



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H10D 30/87 (2025.01)

(21)(22) Заявка: 2024133882, 12.11.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.11.2024

Дата регистрации:
06.06.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.11.2024

(45) Опубликовано: 06.06.2025 Бюл. № 16

Адрес для переписки:

141190, Московская обл., г. Фрязино,
ул.Вокзальная, 2а, корп.1, ком.65, этаж 2, АО
"НПП "Исток" им. Шокина"

(72) Автор(ы):

Галдецкий Анатолий Васильевич (RU),
Мартынов Ярослав Борисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество
"Научно-производственное предприятие
"Исток" имени А.И. Шокина" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2463685 C1, 10.10.2012. US
20230420553 A1, 28.12.2023. RU 2784754 C1,
29.11.2022. RU 2787552 C1, 10.01.2023. US
5233313 A1, 03.08.1993. EP 81396 A2, 15.06.1983.

(54) МОЩНЫЙ ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР СВЧ

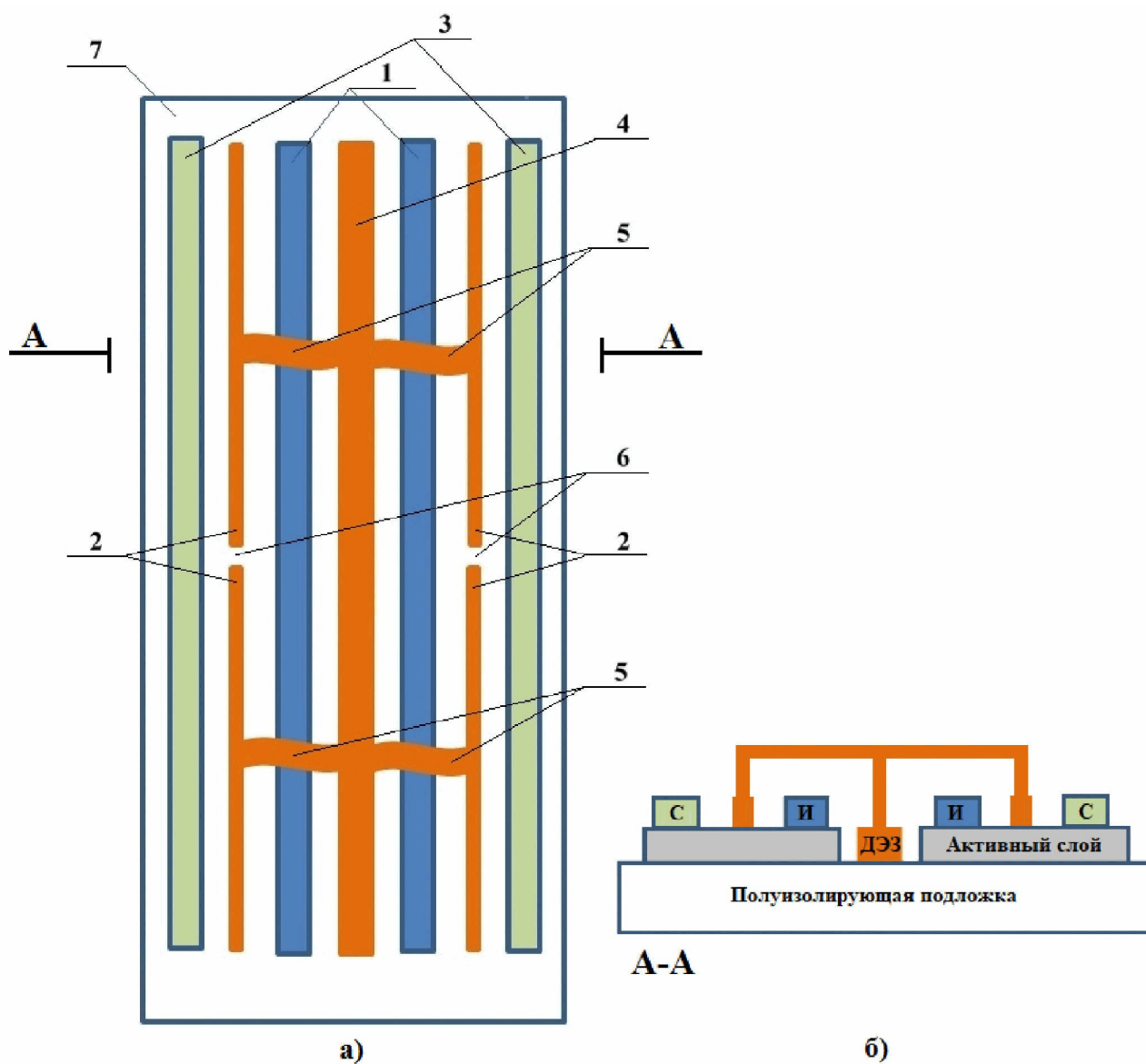
(57) Реферат:

Использование: для активных элементов СВЧ-устройств. Сущность изобретения заключается в том, что мощный полевой транзистор СВЧ, выполненный на полуизолирующей подложке с активным слоем повышенной проводимости, в виде периодического набора ячеек, содержит параллельные электроды стока, затвора, истока, причем одноименные электроды истока и стока от различных ячеек соединены электрически, образуя цепи суммирования сигнала транзистора, при этом исток выполнен в виде двух отдельных параллельных электродов, расположенных на активном слое и разделенных полуизолирующим промежутком, внутри полуизолирующего

промежутка расположен дополнительный электрод затвора, соединенный одним концом с затворными цепями суммирования; расположенные вдоль одной линии, параллельной истоку и стоку, субзатворы образуют электрод затвора ячейки, субзатворы разделены между собой полуизолирующими областями и соединены перемычками с дополнительным электродом затвора, при этом электроды истока, дополнительного электрода затвора и стока выполнены удлиненными. Технический результат обеспечение возможности улучшения теплового режима работы и повышения прочностных характеристик. 6 ил., 2 табл.

RU 2 841 503 C1

RU 2 841 503 C1



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H10D 30/87 (2025.01)

(21)(22) Application: **2024133882, 12.11.2024**

(24) Effective date for property rights:
12.11.2024

Registration date:
06.06.2025

Priority:

(22) Date of filing: **12.11.2024**

(45) Date of publication: **06.06.2025** Bull. № 16

Mail address:

**141190, Moskovskaya obl., g. Fryazino,
ul. Vokzalnaya, 2a, korp. 1, kom. 65, etazh 2, AO
"NPP "Istok" im. Shokina"**

(72) Inventor(s):

**Galdetskii Anatolii Vasilevich (RU),
Martynov Iaroslav Borisovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aktsionernoe obshchestvo
«Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie «Istok»
imeni A.I. Shokina» (RU)**

(54) **HIGH-POWER MICROWAVE FIELD-EFFECT TRANSISTOR**

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: invention can be used for active elements of microwave devices. Powerful microwave field-effect transistor made on a semi-insulating substrate with an active layer of increased conductivity, in the form of a periodic set of cells, contains parallel electrodes of drain, gate, source, wherein similar source and drain electrodes from different cells are electrically connected, forming transistor signal summation circuits, wherein source is made in form of two separate parallel electrodes arranged on active layer and separated by semi-insulating gap, inside the semi-insulating gap there

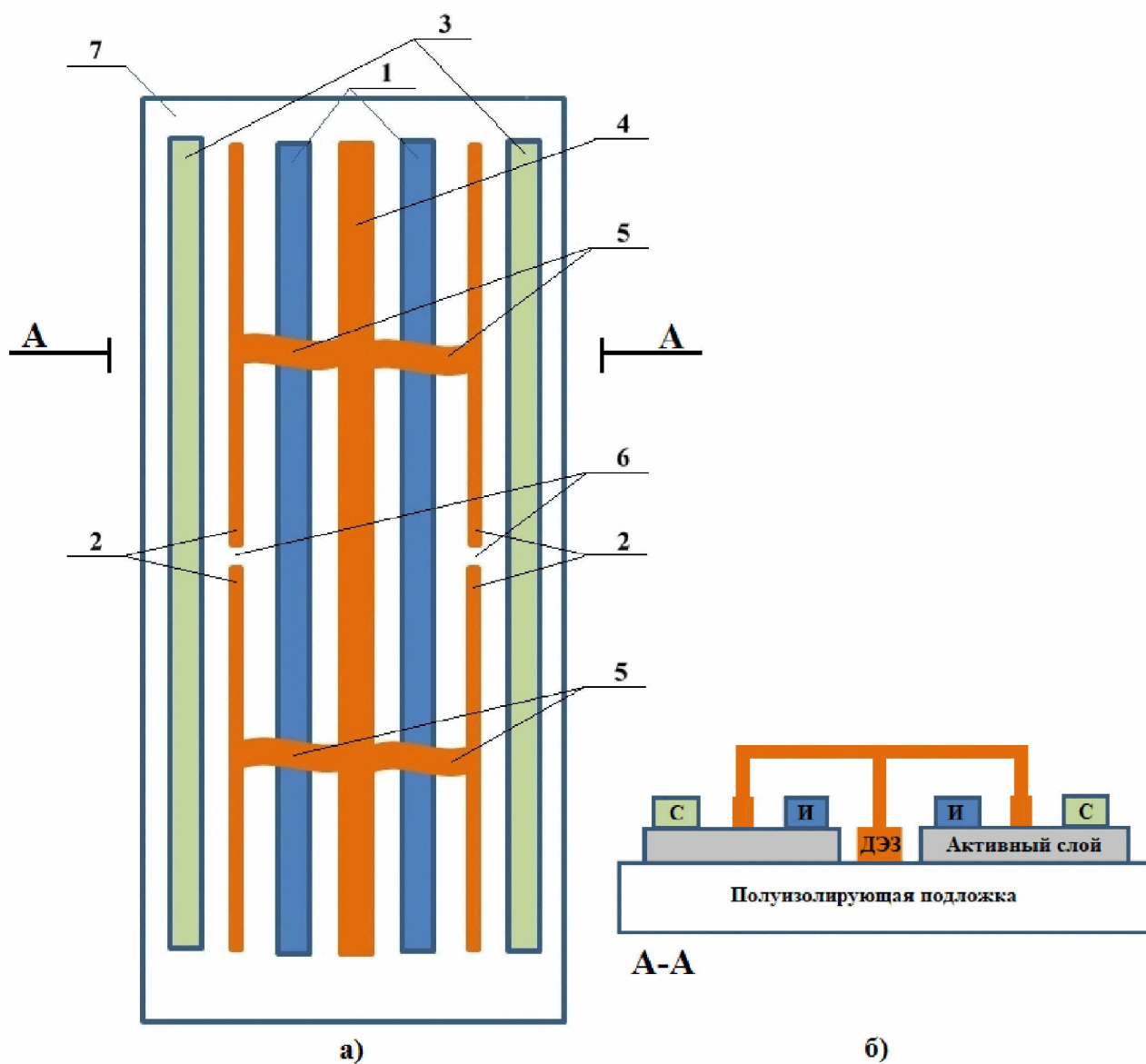
is an additional gate electrode connected by one end to the summation gate circuits; located along one line parallel to source and drain, subgates form cell gate electrode, subgates are separated from each other by semi-insulating areas and are connected by jumpers to an additional gate electrode, at the same time electrodes of source, additional gate electrode and drain are made elongated.

EFFECT: providing the possibility of improving the thermal mode of operation and increasing strength characteristics.

1 cl, 6 dwg, 2 tbl

R U 2 8 4 1 5 0 3 C 1

1 C 2 8 4 1 5 0 3 R U



Фиг. 2

Изобретение относится к электронной технике и может быть использовано в качестве активных элементов СВЧ-устройств.

Известен мощный СВЧ полевой транзистор с барьером Шоттки, выполненный в виде чередующейся структуры, так называемой гребенки электродов истока, затвора, стока, при этом единичные электроды затвора расположены в канавках каналов, выполненных между электродами истока и стока [См. Полевые транзисторы на арсениде галлия. Принципы работы и технология изготовления. Под ред. Д.В. Ди Лоренцо, Д.Д. Канделуола, Перевод с английского под ред. Г.В. Петрова, М., «Радио и связь», 1988 г., стр.118].

Недостаток такого СВЧ полевого транзистора с барьером Шоттки заключается в том, что длина электродов ячейки ограничена при этом как сами ячейки транзистора, так и их цепи суммирования располагаются параллельно друг другу, что приводит к значительному увеличению одного из размеров получающейся чередующейся структуры, что ухудшает прочностные характеристики транзистора. Достижение приемлемого соотношения продольного и поперечного размеров транзистора в такой структуре возможно лишь при максимально возможном уменьшении ширины транзисторной ячейки и толщины полупроводниковой подложки, обеспечивающие приемлемый тепловой режим работы транзистора. Уменьшение толщины подложки еще более ухудшает прочностные характеристики транзистора.

Предлагаемое техническое решение позволяет устранить некоторые недостатки аналога.

Техническим результатом изобретения является улучшение теплового режима работы и повышение прочностных характеристик.

Технический результат достигается тем, что в мощном СВЧ полевом транзисторе, выполненном на полуизолирующей подложке с активным слоем повышенной проводимости, в виде периодического набора ячеек, причем внутри каждой ячейки последовательно расположены параллельные электроды стока, затвора, истока, затвора, стока, одноименные электроды истока и стока от различных ячеек соединены электрически, образуя цепи суммирования сигнала транзистора, исток выполнен в виде двух отдельных параллельных электродов, расположенных на активном слое и разделенных полуизолирующим промежутком, внутри полуизолирующего промежутка расположен дополнительный электрод затвора, соединенный одним концом с затворными цепями суммирования; расположенные вдоль одной линии, параллельной истоку и стоку, субзатворы образуют электрод затвора ячейки, субзатворы разделены между собой полуизолирующими областями и соединены перемычками с дополнительным электродом затвора, при этом электроды истока, дополнительного электрода затвора и стока выполнены удлиненными.

Сущность технического решения заключается в следующем.

Для улучшения температурного режима традиционно используются несколько подходов:

- увеличение расстояния между теплопроводящими областями, которыми являются части активного слоя повышенной проводимости между электродами затвора и стока, поскольку близко расположенные источники тепла повышают температуру не только в своих собственных окрестностях, но и в окрестностях соседних источников;
- уменьшение толщины полуизолирующей подложки - максимальная температура в транзисторе уменьшается в этом случае из-за уменьшения теплового сопротивления прибора.
- использование материалов подложки с высокой теплопроводностью.

Чаще всего, конструкторы используют утончение подложки.

Разделение электрода на два отдельных проводника и размещение дополнительного электрода затвора между ними позволяет за счет увеличения длины электродов, уменьшить площадь, занимаемой цепями суммирования что, в свою очередь, позволяет

5 увеличить расстояние между тепловыделяющими областями. Такое увеличение предлагается использовать либо для улучшения теплового режима - при сохранении толщины подложки, либо для повышения прочностных характеристик транзистора - при увеличении толщины подложки и сохранении прежнего теплового режима.

Удлиняя электроды истока, затвора и стока можно сэкономить площадь, занимаемую

10 цепями суммирования мощного транзистора. Сэкономленную площадь можно использовать для увеличения расстояния между тепловыделяющими элементами соседних ячеек. Это позволит либо улучшить тепловой режим работы транзистора, либо повысить прочностные характеристики этого прибора, делая полуизолирующую подложку более толстой.

При простом увеличении длины транзисторной ячейки тепловой режим работы транзистора также несколько ухудшается. К тому же, при увеличении длины электродов уровень управляющего высокочастотного сигнала уменьшается из-за большого

15 сопротивления электрода затвора, имеющего меньшее относительно электродов истока и стока сечение, поскольку мощный полевой транзистор работает в высокочастотном

20 диапазоне, что приводит к рассогласованной работе различных частей транзистора.

С этим явлением при традиционном подходе борются, располагая как сами ячейки транзистора, так и их цепи суммирования параллельно друг другу, что приводит к значительному увеличению одного из размеров получающейся чередующейся структуры и, следовательно, ухудшает прочностные характеристики транзистора. Достижение

25 приемлемого соотношения продольного и поперечного размеров транзистора в такой структуре возможно лишь при максимально возможном уменьшении ширины транзисторной ячейки и толщины полупроводниковой подложки, обеспечивающие приемлемый тепловой режим работы транзистора. Однако, уменьшение толщины подложки еще более ухудшает прочностные характеристики транзистора.

Сделать электроды истока затвора и стока более длинными позволяет расположение дополнительного электрода на полуизолирующей области между электродами истока, а также выполнение электрода затвора ячейки из нескольких отдельных параллельных

30 электродам истока и стока субзатворов, соединенных перемычками с дополнительным электродом, поскольку такая конструкция выравнивает уровень сигнала между

35 отдельными, расположенными вдоль одной линии субзатворами.

Таким образом, предложенное техническое решение позволяет без изменения габаритных размеров улучшить тепловой режим работы прибора, либо повысить прочностные характеристики транзистора, увеличивая толщину полуизолирующей подложки.

Изобретение поясняется чертежами.

На фиг. 1 представлен внешний вид традиционного транзистора (а) и транзистора по предложенному техническому решению (б).

На фиг. 2 представлен внешний вид ячейки транзистора по предложенному техническому решению, где:

- 45 1 - расщепленный электрод истока;
2 - электрод субзатвора;
3 - электрод стока;
4 - дополнительный электрод затвора;

- 5 - перемычка, соединяющая субзатвор с дополнительным электродом затвора;
- 6 - полуизолирующая область, разделяющая субзатворы;
- 7 - полуизолирующая подложка.

На фиг. 3 схематично показано взаимное расположение областей тепловыделения и толщина полуизолирующей подложки традиционного транзистора (а) и транзистора по предложенному техническому решению (б).

На фиг. 4 показано распределение температуры по поверхности традиционного транзистора (а) и транзистора по предложенному техническому решению (б).

На фиг. 5 схематично показано расположение областей тепловыделения и толщина полуизолирующей подложки традиционного транзистора (а) и транзистора по предложенному техническому решению (б).

На фиг. 6 представлены графики распределения температуры по поверхности традиционного транзистора (а) и транзистора по предложенному техническому решению (б).

Мощный полевой транзистор работает следующим образом. Входной сигнал подается на удлинённые электроды истока (1) и дополнительный удлинённый электрод затвора (4). Далее сигнал проходит через перемычки (5), образующие воздушный мост, на субзатворы (2). Субзатворы (2) разделены полуизолирующими областями (6), при этом длина субзатворов меньше, чем длина электродов стока (3), истока (1) и дополнительного электрода затвора (4), что не дает сигналу заметно уменьшиться. Таким образом, все части транзистора работают согласовано. Выходной сигнал снимается с электродов истока (1) и стока (3), а область тепловыделения находится в активном слое в промежутке между электродами субзатвора и стока. Для отвода тепла применяют металлический теплоотвод, например, из золота.

Проведено сравнительное математическое моделирование транзистора по предложенному техническому решению и прототипа с помощью нелинейных эквивалентных схем этих приборов. Поскольку создание нового транзистора не требует применения новых технологий, эквивалентная схема нового транзистора строилась на основе метода масштабирования модели прототипа. Температура области тепловыделения в рабочем режиме рассчитывалась путем решения уравнений теплопроводности.

Пример 1. Моделирование транзисторов одинаковой площади и одинаковой толщины подложки. Проведено моделирование транзисторов с одинаковой площадью $S_0=1.31$

мм² и одинаковой толщиной подложки из одного материала (GaAs), равной 30 мкм (фиг.3). Один - с традиционной конструкцией транзисторной ячейки, другой - на основании заявляемого технического решения. Рассчитана максимальная температура области тепловыделения T_{\max} , а также получены графики распределения температуры по поверхности (фиг.4).

Результаты моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1.

| | S_0 (мм ²) | P_0 (Вт) | Толщина подложки (мкм) | T_{\max} °С | Число ячеек |
|---|-----------------------------|---------------|---------------------------|---------------|----------------|
| Традиционный транзистор | 1.31 | 8 | 30 | 190 | 96 |
| Транзистор по предложенному техническому решению | 1.31 | 8 | 30 | 85 | 20 |

Пример 2. Моделирование транзисторов одинаковой площади и с одинаковой максимальной температурой тепловыделяющей области. Проведено моделирование

транзисторов с одинаковой площадью $S_0=1.31 \text{ мм}^2$ с подложкой из одного материала (GaAs) и одинаковой максимальной температурой тепловыделяющей области $T_{\max} = 190 \pm 5^\circ\text{C}$. Один - с традиционной конструкцией транзисторной ячейки, другой - на основании заявляемого технического решения.

Рассчитаны параметры подложки, обеспечивающие сохранение теплового режима (максимальная температура области тепловыделения T_{\max}), а также получены графики распределения температуры по поверхности (фиг.6).

Результаты моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 2.

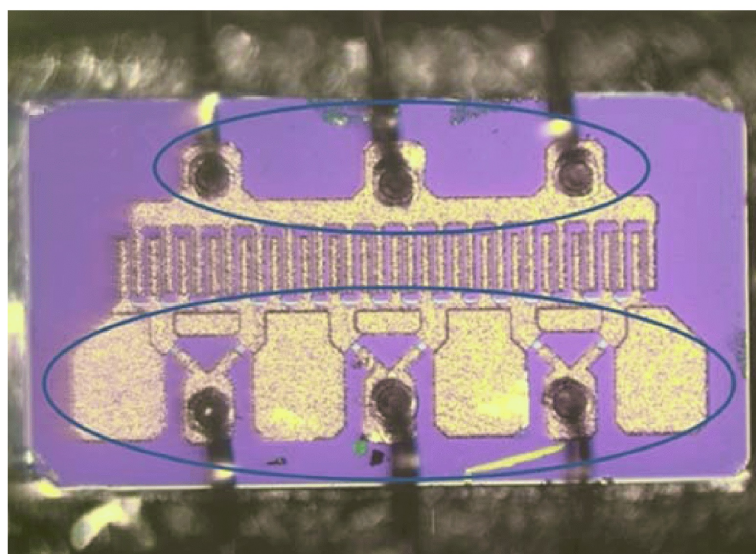
| | S_0 (мм ²) | P_0 (Вт) | $T_{\max}^\circ\text{C}$ | Толщина подложки (мкм) | Число ячеек |
|--|-----------------------------|---------------|--------------------------|------------------------|-------------|
| Традиционный транзистор | 1.31 | 8 | 190 | 30 | 96 |
| Транзистор по предложенному техническому решению | 1.31 | 8 | 185 | 70 | 20 |

Таким образом, результаты моделирования доказали, что предложенная конструкция мощного полевого транзистора позволяет получить заявленный технический результат.

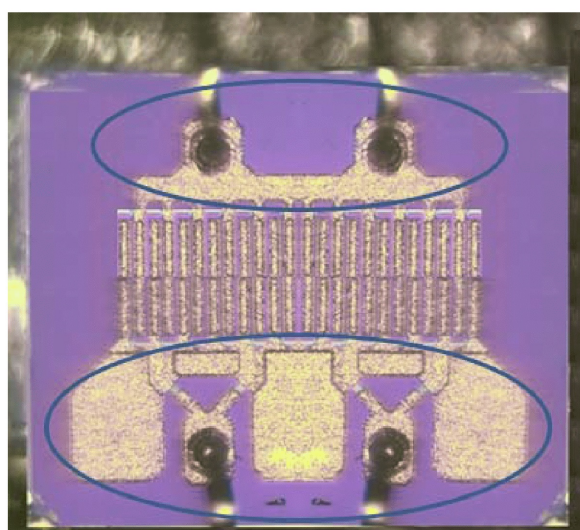
(57) Формула изобретения

Мощный полевой транзистор СВЧ, выполненный на полуизолирующей подложке с активным слоем повышенной проводимости, в виде периодического набора ячеек, содержащих параллельные электроды стока, затвора, истока, причем одноименные электроды истока и стока от различных ячеек соединены электрически, образуя цепи суммирования сигнала транзистора, отличающийся тем, что исток выполнен в виде двух отдельных параллельных электродов, расположенных на активном слое и разделенных полуизолирующим промежутком, внутри полуизолирующего промежутка расположен дополнительный электрод затвора, соединенный одним концом с затворными цепями суммирования; расположенные вдоль одной линии, параллельной истоку и стоку, субзатворы образуют электрод затвора ячейки, субзатворы разделены между собой полуизолирующими областями и соединены перемычками с дополнительным электродом затвора, при этом электроды истока, дополнительного электрода затвора и стока выполнены удлиненными.

1



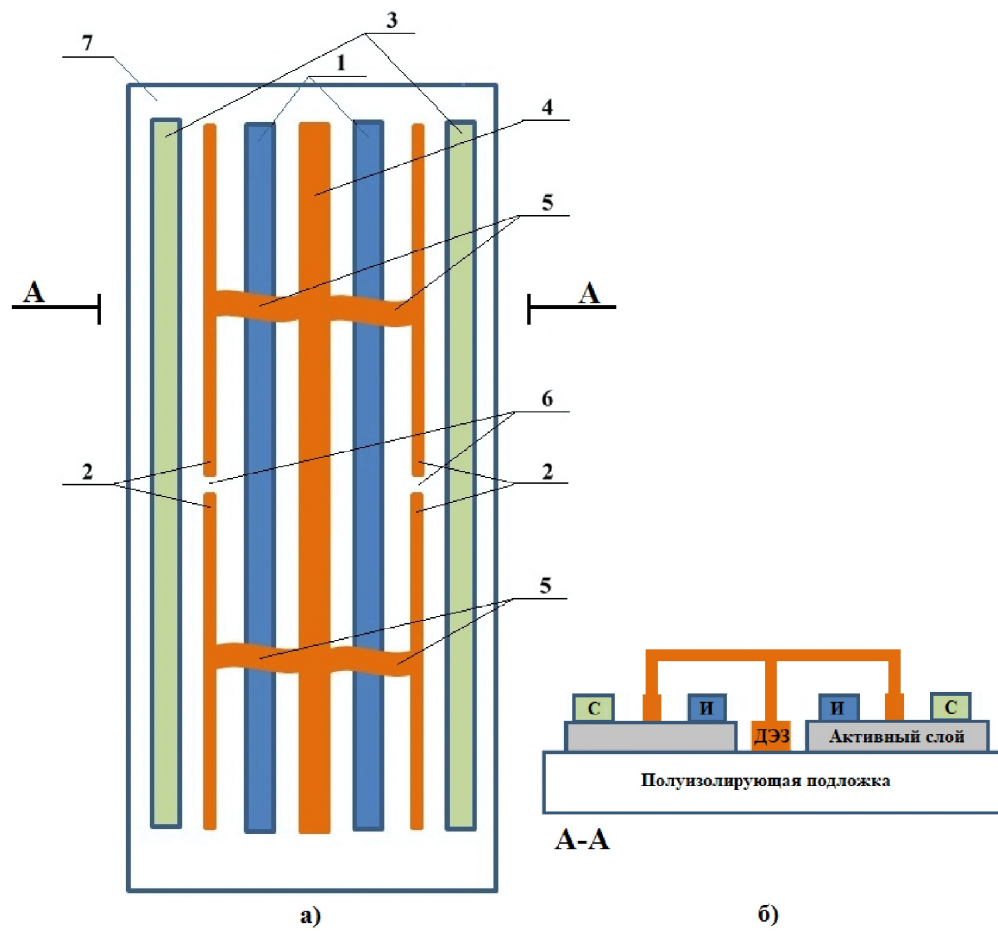
(a)



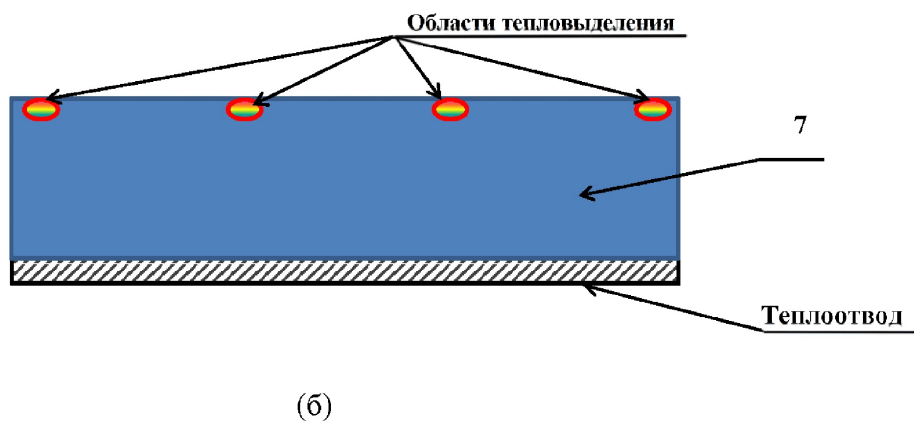
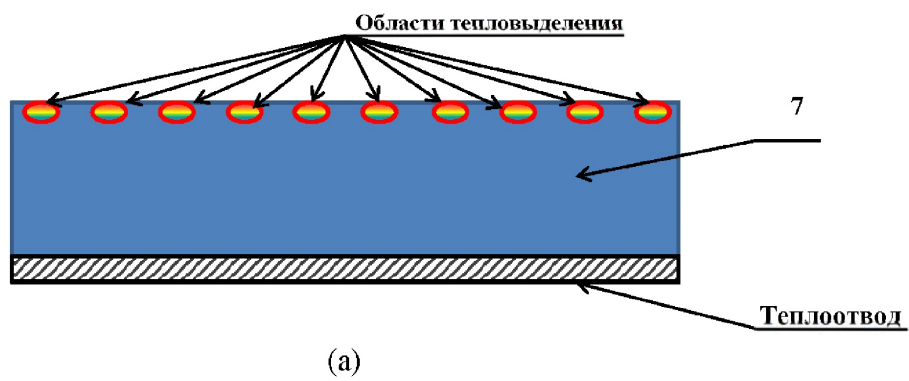
(б)

Фиг. 1

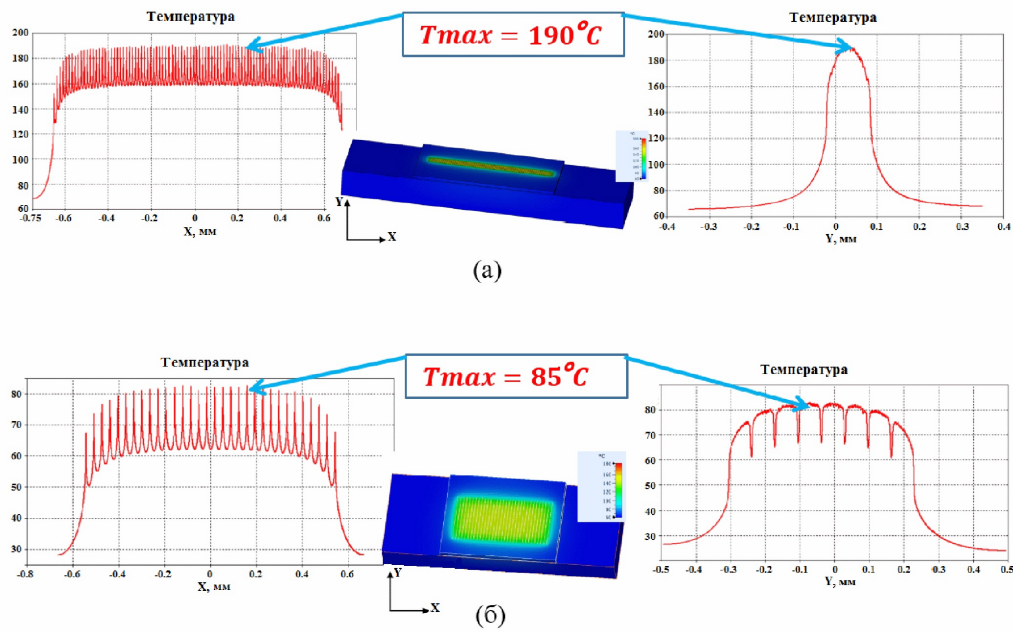
2



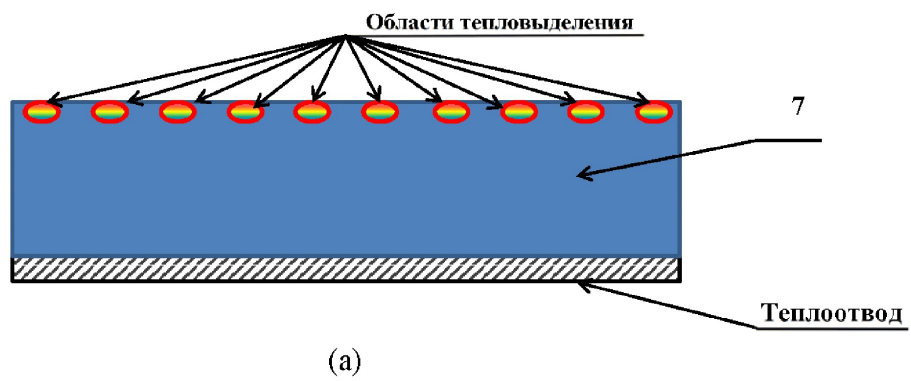
Фиг. 2



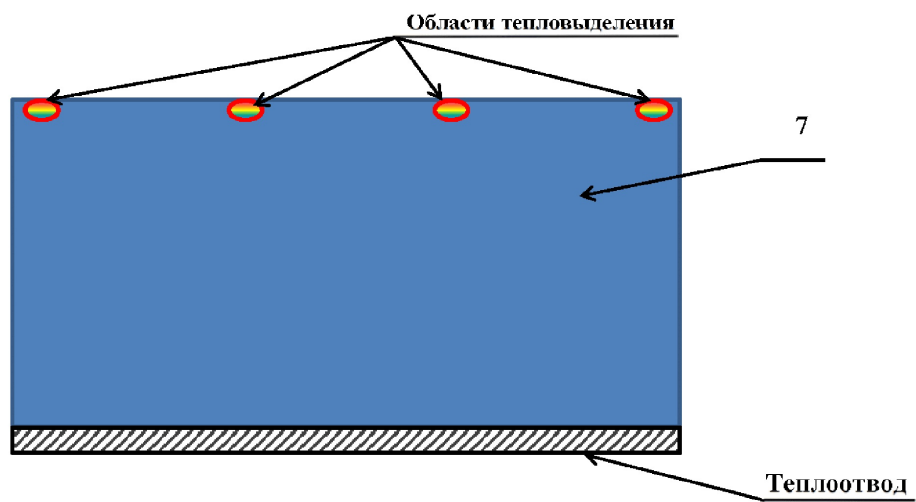
Фиг. 3



Фиг. 4

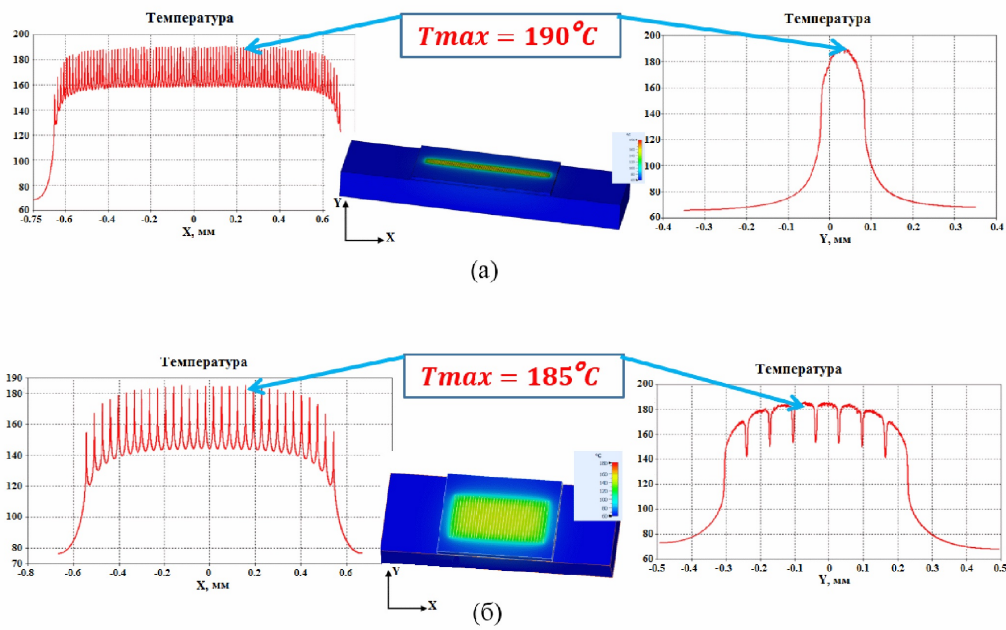


(a)



(б)

Фиг. 5



Фиг. 6