

Сведения о ходе выполнения проекта по Соглашению № 14.607.21.0005 от 05 июня 2014 г

(Руководитель проекта, доктор технических наук, профессор Б.А.Гурович)

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.607.21.0005 от 05 июня 2014 г. Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы» на этапе № 2 в период с 01.01.2015 по 30.06.2015 выполнялись следующие работы:

Работы по Плану-графику исполнения обязательств, расходы на которые возмещаются за счет средств субсидии:

1 Разработаны методические указания на изготовление поперечных срезов экспериментальных образцов функциональных пассивных и активных нанозаэментов;

2 Разработаны программы и методики исследований методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) поперечных срезов экспериментальных образцов функциональных пассивных и активных нанозаэментов;

3 Разработаны программы и методики исследований методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) экспериментальных образцов функциональных пассивных и активных нанозаэментов;

4 Изготовлена экспериментальная партия образцов пассивных нанозаэментов (резисторов, конденсаторов, и элементов индуктивности);

5 Измерены основные электрофизические свойства экспериментальной партии образцов пассивных нанозаэментов;

6 Изготовлена экспериментальная партия образцов активного нанозаэлемента - однофотонного детектора;

7 Измерены основные электрофизические свойства экспериментальной партии образцов активного нанозаэлемента - однофотонного детектора;

8 Исследованы оптические характеристики экспериментальной партии образцов активного нанозаэлемента – однофотонного детектора;

9 Изготовлена экспериментальная партия образцов активного нанозаэлемента - джозефсоновского перехода;

10 Измерены основные электрофизические свойства экспериментальной партии образцов активного нанозаэлемента - джозефсоновского перехода;

11 Изготовлена экспериментальная партия образцов активного нанозаэлемента - перестраиваемого полосового СВЧ-фильтра высоких частот;

12 Измерены основные электрофизические свойства экспериментальной партии образцов активного нанозаэлемента - перестраиваемого полосового СВЧ-фильтра высоких частот;

13 Проведены структурные исследования экспериментальной партии образцов пассивных и активных нанозаэментов;

14 Оптимизирована технология изготовления пассивных нанозаэлементов по результатам исследований;

15 Доработана комплектация на машину замкнутого цикла для охлаждения пассивных и активных нанозаэлементов;

16 Проведены эксперименты по модификации атомного состава и свойств функциональных наноматериалов применительно к созданию пассивных и активных нанозаэлементов;

17 Проведено моделирование процессов согласования пассивных нанозаэлементов с активными;

18 Проведено численное моделирование процессов прохождения высокочастотной мощности через перестраиваемый полосовой фильтр высоких частот;

19 Доработаны и оптимизированы элементы машины замкнутого цикла, предназначенной для охлаждения пассивных и активных нанозаэлементов.

При этом были получены следующие основные результаты:

1. В соответствии с разработанными на первом этапе ПНИ программой и методикой изготовлена экспериментальная партия образцов пассивных нанозаэлементов (нанорезисторов, наноконденсаторов и наноиндуктивностей) и проведены измерения их электрофизических свойств. Также за счет большого количества изготовленных образцов определен выход годного нанозаэлементов и измерен разброс параметров номиналов.

При этом установлено:

- выход годного составил: для нанорезисторов ~ 90%, наноконденсаторов ~ 95% и для элементов наноиндуктивности ~ 90%;

- для нанорезисторов получены номинальные значения электросопротивления в диапазоне от 1 до 1200000 Ом, а также нагрузочная кривая, определяющая зависимость номинала резистора от топологии маски;

- изготовленные нанорезисторы работоспособны в диапазоне частот от 0,00001 до 15 ГГц, на частотах более 8ГГц начинается уменьшение от номинального значения в ~2.5 раз;

- для наноконденсаторов получены номинальные значения электроемкости в диапазоне от 0,001 пФ до 8 нФ;

- для элементов наноиндуктивностей получены номинальные значения индуктивности в диапазоне от 1 до 5000 нГн;

- разброс параметров номиналов составил: для нанорезисторов - 10%, для наноконденсаторов - 4% и нанозаэлементов индуктивности - 7%;

Установлено, что все электрофизические параметры пассивных нанозаэлементов полностью соответствует, а, в ряде случаев, превосходят требования ТЗ и ПГ и не зависят от количества циклов термоциклирования.

2. В соответствии с разработанными на первом этапе ПНИ программой и методикой изготовлена экспериментальная партия образцов активного нанозаэлемента— однофотонного детектора и измерены электрофизические и оптические свойства изготовленных образцов. При этом установлено:

- критическая температура перехода в сверхпроводящее состояние составляет ~9-12К;

- плотность критического тока составляет 8-14МА/см²;
- электрическое сопротивление токоограничительного резистора составляет ~50 Ом, что полностью соответствует запланированному номиналу ТЗ;
- квантовая эффективность на длинах волн 1мкм, 1,3 мкм и 1,55мкм составила 18%, 13% и 8%, соответственно;

Экспериментально продемонстрирована принципиальная возможность создания однофотонных детекторов с разрешением количества фотонов в коротких световых импульсах в количестве от 2 до 35 фотонов.

3. В соответствии с разработанными на первом этапе ПНИ программой и методикой изготовлена экспериментальная партия образцов активного нанoeлементa — планарного джозефсоновского перехода и измерены электрофизические свойства изготовленных образцов.

При этом установлено:

- плотность критического тока составляет 0,075 МА/см².
- емкость перехода имеет значение ~ 1 пФ.
- высокая стабильность свойств джозефсоновского перехода: изменение характеристик за период 6 месяцев - не более 7%.

4. В соответствии с разработанными на первом этапе ПНИ программой и методикой изготовлена экспериментальная партия образцов активного нанoeлементa — полосового СВЧ-фильтра высоких частот и измерены электрофизические свойства изготовленных образцов. При этом установлено, что плотность критического тока тоководов и сверхпроводящих планарных линий составляет 9-14 МА/см².

5. В результате проведения оптимизации технологии создания пассивных нанoeлементов введены корректировки в технологические параметры изготовления пассивных нанoeлементов.

6. Проведенные эксперименты по модификации атомного состава и свойств функциональных наноматериалов применительно к созданию пассивных и активных криогенных нанoeлементов показали, что основным фактором, определяющим возможность применения технологий ионного облучения для нужд сверхпроводящей криоэлектроники, является полное или частичное контролируемое замещение атомов азота на атомы кислорода как при облучении смешанными ионными пучками, так и при использовании облучения ионами кислорода. Ионное облучение инициирует протекание фазовых превращений с образованием новых кристаллических и аморфных фаз. Образование указанных фаз придает нужные электрофизические свойства создаваемым нанoeлементам, а также стабилизирует их свойства, обеспечивая долгосрочную эксплуатацию разрабатываемых изделий на их основе.

7. В результате моделирования процессов согласования пассивных нанoeлементов с активными было показано, что

- использование совокупности радиационных методов при изготовлении нанoeлементов формируют идеальное согласование за счет отсутствия резкой границы раздела нанoeлементов в результате радиационного перемешивания атомов уже на этапе изготовления пассивных и активных нанoeлементов;
- критическими элементами согласования пассивных нанoeлементов с активными являются тоководы с характерной для них топологией.

Работы по этапу 2 выполнены в полном объеме в соответствии с Планом-графиком Техническим заданием.