



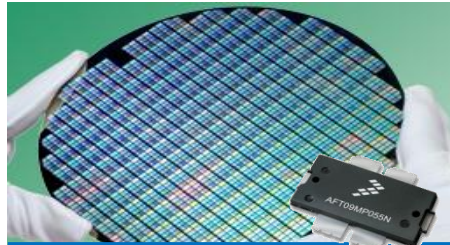
# Развитие технологической платформы на основе $\text{GaN}(\text{Si})$ для силовой электроники





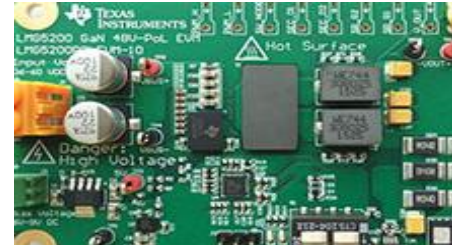
Эпитаксия  
GaN-on-Si

- Использование зарубежных подложек GaN (Si)
- Серийное производство АО «Эпиэл»



Микросхемы до 100 ГГц  
Материал: GaN на Si

- НИУ МИЭТ - Разработка технологии
- АО «ЗНТЦ» отработка техпроцессов, контрактное производство



СВЧ модули  
и устройства

- Изготовление силовых модулей для источников питания, приемо-передающих модулей для систем связи



Аппаратура связи

- Интеграция в аппаратуру через предприятия холдинга «Росэлектроника» и прибористов

## ДОРОЖНАЯ КАРТА

2019

Подготовка проектной документации

2020

Подготовка ЧПП  
(45,2 млн. руб.)

2021

Поставка оборудования  
(554,8 млн. руб.)

2022

Начало серийного производства

## ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА GAN:

### Силовая электроника:

- высокая плотность тока
- высокая электрическая прочность
- высокая частота переключений
- высокая рабочая температура
- минимальный уровень шумов

### СВЧ электроника:

- высокая эффективность
- высокая плотность мощности
- низкая емкость
- широкая полоса частот
- малый размер

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА GAN(Si):

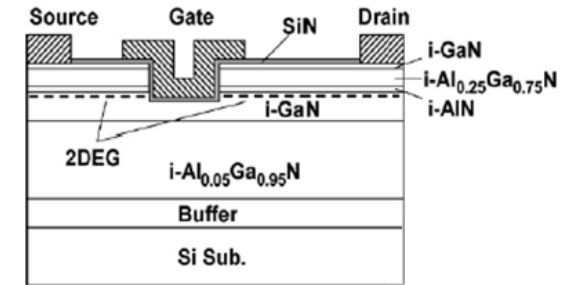
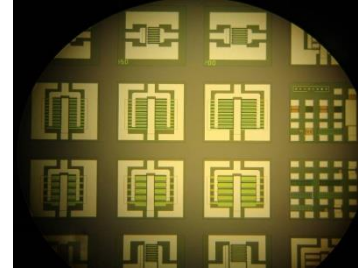
Имеющееся МЭМС производство на 80% подходит для данной технологии.

- Интеграция различных технологий на уровне кристалла
- Низкая стоимость изготовления
- Высокая теплопроводность: соизмерима с Si и SiC (150 и 350 Вт/м·К соответственно)

## Статус проекта:

- Разработана и испытана конструкция гетероструктуры, GaN транзисторов;
- Разработан и опробирован технологический маршрут на пластинах 150 мм ;
- Получены лабораторные образцы СВЧ и силовых транзисторов, получены лабораторные образцы МИС усилителей;
- Проведены измерения функциональных и технических параметров.

## Полевые транзисторы GaN (Si)



## Ближайшие планы до конца 2020 г.:

- Получение первой опытной партии образцов пластин диаметром 150 мм

## Планы до конца 2021 г.:

- Постановка серийной технологии кристаллов высоковольтных транзисторов.

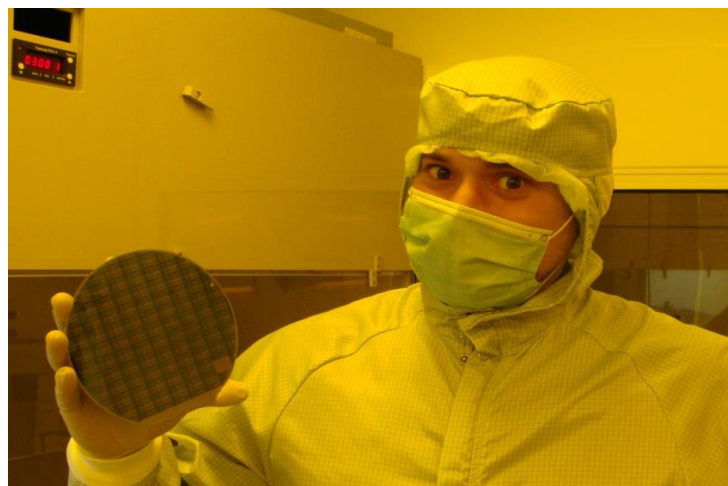
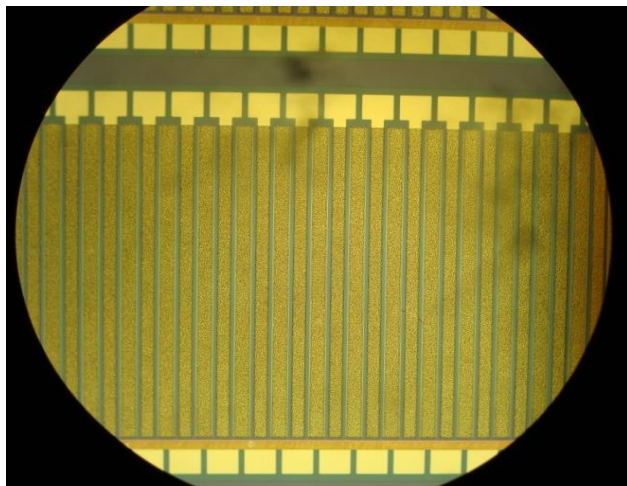
## Планы на начало 2022 г.:

- Начало серийного производства кристаллов высоковольтных транзисторов.

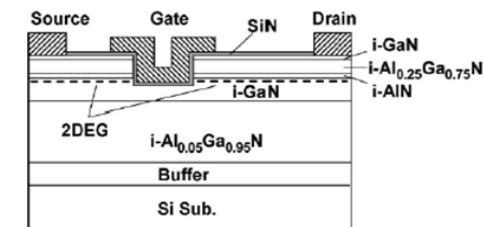
## Основные технические параметры линейки транзисторов на GaN:

- Пробивное напряжение 200, 400, 650 В;
- максимальные токи до 20 А;
- СВЧ транзисторы с рабочей частотой до 10 ГГц и мощностью до 40 Вт.

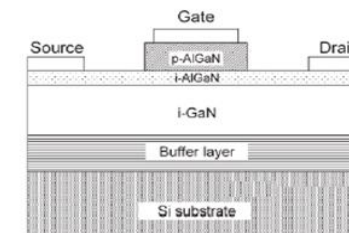
# ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОЩНЫХ GaN транзисторов на Si подложке диаметром 150 мм



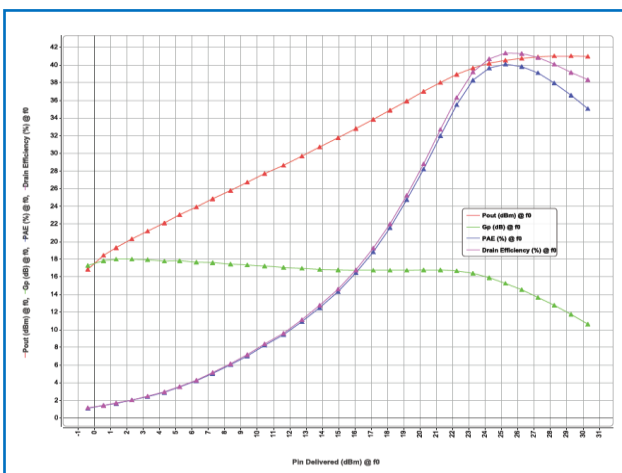
## Нормально закрытые транзисторы



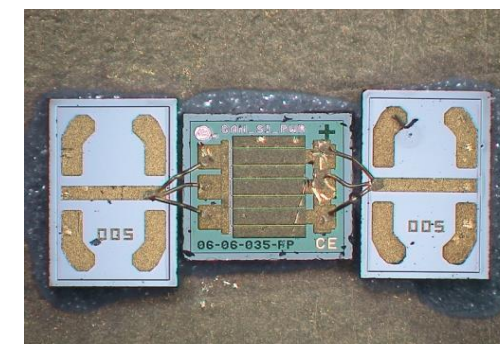
## С управляемым р затвором



## Нормально открытые транзисторы GaN-on-Si



Ширина транзистора: 2 мм  
 Длина затвора транзистора: 1,5 мкм  
 Рабочее напряжение: до 48 В  
 Рабочая частота: 4 ГГц  
 Выходная мощность: 14 Вт  
 Напряжение пробоя: 250 В  
 Напряжение отсечки: -3,5 В  
 Удельная мощность: 7 Вт/мм  
 КПД: 41%







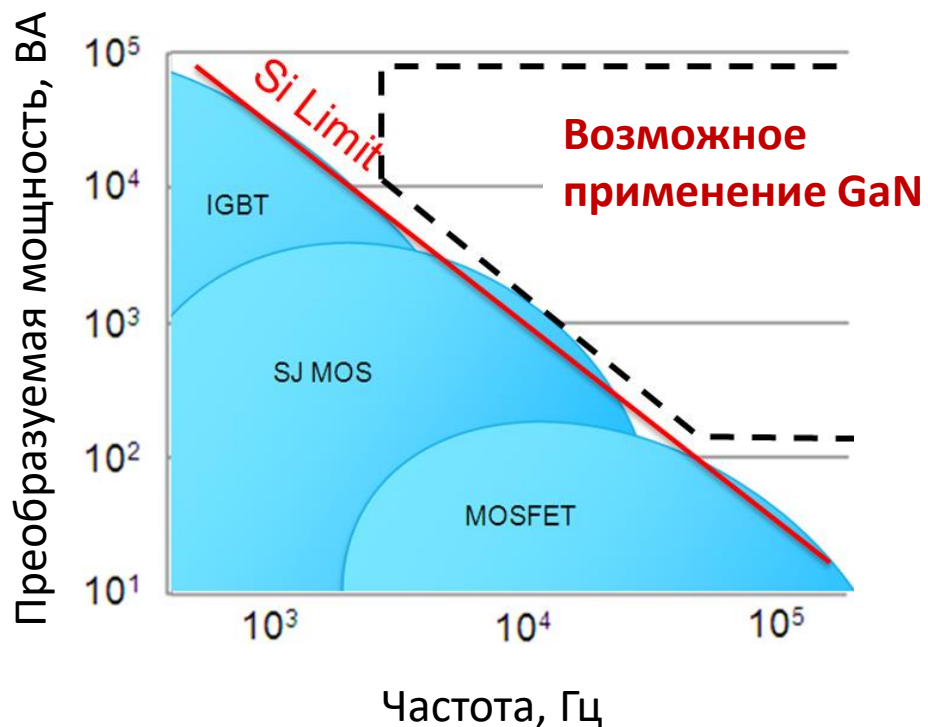
Стандартная схема GaN-транзистора

Схема eGaN<sup>®</sup>-транзистора от EPC

Метод	углубление затвора	обработка во фторсодержащей плазме	p-AlGaN cap p-GaN cap cap	NiOx cap cap
Плюсы	малый коллапс тока, эпитаксиальный рост	плотность тока эпитаксиальный рост	контроль порогового напряжения, высокие значения пробивного напряжения	контроль порогового напряжения, высокие значения пробивного напряжения
Минусы	контролируемость шероховатость нарушения решетки	контролируемость шероховатость надежность	эпитаксиальный рост, надежность	эпитаксиальный рост, надежность

1	ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОК И ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ	<ul style="list-style-type: none"><li>- фотолитография</li><li>- напыление TiAlNiAu</li><li>- «взрыв» фоторезиста</li><li>- вжигание омических контактов</li></ul>
2	ИЗОЛЯЦИЯ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	<ul style="list-style-type: none"><li>- фотолитография</li><li>- ионное легирование азотом</li><li>- снятие фоторезиста</li></ul>
3	ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗАТВОРОВ ТРАНЗИСТОРОВ	<ul style="list-style-type: none"><li>- фотолитография</li><li>- формирование каналов транзисторов</li><li>- напыление металла затвора Ni-Au</li><li>- «взрыв» фоторезиста</li></ul>
4	ИЗГОТОВЛЕНИЕ РАЗВОДКИ	<ul style="list-style-type: none"><li>- нанесение диэлектрика <math>\text{Si}_3\text{N}_4</math></li><li>- фотолитография</li><li>- напыление Ni-Au</li><li>- фотолитография</li><li>- травление <math>\text{Si}_3\text{N}_4</math></li><li>- «взрыв» фоторезиста</li></ul>
5	УТОНЕНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ	<ul style="list-style-type: none"><li>- приклейка на носитель и утонение</li><li>- фотолитография по обратной стороне</li><li>- травление отверстий</li><li>- напыление и гальваническое наращивание</li></ul>

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ И МИС



DC-DC, DC-AC преобразователи  
для возобновляемых источников  
электроэнергии



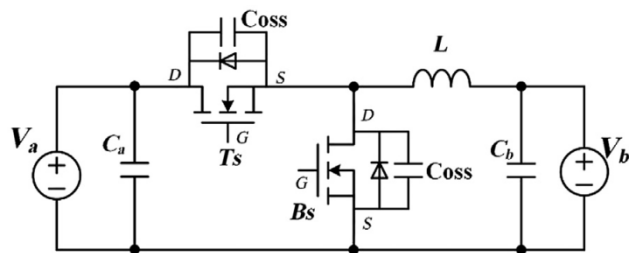
Системы хранения, преобразования  
и распределения электроэнергии  
в ЦОД



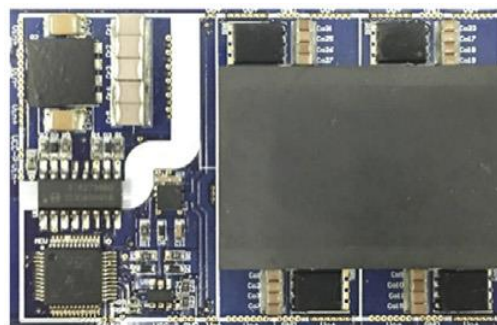
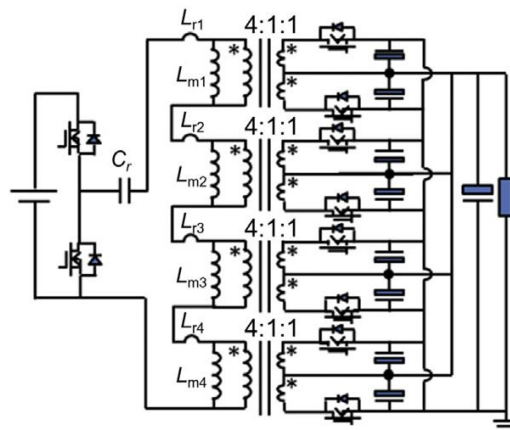
Преобразователи  
электроэнергии  
для железнодорожных  
сетей



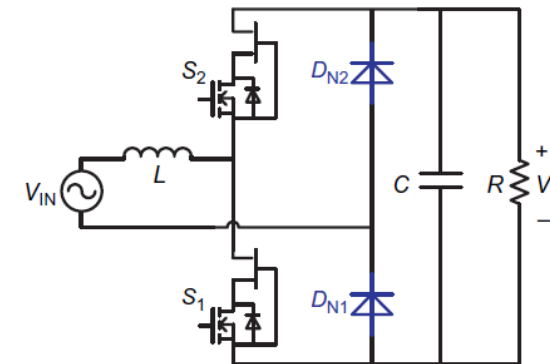
# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ И МИС



Повышающий/понижающий  
DC-DC преобразователь



AC-DC преобразователь 400 В  
– 12 В для питания серверов



ВЧ преобразователь  
мощности



## ВОЗМОЖНОСТИ

- Технологическая линейка МЭМС 150 мм
- Оборудование прямого электронно-лучевого экспонирования на пластины 150 мм
- Развитие участка сборки в пластиковые корпуса
- Наличие участка работы с обратной стороной утоненной пластины

## ПРЕИМУЩЕСТВА

- Совместимость технологий МЭМС и GaN. Возможность совместного использования технологического оборудования.
- Наличие установки прямого электронно-лучевого экспонирования на пластину. Получение размера затвора 100 нм и меньше.
- Наличие оборудования для работы с обратной стороной утоненной пластины. Получение контактных отверстий к лицевой стороне пластины при толщине пластины 100-150 мкм (BOCSH-процесс).
- Возможность работы с золотом на всех этапах изготовления приборов. Совместимость технологий МЭМС и GaN.
- Применение специализированного оборудования для взрывной литографии.

## Ключевые участники

## Технологический задел и планы

**НИЦ "КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"**

Разработана технология роста **GaN (Si)**  
Собственное производство гетероструктур по технологии **GaN(Si) d = 50мм**  
Получен прототип СВЧ НЕМТ до X-диапазона (мощность 11Вт)  
Планируется организация мелкосерийного производства гетероструктур **d ≤ 150 мм**

**НИУ МИЭТ, АО "ЗНТЦ", АО "НПО "САЛЮТ"**

Получен прототип СВЧ НЕМТ тарнзистора с Ft = 50 ГГц  
Получен прототип монолитный интегральный схемы усилителя мощности 30ГГц на **GaN(Si) d =150 мм**

**РОСЭЛЕКТРОНИКА  
(АО "НПП "ИСТОК", ОАО "НПП "ПУЛЬСАР",  
АО "ОПТРОН")**

Производство СВЧ транзисторов преимущественно специального назначения на **GaN SiC, Al2O3**.  
Отсутствует технология **GaN(Si)**.

**ФТИ РАН  
НТЦ "МИКРОЭЛЕКТРОНИКА"**

Опытные поставки эпитаксиальных структур **GaN на Si и на сапфире d ≤ 100 мм**

**ИСВЧПЭ РАН  
НИЦ "КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"**

Опытные образцы НЕМТ и монолитной интегральной схемы с Ft = 90 ГГц  
на **GaN(Si) d ≤ 100 мм** на основе зарубежных гетероструктур

**АО "НИИЭТ"**

Производство СВЧ электронно-компонентной базы по технологии GaN/SiC с использованием кристаллов зарубежной Foundry.  
Планируется модернизация производства на гетероструктурах **GaN(Si) d ≤ 200 мм**

**ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН**

Производство цифровой радиационностойкой электроники.  
Планируется модернизация производства на **GaN/SiC d ≤ 150 мм**

**АО "ЭЛМА-МАЛАХИТ"**

Опытные поставки эпитаксиальных структур **GaN на SiC и на сапфире d ≤ 76 мм**

**ЗАО "СВЕТЛАНА-РОСТ"**

Производство эпитаксиальных структур **GaN на SiC d ≤ 50 мм**, а так же производство НЕМТ транзисторов на их основе

**ОАО "НИИТМ", АО "ЭПИЭЛ",  
НТЦ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ РАН**

Разработка роботизированной эпитаксиальной установки для MOCVD **GaN(Si) d ≤ 200 мм**

# КЛЮЧЕВЫЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ОБЪЕМ РЫНКА РФ

## ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Источники бесперебойного питания  
Источники питания  
Инжекторы  
Зарядные станции для автомобилей  
Системы распределённого электропитания  
Преобразователи напряжения



39

млрд. руб.

## ТЕЛЕКОМ ОБОРУДОВАНИЕ

Сотовая связь – базовые станции 4G, LTE, 5G  
Проводная широкополосная связь



16

млрд. руб.

## АВТОЭЛЕКТРОНИКА

Электродвигатели (электромобили, промышленность)  
Автомобильная электроника  
Электромобили/Гибридные автомобили  
Системы автономного управления транспортными средствами  
Лидары



8

млрд. руб.

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Оборудование для серверов и дата-центров

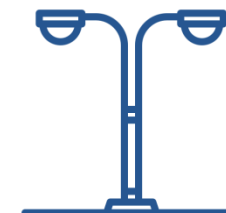


6

млрд. руб.

## СВЕТОТЕХНИКА

Наружное и внутреннее Освещение  
Светильники промышленные



19

млрд. руб.

## ПРИНЦИП КООПЕРАЦИИ:



Ведущий отечественный разработчик и производитель DC/DC преобразователей и систем электропитания. [aedon.ru](http://aedon.ru)

Вывод продукции на рынок.  
В настоящее время проходит согласование параметров изделий и ТЗ.  
Соглашение о сотрудничестве с головной компанией «Энергетическая Электроника» - дистрибьютор АО «ЗНТЦ» в стадии подписания .



Производитель AC/DC преобразователей и систем электропитания. [kwsystems.ru](http://kwsystems.ru)

Партнеры по сборке силовых модулей, совместный выход продукции на рынок.  
Соглашение в стадии подписания.



Производство силовых модулей на основе полевых транзисторов высоковольтных диодов в корпусах различных типов. [vzpp-s.ru](http://vzpp-s.ru)

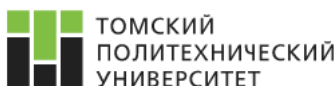
Партнеры в области разработки и производства силовой и высоковольтной электроники. Соглашение в стадии подписания.



НПП «Пульсар»

Производство изделий СВЧ-электроники на основе кремния, кремний-германия и широкозонных полупроводниковых материалов. [pulsarnpp.ru](http://pulsarnpp.ru)

Партнеры в области разработки силовой электроники. Подписано соглашение о сотрудничестве.



Томский политехнический университет развивает Дизайн-Центр по силовой электронике на GaN [tpu.ru](http://tpu.ru)



# КООПЕРАЦИЯ И ВЫВОД ПРОДУКЦИИ НА РЫНОК

