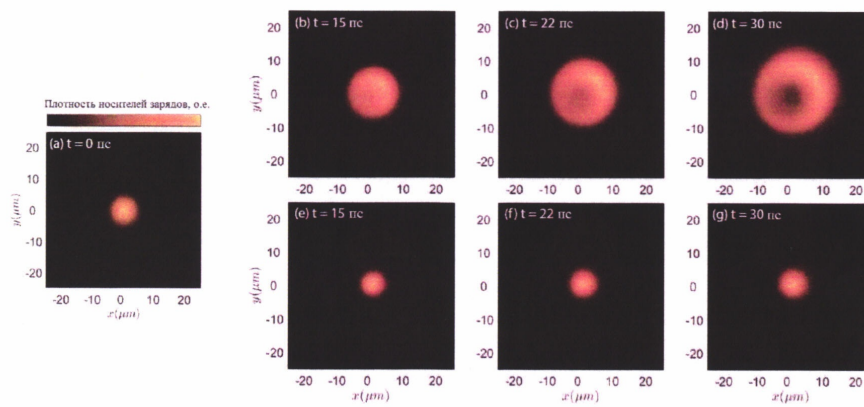
Долинный транзистор, содержащий расположенные на подложке исток, сток, токопроводящий канал, выполненный из графена, и резонатор, а также затвор,
40 отличающийся тем, что токопроводящий канал выполнен из однородного монослоя графена, экранированного резонатором примерно на 25%, а затвор выполнен из терагерцового лазера с функцией изменения электронных свойств неэкранированной области графена при его облучении.

45

1

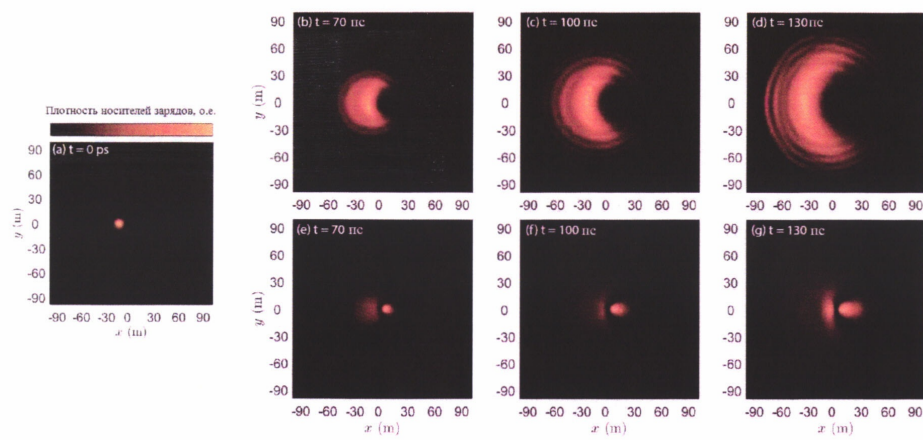


Фиг. 1



Фиг. 2

2



Фиг. 3