

**Соглашение о субсидии № 14.607.21.0071 от 20 октября 2014 г.
тема «Разработка технологии получения эпитаксиальных
гетероструктур арсенидов галлия и алюминия для нового поколения
силовых приборов»**

в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по
приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса
России на 2014 - 2020 годы»,

лот «Разработка технологий получения эпитаксиальных широкозонных
гетероструктур для нового поколения СВЧ- и/или силовых приборов»

шифр лота 2014-14-579-0096

(шифр заявки «2014-14-579-0096-001»)

Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта)
RFMEFI60714X0071.

Этап 5 «Разработка технологического регламента, изготовление и испытание экспериментальных образцов, анализ, обобщение и оценка результатов исследований»

Цель проекта

Проект направлен на решение проблемы повышения эффективности использования электроэнергии. Целью проекта является повышение КПД нового поколения силовых приборов не менее чем на 10% и/или частоты преобразования не менее чем в 2 раза и/или коммутируемого напряжения не менее чем в 1,5 раза и/или рабочей температуры не менее чем в 1,4 раза.

Основные цели этапа 5:

- Изготовление экспериментальных образцов подложек арсенида галлия, экспериментальных образцов эпитаксиальных гетероструктур на основе арсенидов галлия и алюминия, изготовление макетов силовых р-і-п диодов на основе этих гетероструктур, их экспериментальные исследования и испытания.

- Обобщение и оценка результатов исследований, установление соответствия техническим требованиям достигнутых результатов и параметров разработанных гетероэпитаксиальных структур, чипов и силовых р-і-п диодов на основе арсенидов галлия и алюминия.

Основные результаты проекта

1) На этапе № 5 в период с 01.01.2016 по 30.06.2016 и в целом по проекту получены следующие основные результаты:

- Разработана эскизная конструкторская документация и изготовлен макет ростового устройства прокачного типа из графита, проведены успешные испытания и пробные эпитаксиальные процессы.

Внешний вид устройства показан на рисунке 1.

- Разработана эскизно конструкторская документация и лабораторный регламент получения гетероэпитаксиальных структур на основе арсенидов галлия и

алюминия для силовых р-і-п диодов, изготовлены экспериментальные образцы эпитаксиальных гетероструктур, выполнены их экспериментальные исследования и испытания. Показано их соответствие требованиям ТЗ.

- С использованием экспериментальных образцов эпитаксиальных гетероструктур на основе арсенидов галлия и алюминия изготовлены макеты силовых р-і-п диодов в количестве 25 шт., выполнены их экспериментальные исследования и испытания. Показано их соответствие требованиям ТЗ, а именно: минимальное обратное пробивное напряжение от 610 до 1100 В (по ТЗ - не менее 600 В); время обратного восстановления от 16,5 до 23 нс (по ТЗ - от 15 до 50 нс); емкость перехода от 2,6 до 4,6 пФ (по ТЗ - не более 8 пФ); предельная частота коммутации от 3,1 до 3,6 МГц (по ТЗ - не менее 2 МГц); максимальная рабочая температура не менее 250 °С в соответствии с требованием ТЗ; ток утечки при $T=250$ °С от 0,48 до 0,87 мА (по ТЗ - не более 1 мА). Исследования влияния температуры на вольтамперные характеристики и быстродействие экспериментальных образцов силовых р-і-п диодов показали, что обратные токи на GaAs р-і-п диодах значительно меньше растут с повышением температуры кристалла, чем на кремниевых диодах. При температуре 250°С обратные токи GaAs р-і-п диодов остаются на приемлемом уровне (400 - 800 мкА), в то время как кремниевые диоды при температуре выше 175°С становятся неработоспособными. Вид экспериментальных образцов силовых р-і-п диодов показан на рисунке 2.

- Исследовано влияние типа корпуса на параметры р-і-п диодов при повышенных температурах эксплуатации (до 250°С). Показано, что при повышенных температурах эксплуатации (150 °С и выше) наименьшие значения обратного тока имеют диоды в металлокерамических корпусах КТ-28А-2.02 (менее 0,6 мА при $T=250$ °С).

- Разработан проект ТЗ на ОТР по теме: «Разработка технологии и организация производства энергоэффективных силовых р-і-п диодов на основе гетероэпитаксиальных структур арсенидов галлия и алюминия».

2) Ростовое графитовое устройство позволяет выращивать многослойные, толстые, до 100 мкм, эпитаксиальные структуры методом жидкофазной эпитаксии со сменой типа слоя и легирующей примеси в процессе роста.

3) Новизна решения состоит в том, что структура, состоящая из трех последовательных эпитаксиальных слоев, выращивается в рамках одного эпитаксиального процесса, при этом достигается низкий уровень загрязняющих примесей, в том числе, углерода.

4) В рамках проекта созданное устройство и найденные оптимальные технологические параметры необходимы для получения эпитаксиальных гетероструктур арсенидов галлия и алюминия для нового поколения силовых р-і-п диодов, и были предусмотрены планом-графиком и техническим заданием проекта.

5) В сравнении с результатами аналогичных работ, определяющих мировой уровень, разрабатываемая технология значительно упростит и удешевит процесс получения гетероструктуры и позволит заметно повысить рабочие характеристики.



Рисунок 1 - Внешний вид макета графитового ростового устройства



Рисунок 2 - Вид экспериментальных образцов силовых p-i-n диодов

Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Изобретение, заявка №2015112975 от 09.04.2015 «Способ одновременного получения p-i-n структуры GaAs, имеющей p, i и n области в одном эпитаксиальном слое», РФ.

Изобретение, заявка № 2016136965 от 15.09.2016 «Способ получения многослойных гетероэпитаксиальных структур в системе AlGaAs методом жидкофазной эпитаксии», РФ.

Изобретение, заявка №2016142023 от 27.10.2016 «Способ получения многослойной эпитаксиальной p-i-n структуры на основе соединений GaAs-GaAlAs методом жидкофазной эпитаксии», РФ.

Назначение и область применения результатов проекта

1) Разрабатываемые силовые p-i-n диоды на основе гетероэпитаксиальных структур арсенидов галлия и алюминия могут быть использованы в различных устройствах современной промышленной электроники.

2) Опираясь на технологические возможности индустриального партнера, в ходе проекта разработаны технические предложения по производству силовых p-i-n диодов нового поколения.

3) В результате выполнения проекта появится новое поколение приборов силовой электроники, включая преобразовательную технику, импульсную технику, источники питания, устройства автоматики, системы беспроводной связи, AC-DC и DC-DC – преобразователи, импульсные источники питания, устройства формирования и передачи импульсных сигналов, измерительные приборы, приборы автоматического управления, ВЧ-техника, СВЧ-устройства передачи и приёма

сигналов, беспроводные технологии.

Эффекты от внедрения результатов проекта

В результате выполнения проекта будет устранен пробел, имеющийся на рынке высокотемпературных энергоэффективных полупроводниковых диодов силовой электроники, заключающийся в отсутствии надёжных быстродействующих высоковольтных силовых диодов, необходимых для построения нового поколения энергоэффективных высокочастотных преобразователей электрической энергии малой и средней мощности (100 кВт), с большим ресурсом работы. Реализация проекта позволит решить проблему импортозамещения в сфере одного из самых критичных направлений отечественной промышленности и экономики – энергосбережения; обеспечить отечественного производителя силовой электроники новым материалом, обладающим конкурентными преимуществами по сравнению с импортными аналогами; создать новую экспорто-ориентированную продукцию, обладающую потенциальным экспортным спросом и не имеющую аналогов.

Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

1) Результаты ПНИ будут использованы в рамках последующей ОТР путем непосредственного создания производства гетероэпитаксиальных структур на основе арсенидов галлия и алюминия для силовых p-i-n диодов.

2) В качестве рынка сбыта структур будут выступать ведущие российские производители полупроводниковых приборов силовой электроники: ОАО «Орбита» (г. Саранск), ОАО «ВЗПП-С» (г. Воронеж), ЗАО «Группа Кремний» (г. Брянск), ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника» (г. С.-Петербург), ОАО «ОКБ Планета» (г. Великий Новгород), ОАО «Протон» (г. Орел). Прогнозируемый объем продаж в 2017 году составляет 1000 шт. (6 млн. руб.) с последующим десятикратным ростом к 2020 году.

Наличие соисполнителей

Работы выполнялись консорциумом, в который входят 4 организации: ИФМ РАН, ООО «МеГа Эпитех», ООО «Мега СМ» и ООО НПО «Кристалл». Получатель субсидии – ИФМ РАН, соисполнители ООО «МеГа Эпитех», ООО «Мега СМ» и ООО НПО «Кристалл» привлечены, начиная с 2014 года.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства на отчетном этапе и по Соглашению в целом исполненными надлежащим образом.