



НИИЭТ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

ЭЛЕМЕНТ



Тема семинара:

АО «НИИЭТ» - 65 лет от идеи до современных продуктов

СВЧ ТРАНЗИСТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА АО «НИИЭТ»:

ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА



г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 5.



Приемная: +7 (473) 226-20-35
Отдел маркетинга и сбыта: +7 (473) 280-22-94

СВЧ ТРАНЗИСТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА АО «НИИЭТ»



Кремниевые биполярные
(RF Power BJT)

Кремниевые полевые
(RF Power DMOS FET)

Кремниевые полевые
(RF Power LDMOS FET)

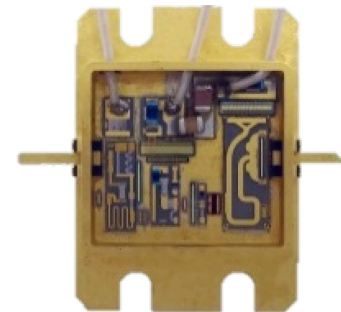
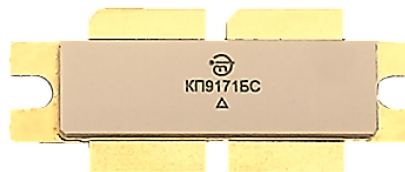
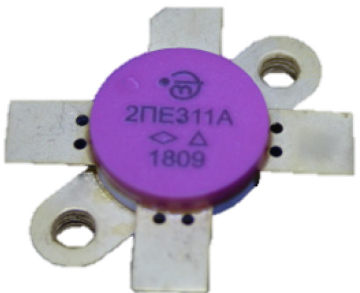
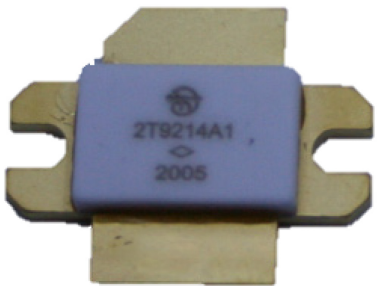
Нитрид-галлиевые
на подложке карбида кремния
(GaN-on-SiC)

$P_{\text{вых}}$ до 800 Вт
 f до 1.55 ГГц
 $U_{\text{пит}}$ – 7.5, 12.5, 28, 50 В

$P_{\text{вых}}$ до 600 Вт
 f до 500 МГц
 $U_{\text{пит}}$ – 12.5, 28, 50 В

$P_{\text{вых}}$ до 1 200 Вт
 f до 1,55 ГГц
 $U_{\text{пит}}$ – 28, 50 В

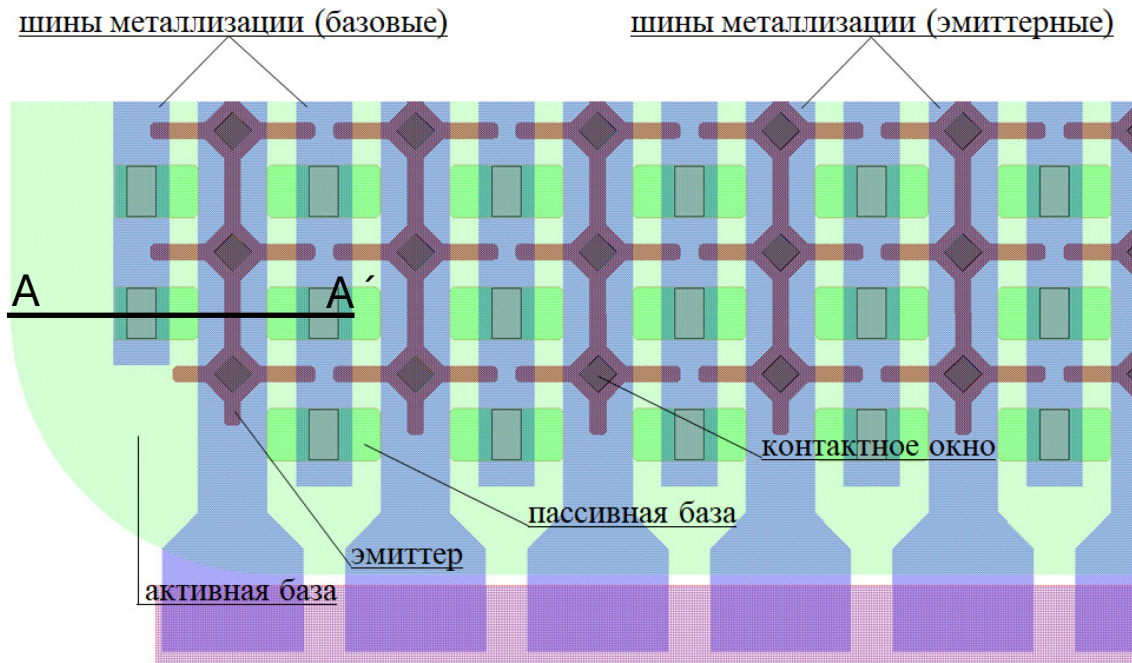
$P_{\text{вых}}$ до 400 Вт
 f – 1,6-8,5 ГГц
 $U_{\text{пит}}$ – 28, 50 В



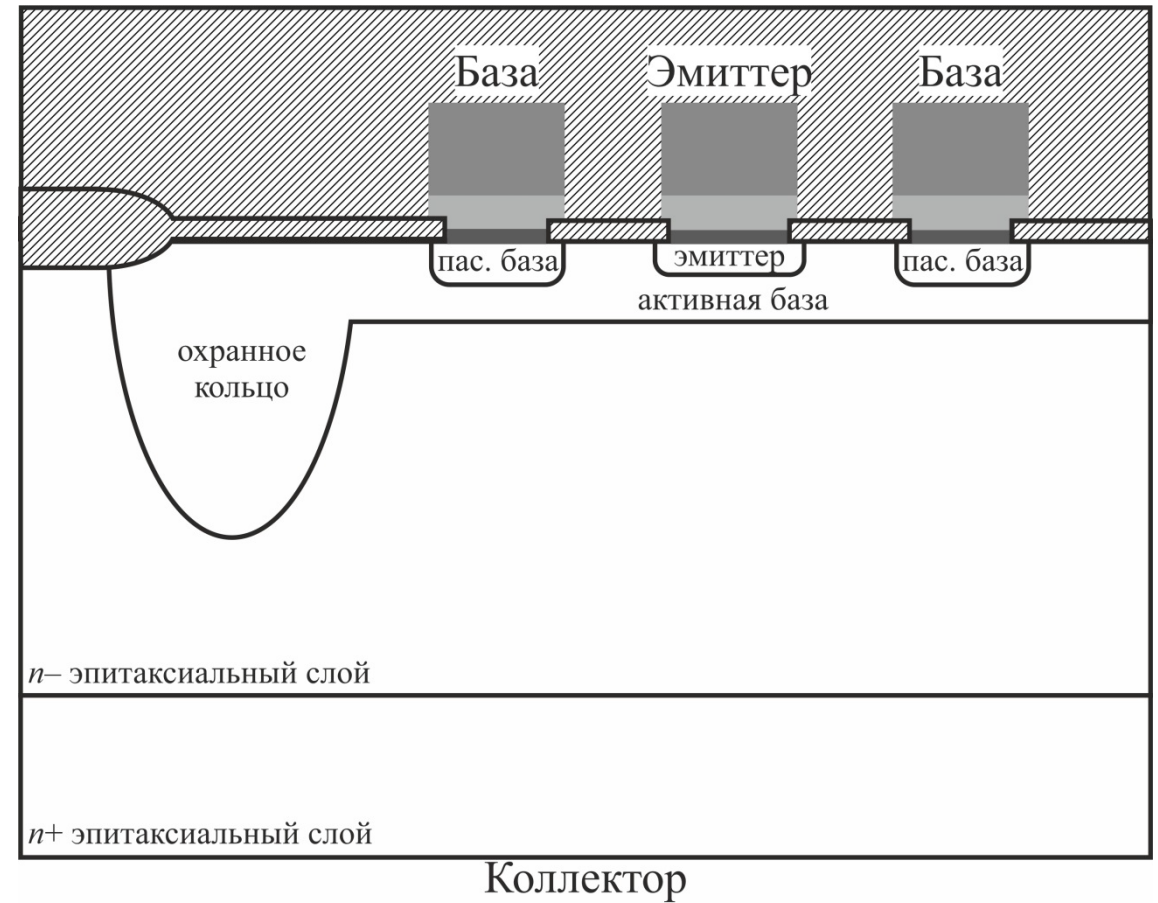
КРЕМНИЕВЫЕ БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ



2Т904А – 1968 г., первый мощный СВЧ транзистор производства АО «НИИЭТ» (совместно с АО «Пульсар»)



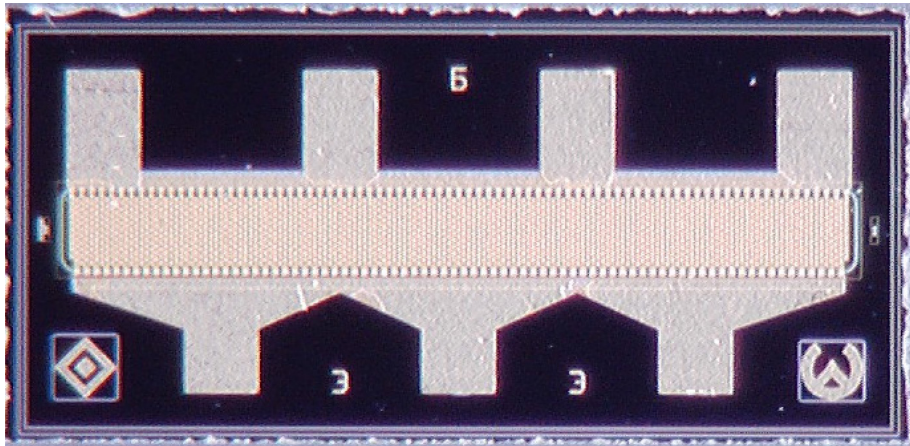
Топология элементарной ячейки СВЧ биполярного транзистора



Схематическое изображение структуры вдоль среза А-А'

КРЕМНИЕВЫЕ БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Развитие	Методы легирования	Металлизация	Глубина эмиттера	Толщина базы	Мин. размер
Вчера	Диффузия	Al	1,6 мкм	0,8 мкм	3,0 мкм
Сегодня	Ионное легирование	Ti / Pt / Au	0,32 мкм	0,21 мкм	1,5 мкм



Топология СВЧ биполярного транзисторного кристалла

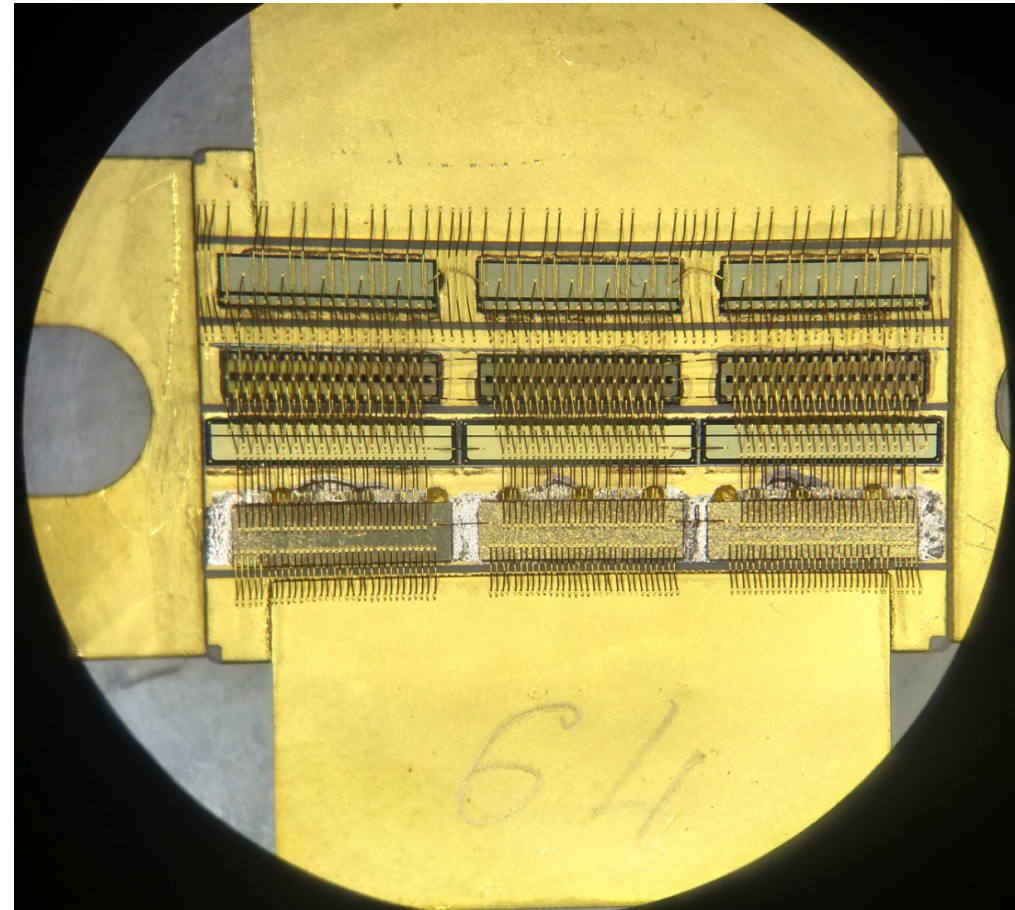
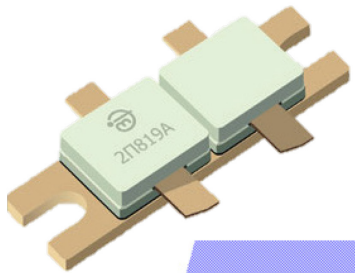
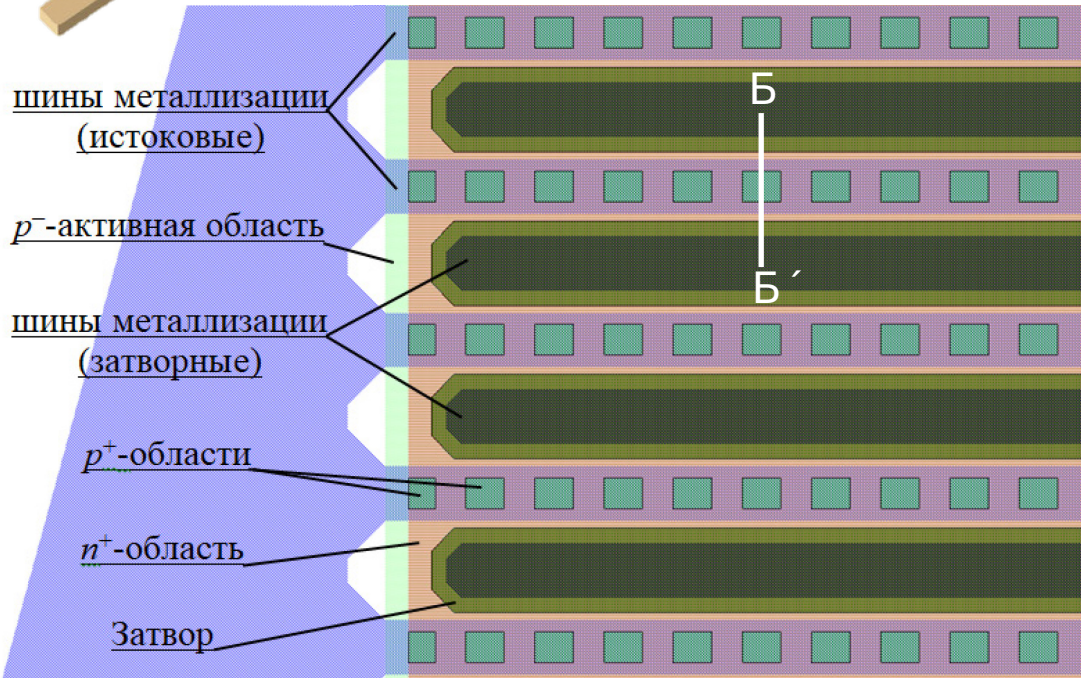


Фото разварки СВЧ биполярного транзистора

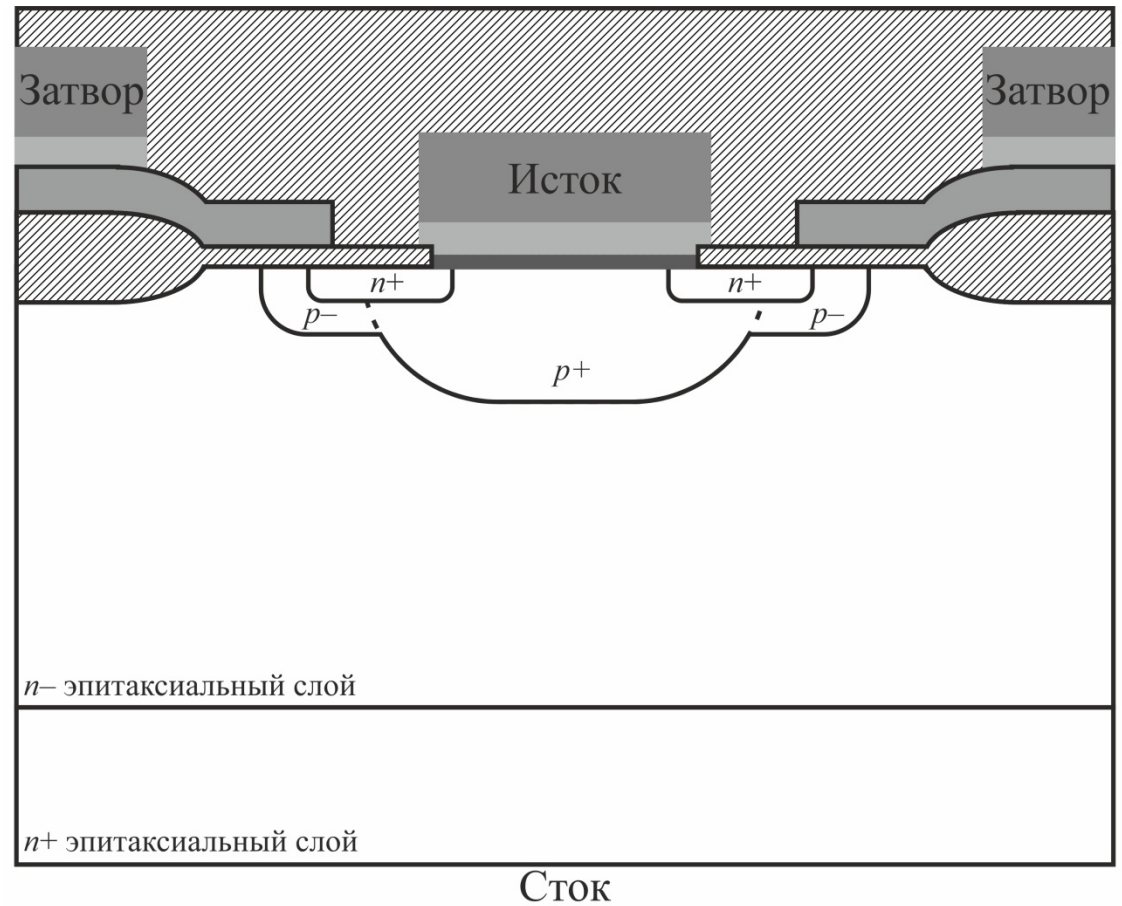
КРЕМНИЕВЫЕ DMOS-ТРАНЗИСТОРЫ



2П977А, 2П819А – 2005 г., первые DMOS-транзисторы производства АО «НИИЭТ»



Топология элементарной ячейки СВЧ DMOS-транзистора

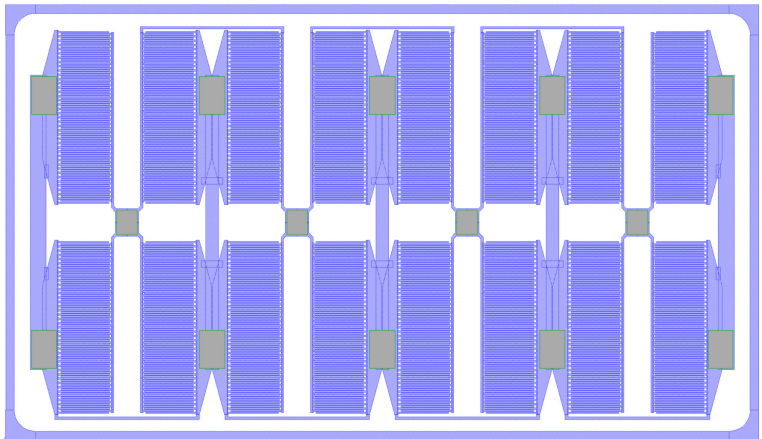


Схематическое изображение структуры вдоль среза Б-Б'

КРЕМНИЕВЫЕ DMOS-ТРАНЗИСТОРЫ

- Недостатки DMOS (по сравнению с LDMOS):
- требуется изоляция стока от фланца корпуса, т.е. применение бериллиевой керамики
- высокая индуктивность истоковых выводов снижает коэффициент усиления
- большая $C_{\text{прох}}$ ввиду перекрытия затвором n -эпитаксиального слоя

Итог: диапазон рабочих частот до 1000 МГц



Топология СВЧ DMOS-транзисторного кристалла

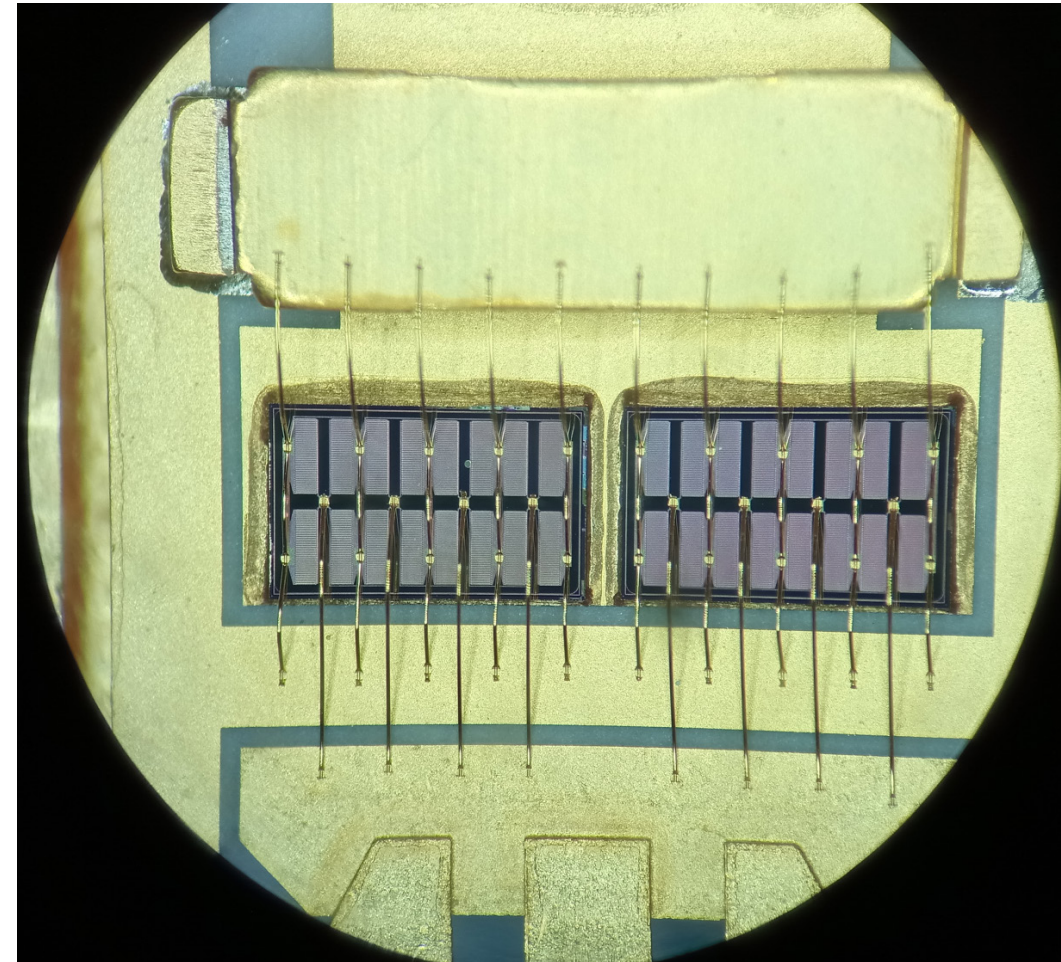
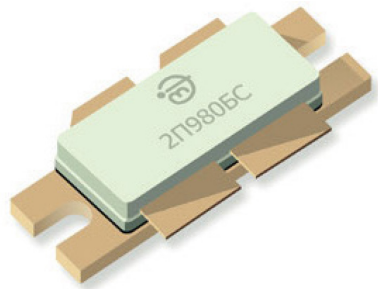
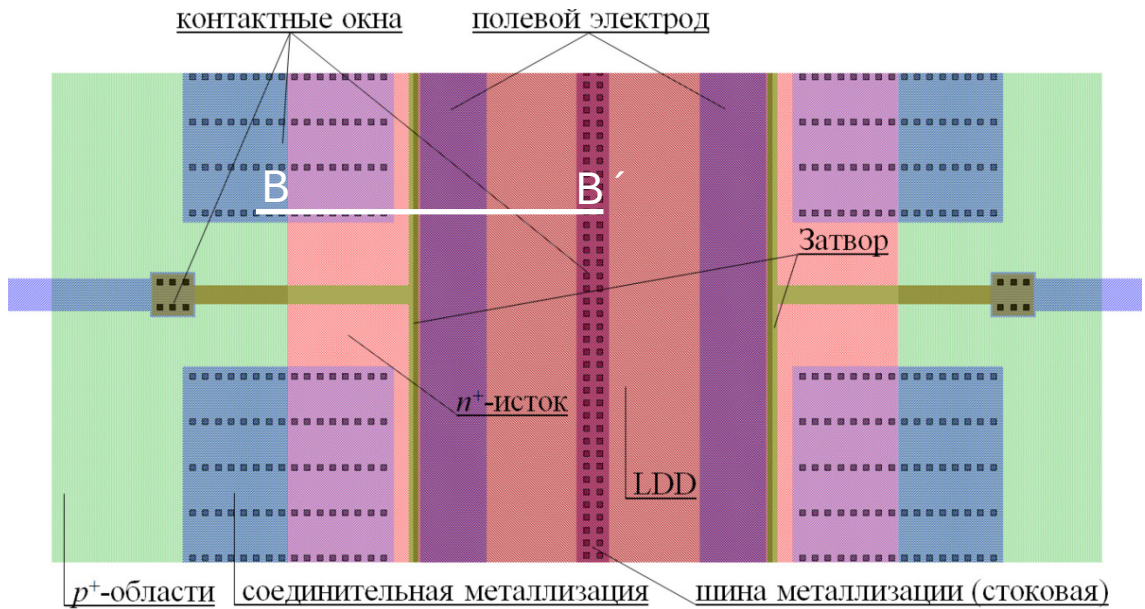


Фото разварки СВЧ DMOS-транзистора

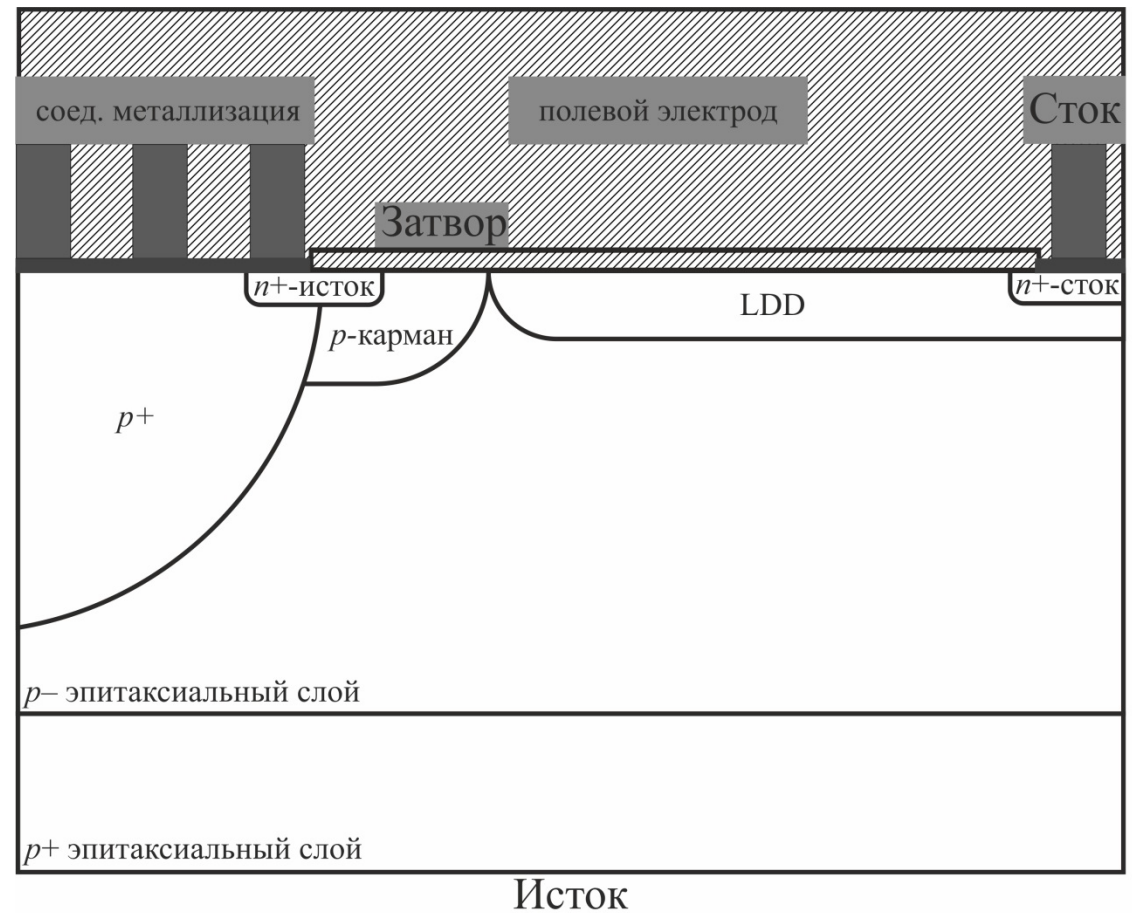
КРЕМНИЕВЫЕ LDMOS-ТРАНЗИСТОРЫ



2П980А, 2П980БС – 2006 г., первые LDMOS-транзисторы производства АО «НИИЭТ»



Топология элементарной ячейки СВЧ LDMOS-транзистора

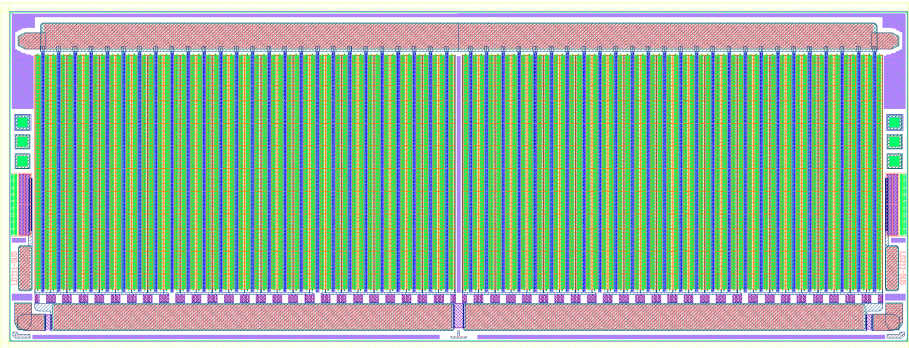


Схематическое изображение структуры вдоль среза В-В'

КРЕМНИЕВЫЕ LDMOS-ТРАНЗИСТОРЫ

Современные LDMOS-транзисторы:

- интегрированная ESD-защита, способная функционировать при подаче напряжений любой полярности
- резисторы в цепи затвора и между затворными контактными площадками
- интегрированный MIM-конденсатор (опционально)



Топология СВЧ LDMOS-транзисторного кристалла

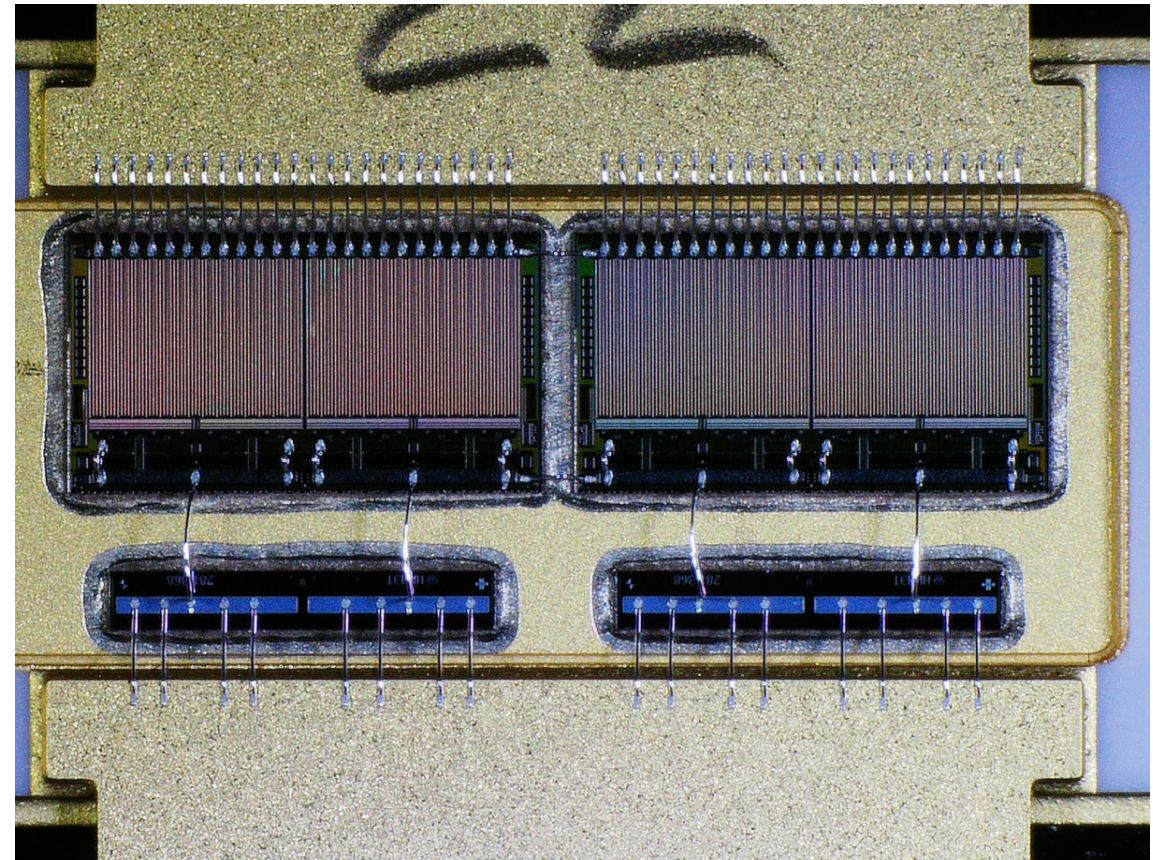


Фото разварки СВЧ LDMOS-транзистора

ПОКОЛЕНИЯ LDMOS-ТРАНЗИСТОРОВ

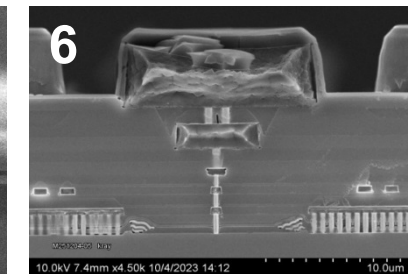
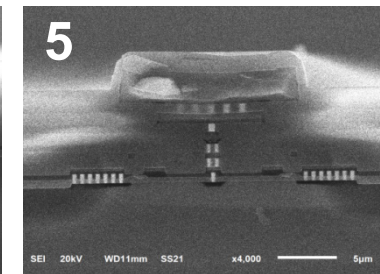
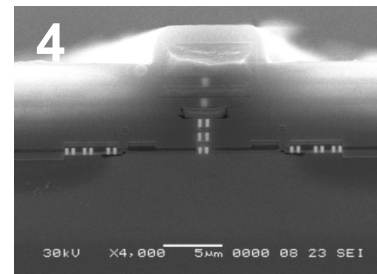
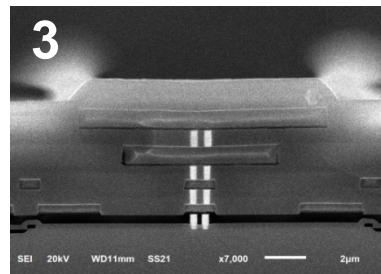
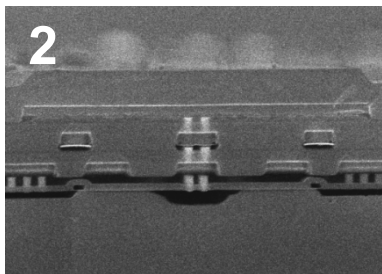
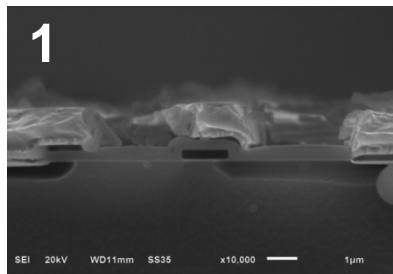
Технологические различия разных поколений мощных СВЧ LDMOS-транзисторов производства АО «НИИЭТ»

Поколение	1	2	3	4	5	6
НИР/ОКР	Локомотив	Основа-Пламя-НИИЭТ	Дискрет-6	Дискрет-19	Планка	LDMOS-DTV
Год появления	2006	2013	2013	2014	2023	2024
Напряжение питания	28 В	28 В	50 В	50 В	50 В	50 В
Мин. топ. размер	1,8 мкм	0,18 мкм	0,18 мкм	0,18 мкм	0,18 мкм	0,18 мкм
Система металлизации	1 слой ($D = 1$ мкм)	3 слоя ($D_{\text{макс}} = 1$ мкм)	4 слоя ($D_{\text{макс}} = 1$ мкм)	5 слоев ($D_{\text{макс}} = 3$ мкм)	5 слоев ($D_{\text{макс}} = 3$ мкм)	5 слоев ($D_{\text{макс}} = 5$ мкм)
Полевой электрод	Нет	Металл Al 1	Металл Al 1	Металл Al 1	Металл Al 1 Слой TiN	3 слоя TiN
LDD-область	равномерная	равномерная	равномерная	равномерная	равномерная	Сложная (4 профиля)
MIM-конденсатор	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да

ПОКОЛЕНИЯ LDMOS-ТРАНЗИСТОРОВ

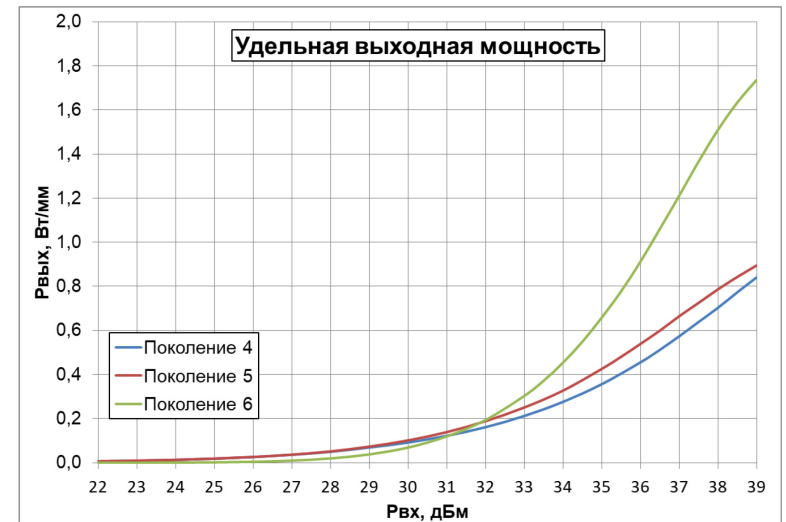
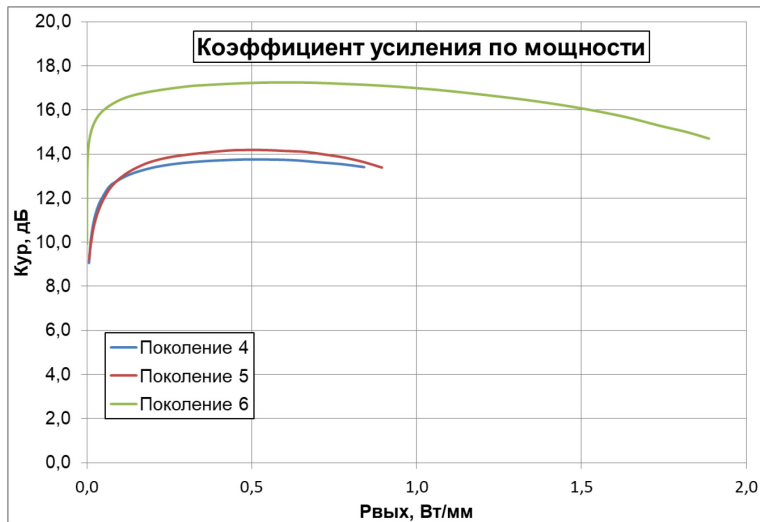
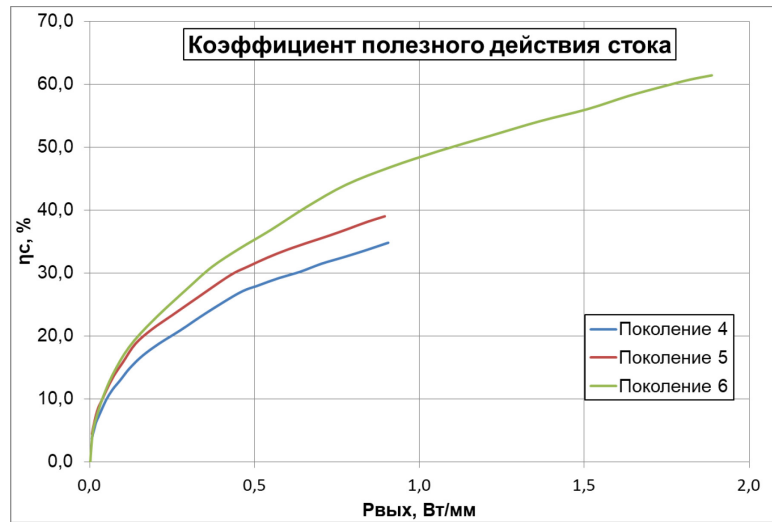
Удельные электрические параметры разных поколений мощных СВЧ LDMOS-транзисторов производства АО «НИИЭТ»

Наименование параметра	1 поколение	2 поколение	3 поколение	4 поколение	5 поколение	6 поколение	11 поколение ф. Ampleon
Ток стока насыщения, А/мм	0,190	0,190	0,191	0,194	0,205	0,216	0,212
Крутизна, А/(В*мм)	0,014	0,013	0,039	0,039	0,054	0,101	0,086
Сопротивление сток-исток в отк. сост., Ом*мм	52,50	29,90	30,51	30,62	22,77	21,00	20,42
Емкость сток-исток, пФ/мм	1,43	0,74	0,36	0,35	0,33	0,29	0,28
Емкость сток-затвор, фФ/мм	166,67	16,09	3,43	3,38	10,14	2,80	3,00
Емкость затвор-исток, пФ/мм	0,714	0,448	0,594	0,594	0,592	1,130	0,990



ПОКОЛЕНИЯ LDMOS-ТРАНЗИСТОРОВ

Радиочастотные характеристики поколений мощных СВЧ LDMOS-транзисторов производства АО «НИИЭТ»



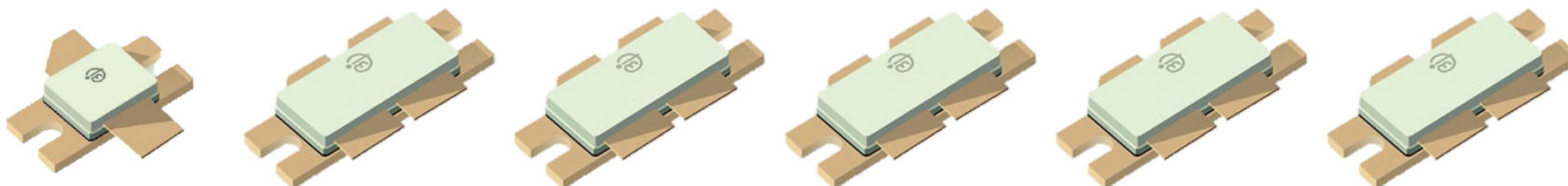
* радиочастотные параметры измерены на частоте 1550 МГц в импульсном режиме:
 $T_{и} = 3,5$ мс, $Q = 10$ (настройка на максимальную выходную мощность)

СВЧ LDMOS-ТРАНЗИСТОРЫ ДЛЯ ПЕРЕДАТЧИКОВ ЦИФРОВОГО ЭФИРНОГО ТЕЛЕВЕЩАНИЯ

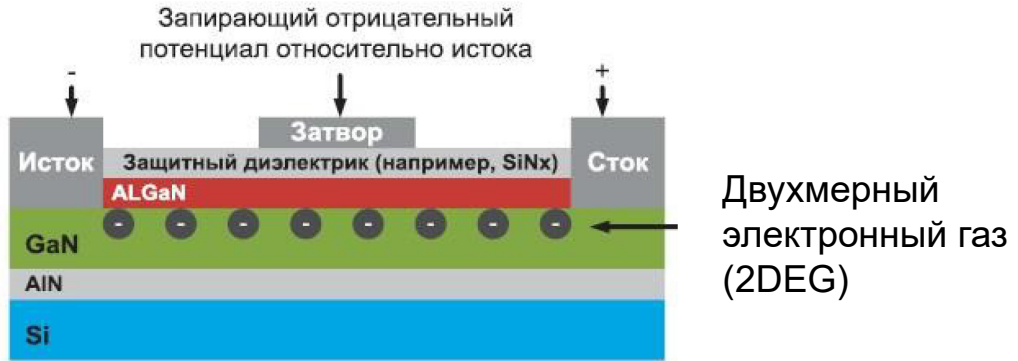
КП9171А	КП9171БС	КП9171ВС	КП9171ГС	КП9169АС	КП9169БС
$P_{\text{ВЫХ ПО}} = 140 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 860 \text{ МГц}$ $K_{\text{УР}} = 20 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 45 \%$ $M_3 = -30 \text{ дБ}$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ CW	$P_{\text{ВЫХ}} = 180 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 550 \text{ МГц}$ $K_{\text{УР}} = 18,6 \text{ дБ}$ $\text{IMD}_{\text{SHLDR}} = -33 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ CW	$P_{\text{ВЫХ}} = 135 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 700 \text{ МГц}$ $K_{\text{УР}} = 19 \text{ дБ}$ $\text{IMD}_{\text{SHLDR}} = -25 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 30 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ CW	$P_{\text{ВЫХ И}} = 1200 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 500 \text{ МГц}$ $K_{\text{УР}} = 18 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ $Q = 10$ $T_{\text{и}} = 2 \text{ мс}$	$P_{\text{ВЫХ И}} = 250 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 12,14 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 12 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 45 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ $Q = 5$ $T_{\text{и}} = 4 \text{ мс}$	$P_{\text{ВЫХ И}} = 500 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 12,14 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 12 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 45 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ $Q = 5$ $T_{\text{и}} = 4 \text{ мс}$
КТ-55С-1	КТ-103А-2	КТ-103А-2	КТ-103А-2	КТ-103А-2	КТ-103А-2

Отличительные особенности:

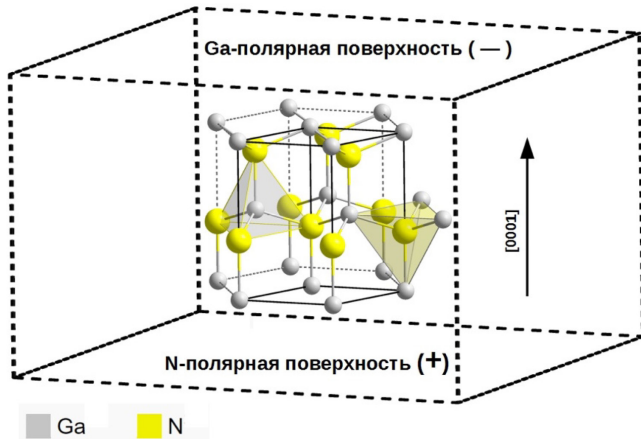
Транзисторы разработаны под требования для передатчиков сигнала стандартов DVB-T/DVB-T2 с учетом обеспечения высоких значений коэффициента усиления по мощности и коэффициента полезного действия.



GaN-ТРАНЗИСТОРЫ



Схематическое изображение сечения СВЧ GaN-транзистора



Кристаллическая решетка GaN

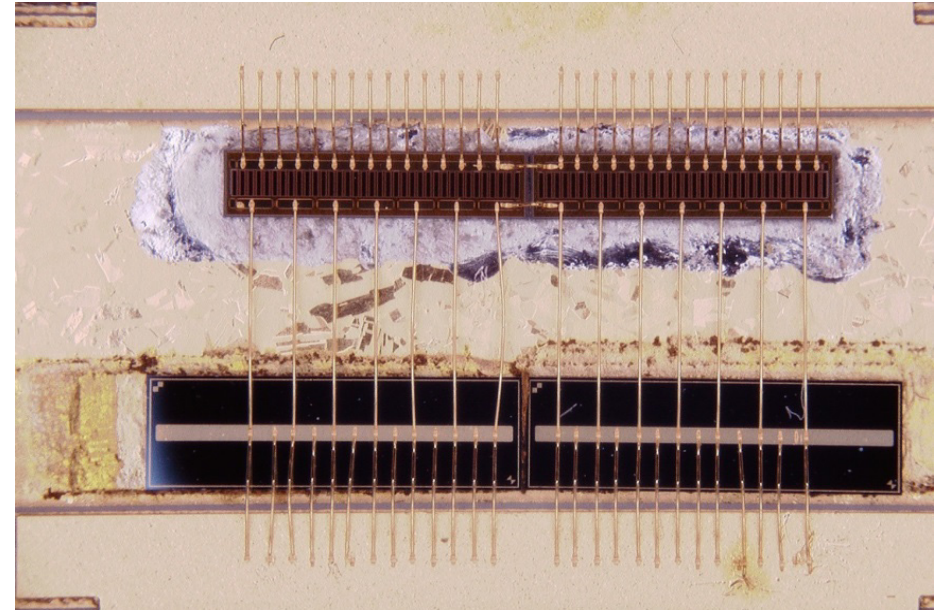
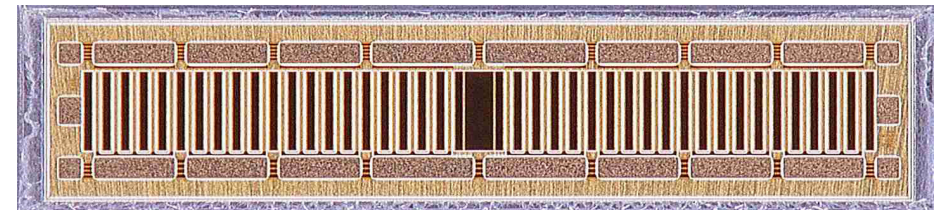


Фото разварки СВЧ GaN-транзистора



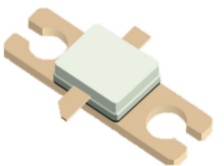
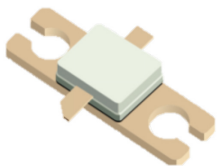
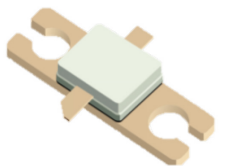
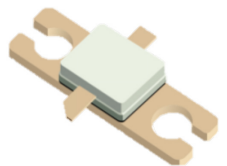
Топология СВЧ GaN-транзисторного кристалла

НОМЕНКЛАТУРА СВЧ GaN-ТРАНЗИСТОРОВ

ПП9136А	ПП9137А	ПП9138А	ПП9136Б	ПП9139А1	ПП9139Б1
$P_{\text{ВЫХ}} = 5 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 4 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 16 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 28 \text{ В}$ CW	$P_{\text{ВЫХ}} = 10 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 4 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 12 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 28 \text{ В}$ CW	$P_{\text{ВЫХ}} = 15 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 4 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 11 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 28 \text{ В}$ CW	$P_{\text{ВЫХ}} = 25 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 4 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 9 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 28 \text{ В}$ CW	$P_{\text{ВЫХ}} = 50 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 2,9 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 13 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 28 \text{ В}$ CW	$P_{\text{ВЫХ}} = 100 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 1,5 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 13 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 45 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 28 \text{ В}$ CW
КТ-81С	КТ-81С	КТ-81С	КТ-81С	КТ-55С-1	КТ-55С-1

Сферы применения:

- Связь
- Медицинская техника
- Радиосвязь и телекоммуникации
- Радиолокация и навигация
- Авиация

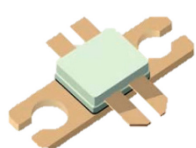


НОМЕНКЛАТУРА СВЧ GaN-ТРАНЗИСТОРОВ

ПП9170А	ПП9170Б	ПП9170В	ПП9170Г	ПП9170Д	ПП9170Е
$P_{\text{ВЫХ И}} = 200 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 2 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 13 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ $Q = 10$ $T_{\text{И}} = 300 \text{ мкс}$	$P_{\text{ВЫХ И}} = 100 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 3,1 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 11 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ $Q = 10$ $T_{\text{И}} = 300 \text{ мкс}$	$P_{\text{ВЫХ И}} = 150 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 3,1 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 12 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 55 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ $Q = 10$ $T_{\text{И}} = 300 \text{ мкс}$	$P_{\text{ВЫХ И}} = 50 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 4 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 12 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ $Q = 10$ $T_{\text{И}} = 300 \text{ мкс}$	$P_{\text{ВЫХ И}} = 100 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 4 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 13 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 50 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 50 \text{ В}$ $Q = 10$ $T_{\text{И}} = 300 \text{ мкс}$	$P_{\text{ВЫХ И}} = 50 \text{ Вт}$ $f_{\text{ТЕСТ}} = 6 \text{ ГГц}$ $K_{\text{УР}} = 12 \text{ дБ}$ $\eta_{\text{С}} = 45 \%$ $U_{\text{ПИТ}} = 45 \text{ В}$ $Q = 10$ $T_{\text{И}} = 300 \text{ мкс}$
КТ-55С-1	КТ-55С-1	КТ-55С-1	КТ-81	КТ-55С-1	КТ-81

Сферы применения:

- Связь
- Медицинская техника
- Радиосвязь и телекоммуникации
- Радиолокация и навигация
- Авиация



НОМЕНКЛАТУРА СИЛОВЫХ GaN-ТРАНЗИСТОРОВ

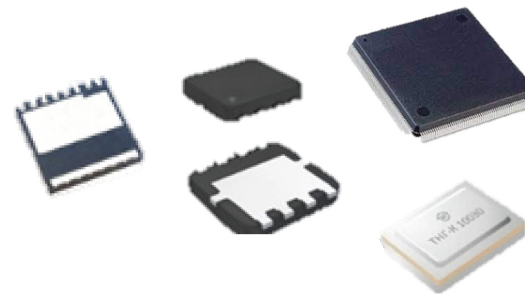
Обозначение	Максимально допустимое напряжение сток-исток, $U_{СИ}$, В	Постоянный ток стока I_C , А	Диапазон рабочих температур, °С
ТНГ-К 10030	100	30	-55 +150
ТНГ-К 20020	200	20	-55 +150
ТНГ-К 20040	200	40	-55 +150
ТНГ-К 65020	650	20	-55 +150
ТНГ-К 65030	650	30	-55 +150
ТНГ-К 65050	650	50	-55 +150

Сферы применения:

Применяются в широком спектре изделий: в зарядных устройствах для различных гаджетов, электромобилей, в системах управления электродвигателями, системах преобразования электрической энергии для альтернативных источников (солнечные батареи, ветрогенераторы), системах питания беспроводных устройств и космических аппаратов, в робототехнике, в медицинских изделиях и многом другом.

Отличительные особенности:

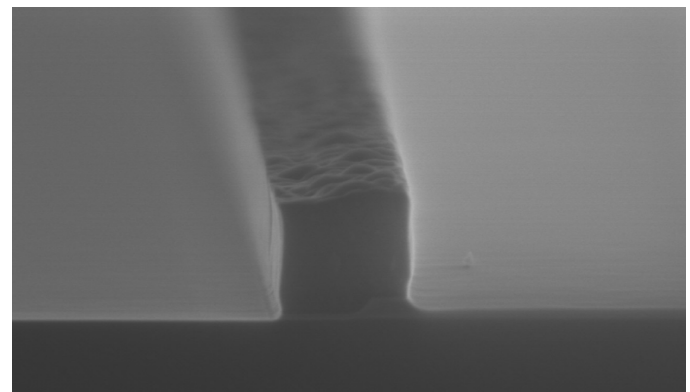
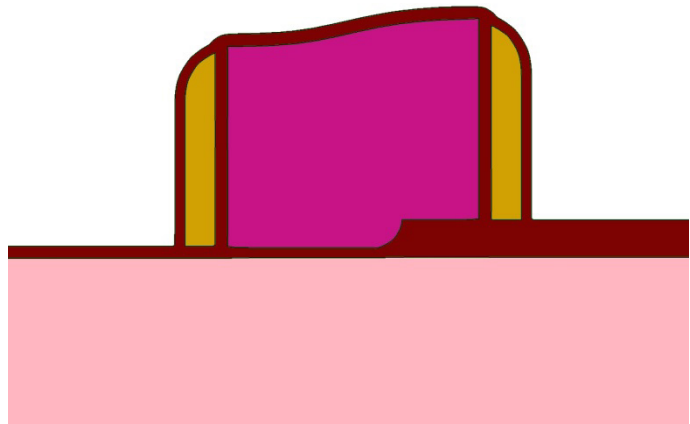
- Быстрое и контролируемое время спада и нарастания;
- Облегченные требования к затворному драйверу (от 0 В до 6 В);
- Поставляется в металлокерамическом или пластиковом корпусах.



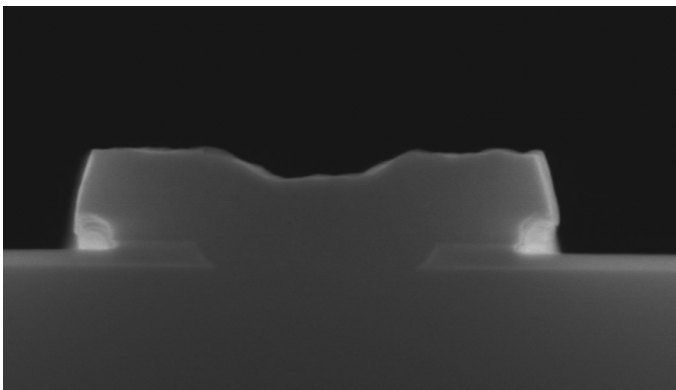
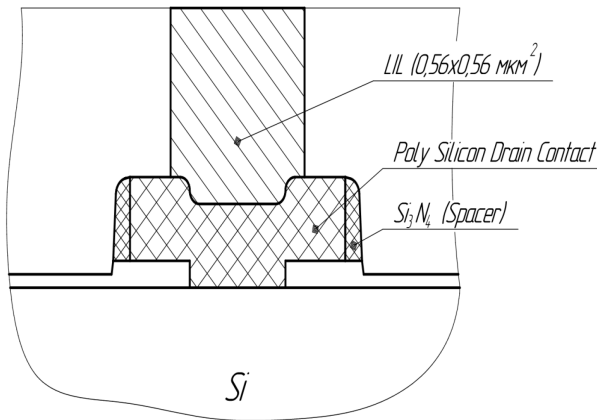
БУДУЩЕЕ: LDMOS-ТРАНЗИСТОРЫ

7-ое поколение СВЧ LDMOS-транзисторов:

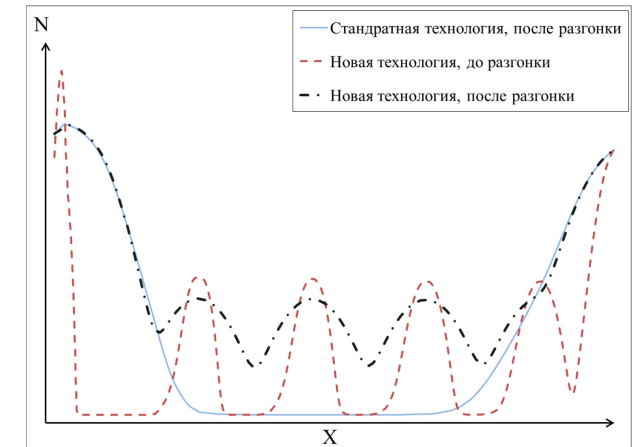
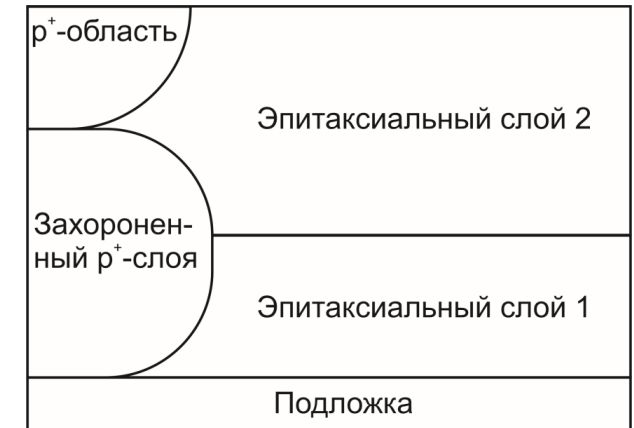
1. Увеличение толщины поликремниевого затвора



2. Создание стоковых контактов через слой поликремния



3. Внедрение многостадийного эпитаксиального наращивания с захороненными p⁺-слоями



БУДУЩЕЕ: GaN-ТРАНЗИСТОРЫ

Ведущиеся работы по GaN-направлению:

АП901А, АП901Б – СВЧ транзисторы на основе отечественных GaN-транзисторных кристаллов

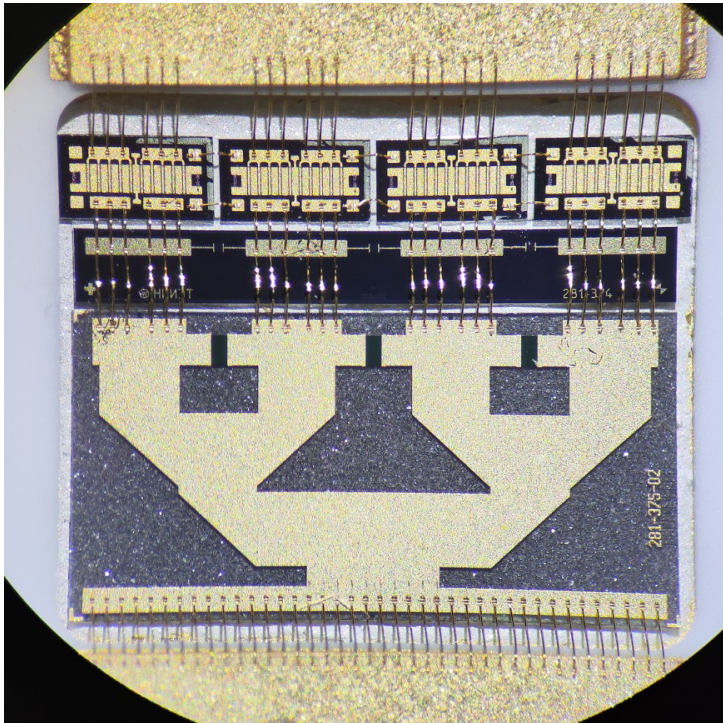


Фото разварки транзистора АП901Б

АП902А, АП902Б, АП902В, АП902Г – новое поколение СВЧ GaN-транзисторов

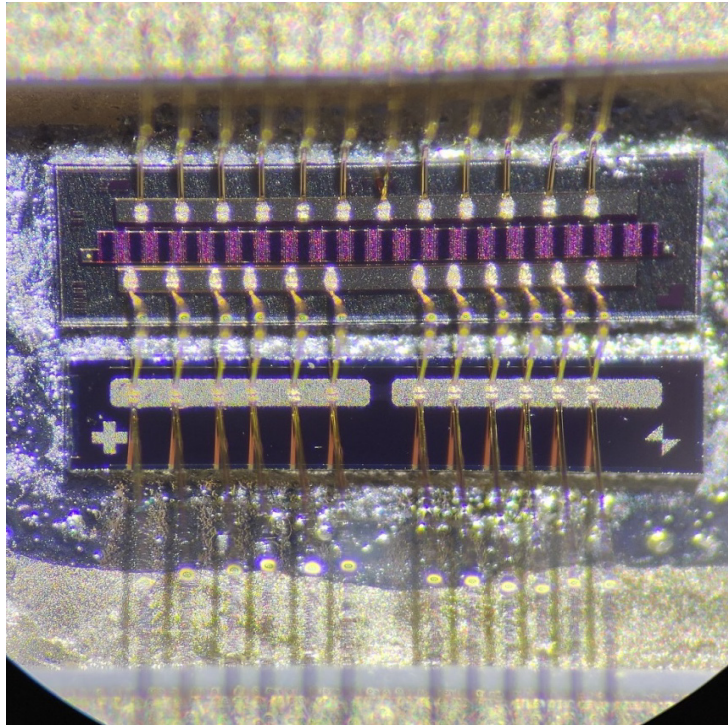


Фото разварки транзистора АП902В

Аванпроект по созданию задела для догерти GaN-транзистор для применения в составе базовых станций 5G

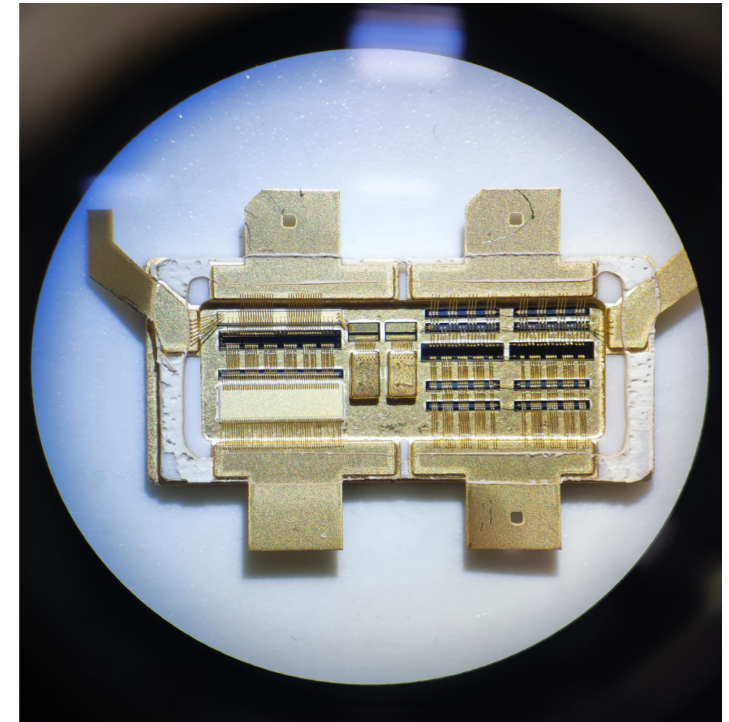


Фото разварки зарубежного аналога



ССЫЛКИ НА РЕСУРСЫ:



Сайт АО «НИИЭТ»



Продукция
АО «НИИЭТ»



Каталоги
АО «НИИЭТ»



Русская
электроника



Репозиторий



Тема семинара:

АО «НИИЭТ» - 65 лет от идеи до современных продуктов

БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!



г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 5.



Приемная: +7 (473) 226-20-35

Отдел маркетинга и сбыта: +7 (473) 280-22-94