

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 № 4 в период с 01.01.2016 по 30.06.2016 выполнялись следующие работы:

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

1 Изготовлены экспериментальные образцы пассивных и активных нанозаэментов с учетом оптимизации технологии изготовления по результатам исследования.

2 Измерены электрофизические свойства экспериментальной партии образцов пассивных и активных нанозаэментов с помощью экспериментального стенда.

3 Исследованы оптические характеристики экспериментальной партии образцов активного нанозаэлемента – однофотонного детектора

4 Проведены структурные исследования экспериментальных образцов пассивных и активных нанозаэментов.

За счет внебюджетных источников:

5 Оптимизированы режимы облучения с новыми высоковакуумными начальными условиями.

6 Выполнена экспериментальная проверка работоспособности отдельных узлов системы на основе машины замкнутого цикла в совокупности со стендом для поверки и тестирования электрофизических и оптических свойств исследуемых образцов.

7 Разработаны методы термостатирования пассивных и активных нанозаэментов в машине замкнутого цикла.

При этом были получены следующие основные результаты:

1 Изготовлены экспериментальные партии образцов

- пассивных нанозаэментов (нанорезисторы – 48 шт., наноконденсаторы – 32 шт., наноиндуктивности – 16 шт.)

- активных нанозаэментов (сверхпроводниковый однофотонный детектор с разрешением количества фотонов в коротких световых импульсах с размерами тоководов 350 нм, чувствительного элемента с 4 секциями; планарный джозефсоновский переход; перестраиваемый полосовой СВЧ-фильтр высоких частот с оптимизированными размерами: СВЧ-тоководов шириной 350 нм и длиной 20 мкм).

2 Проведены измерения электрофизических свойств экспериментальных образцов пассивных и активных нанозаэментов

- для нанорезисторов получены номинальные значения в диапазоне от 1 до 1200000 Ом; для наноконденсаторов получены номинальные значения емкости в диапазоне от 0,005 пФ до 12,7 нФ; для наноиндуктивностей получены номинальные значения индуктивности в диапазоне от 1 до 5000 нГн;
- для однофотонного детектора: критическая температура перехода составляет $\sim 12,3$ К, плотность критического тока составляет $9,8$ МА/см², электрическое сопротивление токоограничительного резистора составляет ~ 61 Ом; для джозефсоновского перехода: плотность критического тока составляет 95 кА/см², емкость перехода имеет значение менее 1 пФ; для перестраиваемого полосового СВЧ-фильтра высоких частот: плотность критического тока тоководов и сверхпроводящих планарных линий составляет 10 МА/см², рабочая температура составляет $4,2$ К; время охлаждения - 75 мин.

3 Измерены оптические свойства экспериментальных образцов однофотонного детектора: квантовая эффективность на длине волны $1,3$ мкм - 23%, мертвое время детектора – $0,65$ нс, джиттер детектора – 25 пс, скорость темнового счета детектора в рабочей точке – не более 10 Гц.

4 Проведенными структурными исследованиями экспериментальных образцов установлено следующее:

- нанорезисторы - поликристаллическая структура NbNO с размером зерна ~ 5 нм, наноконденсаторы - аморфная структура с составом Nb₂O₅ и толщиной ~ 10 нм, наноиндуктивности – поликристаллическая структура NbN с размером зерна ~ 5 нм.
- активные наноэлементы - однородность по химическому составу и толщины пленки всех экспериментальных образцов активных наноэлементов находится в пределах 5 %.

5 В результате проведения оптимизации режима облучения с новыми высоковакуумными начальными условиями облучения показано, что:

- возможно проведение облучения с минимальным содержанием окислителя в ионном пучке при создании сопротивлений;
- проведение процесса создания сопротивлений ограничивает максимальные значения достижимого удельного электрического сопротивления модифицированного материала пленок;
- возможно более точно контролировать состав пучка при проведении смешанного облучения за счет контролируемой подачи окислителя;

6 Силами Индустриального Партнера выполнена проверка работоспособности и совместимости машины замкнутого цикла со стендом для поверки и тестирования электрофизических и оптических свойств. При этом было выявлено, что:

- машина замкнутого цикла полностью удовлетворяет техническим требованиям по охлаждению и термостатированию исследуемых пассивных и активных наноэлементов образцов;

- предлагаемая схема электрического съема сигнала, основанная на

использовании международных стандартов СВЧ и DC коннекторов, обеспечивает полное электрическое согласование со стендом, что удовлетворяет требованиям ТЗ ПНИ;

- реализация оптического согласования за счет использования одномодовых волокон со стандартными оптическими коннекторами FC/APC полностью совместимы со стендом для измерения оптических характеристик;

- однако использование машины замкнутого цикла для исследования оптических свойств наноэлементов в свободном пространстве – невозможно в силу относительно больших периодических вибраций, вызванных работой компрессора.

7 Разработаны оптимизированные методы термостатирования пассивных и активных наноэлементов в машине замкнутого цикла. Достигнуты следующие результаты: время выхода на режим 60 минут, рабочая температура 4.2 К, температурная стабильность $0,03 \pm 0,01$ К.

Все задачи этапа №4 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.