

**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 № 5 в период с 01.07.2016 по 31.12.2016 выполнялись следующие работы:

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

1 Проведен анализ влияния термоциклирования на характеристики разработанных пассивных и активных наноэлементов.

2 Проведено экспериментальное исследование целостности и тестирование на отказ системы на основе машины замкнутого цикла с интегрированными согласованными друг с другом пассивными и активными наноэлементами.

3 Проведено сравнение теоретически ожидаемых технических характеристик с практически достигнутыми характеристиками экспериментальных образцов функциональных пассивных и активных наноэлементов.

4 Разработан проект ТЗ на ОКР по теме «Разработка и создание сверхпроводникового детектора с интегрированными пассивными и активными элементами на одном чипе»

За счет внебюджетных источников:

5 Проведена экспериментальная проверка работоспособности машины замкнутого цикла с интегрированными пассивными и активными наноэлементами.

6 Проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов.

7 Разработаны рекомендации по возможности использования результатов проведенного ПНИ в реальном секторе экономики.

При этом были получены следующие основные результаты:

1 Экспериментальный анализ влияния термоциклирования на характеристики разработанных пассивных и активных наноэлементов показал:

- Количество термоциклов, равное 50 раз, не приводит к существенным изменениям технических характеристик пассивных и активных наноэлементов, а именно:

- Для нанорезисторов: номиналы нанорезисторов: 1-1200000 Ом; разброс по номиналу: <10%; реактивная составляющая: <10% от номинала; изменение сопротивления в полосе частот 0.1-15ГГц: не более 6 dB (4 раза); принцип согласования с линией передачи: прямой контакт.
- Для наноконденсаторов: номиналы наноконденсаторов: 0.005 пФ-12.7 нФ; разброс по номиналу: <10%; активная составляющая: >5 МОм; изменение емкости в полосе частот 0.1-15 ГГц: не более 6dB; принцип согласования с линией передачи: прямой контакт.
- Для наноиндуктивностей: номиналы наноиндуктивностей: 1-5000 нГн; разброс по номиналу: <10%; реактивная составляющая: <1 пФ; изменение индуктивности в полосе частот 0.1-15 ГГц: не более 6dB;
- Для однофотонных детекторов: критическая температура перехода: 12.3 К; количество разрешаемых фотонов: 4; квантовая эффективность: 23%; мертвое время детектора: 0.65 нс; время задержки: 25 пс; скорость темнового счета: 10с-1; быстродействие в импульсном режиме: 230МГц; принцип согласования с линией передачи: прямой контакт.
- Для джозефсоновских переходов: плотность критического тока: 95 КА/см<sup>2</sup>; емкость перехода: 1 пФ .
- Для перестраиваемых СВЧ фильтров: холодопроизводительность МЗК: 0.1 Вт; время выхода на рабочий режим: 75 мин; рабочая температура: 4.2 К; полоса частот: 10 МГц- 6 ГГц; подавление сигнала в полосе фильтрации: 25 dB.
- Наблюдаемый разброс параметров вызван систематическими ошибками измерений параметров и составляет менее 5 %

2 Экспериментальные работы по исследованию целостности и тестирования на отказ системы на основе машины замкнутого цикла показали:

- Авария, связанная с разгерметизацией вакуумного объёма, несущественным образом изменяет рабочую температуру функциональных наноэлементов, однако может приводить к разрушению электрической целостности контактов. После аварии произведены повторные измерения свойств пассивных и активных наноэлементов. Установлено, что:
  - Для *нанорезисторов*: изменение номиналов: менее 1%;
  - Для *наноконденсаторов*: изменение номиналов: менее 1%;
  - Для *наноиндуктивностей* (в составе детектора): изменение номиналов: менее 1%;
  - Для *однофотонных детекторов*: изменение квантовой эффективности: менее 1%; изменение величины быстродействия в импульсном режиме: менее 1%; изменение скорости темнового счета: менее 1%.

3 Проведены сравнения теоретически ожидаемых технических характеристик с практически достигнутыми экспериментальными образцов пассивных и активных нанозаэлементов. Получено:

- Прогнозирования номиналов пассивных нанозаэлементов возможно с высокой степенью точности за счет эмпирически полученных нагрузочных зависимостей.
- Прогнозирование свойств сверхпроводниковых однофотонных детекторов с разрешением количества фотонов в коротких световых импульсах и джозефсоновских переходов затруднительно в силу неоднотадийной технологии их изготовления.
- Прогнозирование свойств СВЧ фильтров может быть очень точным при введении параметров при моделировании процессов прохождения СВЧ мощности через тракт фильтра

4 Проведены экспериментальные работы по исследованию работоспособности машины замкнутого цикла с интегрированными пассивными и активными нанозаэлементами. Получено:

1. Криостат на основе машины замкнутого цикла позволяет получать контролируемым образом криогенные температуры в широком диапазоне (4,2-320)К.
2. Машина замкнутого цикла является работоспособной и пригодна для интегрирования в неё пассивных и активных нанозаэлементов для исследования их технических характеристик.
3. Машина замкнутого цикла позволяет проводить многократные процессы нагрева-охлаждения в короткие времена порядка нескольких минут

5 На основании проведенной технико-экономической оценки рынка различных криогенных сверхпроводниковых систем: приборов для научных исследований, для медицинских применений и в системах дальней космической связи, оценена эффективность использования предлагаемых радиационных технологий для их создания. По оценке, ожидаемый экономический эффект в зависимости от выбранного направления реализации результатов ПНИ, составляет от 20 до 500 млн. долларов США при суммарных первоначальных затратах 3-5 млн. долларов США.

6 Для перевода разработанной лабораторной технологии изготовления сверхпроводникового детектора с интегрированными активными и пассивными нанозаэлементами на одном чипе для использования в системах дальней космической связи, в приборах для медицинских применений, а также компонентов суперкомпьютеров в рамках проведенных ПНИ разработаны:

- лабораторные технологии производства активных и пассивных элементов криоэлектроники;

- технологические регламенты;
- проведен анализ рынка криогенных устройств и детектирующих систем;
- проведен анализ технологического оборудования и консультации с фирмами поставщиками и производителями оборудования для изготовления;
- определена необходимая номенклатура установок, необходимых для организации производства, и их предварительная стоимость;
- предложено технологическое решение для организации чистого помещения, необходимого для создания подобного производственного участка.

Все задачи этапа №5 работ выполнены в полном объеме и в соответствии с Планом-графиком исполнения обязательств и Техническим заданием Соглашения №14.607.21.0005 о предоставлении субсидии от 5/06/2014 и Дополнительного соглашения №1 от 27/04/2015.