

## Сведения о ходе выполнения проекта

### **«Исследование и разработка технологии изготовления сверхвысокочастотных монолитных интегральных схем на основе гетероструктур InAlN/GaN для изделий космического применения»**

Руководитель проекта д-р физ.-мат. наук Брудный В.Н.

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26 сентября 2017 г. № 14.578.21.0240 с Минобрнауки России в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 2 в период с 01.01.2018 г. по 31.12.2018 г. выполнены следующие работы:

1. Разработаны программа и методики исследовательских испытаний технологии эпитаксиального выращивания гетероструктур для InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС.
2. Разработаны программа и методики исследовательских испытаний технологии изготовления СВЧ InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС.
3. Разработана технология эпитаксиального выращивания гетероструктур для СВЧ InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС.
4. Разработана технология изготовления СВЧ InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС на гетероструктурах InAlN/GaN.
5. Выбраны и обоснованы технические решения по обеспечению надежности СВЧ МИС в условиях космического пространства.
6. Выбрано и обосновано приобретение технологического оборудования и материалов для разработки технологических операций, ПО для моделирования СВЧ InAlN/GaN транзисторов, средств измерений для оснащения стендов для измерения СВЧ параметров мощных СВЧ InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС.
7. Изготовлены макеты эпитаксиальных гетероструктур для макетов СВЧ InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС.
8. Изготовлены макеты СВЧ InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС.
9. Проведены исследовательские испытания технологии эпитаксиального выращивания гетероструктур для СВЧ InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС.
10. Разработана электрофизическая модель транзистора, полученной в результате расчетов (электрофизического моделирования) характеристик СВЧ InAlN/GaN и сформированы рекомендации по выбору основных параметров модели и конструкции транзистора.
11. Разработаны программа и методики испытаний технологии изготовления низкоомных омических контактов для СВЧ InAlN/GaN транзисторов.
12. Разработаны программа и методики испытаний технологии изготовления топологических элементов размером 0.1 и 0.15 мкм на подложках SiC с транзисторными InAlN/GaN гетероструктурами методом электронно-лучевой литографии.
13. Разработана технология изготовления топологических элементов с размером 0.1 и 0.15 мкм на подложках SiC с эпитаксиальными гетероструктурами для InAlN/GaN транзисторов методом электроннолучевой литографии.

14. Разработана технология изготовления низкоомных омических контактов для СВЧ InAlN/GaN транзисторов.
15. Проведены исследовательские испытания технологии изготовления топологических элементов размером 0.1 и 0.15 мкм на подложках SiC с транзисторными InAlN/GaN гетероструктурами методом электронно-лучевой литографии.
16. Проведены исследовательские испытания технологии изготовления низкоомных омических контактов для СВЧ InAlN/GaN транзисторов.
17. Выбрано и обосновано приобретение технологического оборудования для разработки технологических операций изготовления пассивных элементов СВЧ МИС
18. Разработаны программа и методики испытаний технологии монтажа СВЧ InAlN/GaN транзисторов на теплопроводящее основание.
19. Разработана технология монтажа СВЧ GaN транзисторов на теплопроводящее основание.
20. Разработана малосигнальная модель СВЧ InAlN/GaN транзистора.
21. Разработана большесигнальная модель СВЧ InAlN/GaN транзистора.
22. Выбрано и обосновано приобретение технологического оборудования и материалов, необходимых для выполнения работ по разработке технологических операций изготовления СВЧ МИС, а также средств измерений и оснастки, необходимых для оснащения измерительных стендов, разработки методик измерения параметров и проведения СВЧ измерений элементов СВЧ МИС (очередь 2)..
23. Проведены исследовательские испытания технологии изготовления СВЧ InAlN/GaN транзисторов и пассивных элементов СВЧ МИС.
24. Проведены исследовательские испытания технологии монтажа СВЧ InAlN/GaN транзисторов на теплопроводящее основание.

### ***Основные результаты проекта:***

Целями второго этапа работы являлись разработка технологий и моделей, необходимых для изготовления СВЧ транзисторов и элементов СВЧ МИС, и получение результатов испытаний макетов СВЧ транзисторов и элементов СВЧ МИС.

В результате испытаний изготовленных макетов установлено:

- 1) Электрофизические параметры гетероструктур имеют слоевую проводимость менее 300 Ом/кв при подвижности электронов более 1000 см<sup>2</sup>/В\*с;
- 2) Макеты СВЧ InAlN/GaN транзисторов для частоты 30-40 ГГц имеют удельную выходную СВЧ мощность не менее 2.0 Вт/мм;
- 3) Макеты МДМ конденсаторов имеют напряжение пробоя более 80В и отклонение от номинального значения емкости менее ±10%;
- 4) Макеты эпитаксиальных резисторов имеют максимальную плотность тока не менее 0.2 А/мм и отклонение от номинального сопротивления менее ±20%;
- 5) Тесты с топологическими элементами с размером 0.1 и 0.15 мкм имеют отклонение размера топологических элементов от номинала – ±15%;
- 6) Тесты с омическими контактами имеют сопротивление менее 0.35 Ом·мм.

Новизна технологических решений обусловлена использованием оригинального технологического оборудования - установки эпитаксиального роста, возможности которой превышают возможности имеющегося на рынке оборудования

По результатам выполнения проекта в отчетном году получены следующие РИД:

- Свидетельство о гос. регистрации топологии интегральной микросхемы № 2018630124 «Микросхема для проведения РСМ тестов при производстве InAlN/GaN HEMT»;
- Свидетельство о гос. регистрации топологии интегральной микросхемы № 2018630123 «Микросхема для проведения TCV тестов при производстве InAlN/GaN HEMT»;
- Патент на изобретение № 2668635 "Способ изготовления мощнонитрид-галлиевого полевого транзистора".

Работы, предусмотренные Техническим заданием и План-графиком, в отчётном периоде выполнены в полном объёме.