

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук В.П. Кошельца на диссертационную работу Корнеевой Юлии Петровны «Квантовая эффективность сверхпроводникового однофотонного детектора на основе тонкой плёнки NbN», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05- оптика.

Повышенный интерес, проявляемый в последние годы к наноструктурам на основе тонких сверхпроводниковых пленок, обусловлен как интересной физикой происходящих в них процессов, так и возможностью создания на их основе однофотонных детекторов с уникальными параметрами. Поэтому диссертационная работа Ю. П. Корнеевой, посвященная экспериментальному исследованию механизма возникновения резистивного состояния в сверхпроводниковых наноструктурах из ультратонкой пленки нитрида ниобия при поглощении одиночных фотонов видимого и ИК диапазонов, а также повышению квантовой эффективности таких детекторов, является весьма актуальной как с научной, так и с прикладной точек зрения.

Диссертация Корнеевой состоит из вводного раздела, шести глав и заключения. Во введении обоснована актуальность исследуемой проблемы, поставлены цели и задачи диссертационной работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены выносимые на защиту положения, а также описаны структура и краткое содержание диссертации.

Первая глава посвящена обзору существующих типов однофотонных детекторов. Вначале рассматриваются известные полупроводниковые однофотонные детекторы, а также сверхпроводниковые детекторы на краю перехода, обсуждаются их достоинства и недостатки. Далее описаны существующие механизмы разрушения сверхпроводимости в ультратонких пленках шириной 50-100 нм при поглощении одиночных фотонов, исследованию и оптимизации таких детекторов и посвящена данная диссертационная работа. В этой главе также представлен обзор работ по исследованию однофотонных детекторов в виде параллельных полосок сверхпроводниковой пленки нанометровой ширины; рассматриваются методы повышения эффективности детекторов за счет включения их в четвертьволновые резонансные структуры. На основе проведенного анализа литературных данных автором был выбран объект исследования и сформулированы задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена описанию технологии изготовления исследуемых образцов. Особо следует отметить, что в работе удалось контролируемым и воспроизводимым образом изготавливать структуры с шириной полосы до 40 нм, а

также образцы однофотонных детекторов, интегрированных с оптическими резонаторами для повышения квантовой эффективности. Важным является также то обстоятельство, что при изготовлении микрорезонаторов сверхтонкая пленка нитрида ниобия наносилась на предварительно напыленные слои изолятора; при этом автору удалось реализовать достаточно высокие значения критической температуры с приемлемой шириной сверхпроводящего перехода.

В главе 3 приведено описание экспериментальной установки и методики измерения квантовой эффективности, спектральной чувствительности и частоты темновых отсчетов. В четвертой главе представлены результаты исследования механизма формирования резистивного состояния в сверхтонкой пленке нитрида ниобия нанометровой ширины при поглощении фотона. Для детального сравнения результатов эксперимента с существующими теоретическими моделями были проведены спектральные исследования в магнитном поле при различных значениях транспортного тока. Сопоставление полученных экспериментальных результатов с теоретическими моделями показало, что спектральные характеристики квантовой эффективности на образцах с различной шириной полоски на коротких волнах лучше всего объясняются моделью «горячего пятна», предполагающей локальное разрушение сверхпроводимости. Данные для длинноволновой части спектра лучше описываются моделью частичного подавления краевого барьера для проникновения абрикосовских вихрей в пленку за счет термодинамических флуктуаций.

Пятая глава посвящена исследованию возможности улучшения чувствительности однофотонных детекторов в длинноволновой области. Детекторы, изучаемые в этой главе, представляли собой большое количество параллельных сверхпроводящих полосок (число полосок доходило до 70), что позволило сократить время отклика за счет уменьшения индуктивности и улучшить соотношение сигнал-шум. Измеренные спектральные характеристики продемонстрировали увеличение квантовой эффективности на образцах с шириной полоски 55 нм, по сравнению с образцами с шириной полоски 100 нм. Для структур с большим количеством параллельных полосок была разработана модель распределения токов, проведено статистическое исследование интервалов времени между двумя последовательными откликами.

В заключительной шестой главе приводятся результаты исследования однофотонного детектора, включенного в четвертьволновый резонатор, с целью улучшения согласования излучения с детектором и повышения его квантовой эффективности. Резонатор представлял собой тонкопленочную структуру, состоящую из зеркала - тонкой пленки золота с высокой отражательной способностью и слоя диэлектрика толщиной в четверть длины волны для реализации резонансного поглощения в пленке детектора. В главе приведен расчет предлагаемого оптического резонатора, в который включен однофотонный сверхпроводниковый детектор; представлены результаты измерения квантовой эффективности детектора с резонатором в диапазоне длин волн 0,4 – 2 мкм при использовании различных материалов диэлектрика. Показано, что наилучшие результаты получены при

использовании монооксида кремния; при этом на длине волны 1,5 мкм квантовая эффективность детектора с резонатором четвертьволновой толщины (220 нм для монооксида кремния) в 3 раза выше, чем у образца без резонатора.

Характеризуя диссертационную работу в целом, хотелось бы отметить, что проведенные Ю.П. Корнеевой исследования позволили создать детекторы, которые демонстрируют однофотонный отклик на длинах волн вплоть до 10 мкм. Для достижения такого результата в работе были разработаны методы наноструктурирования сверхпроводящей пленки, обеспечивающие изготовление полосок шириной до 40 нм и толщиной всего 4 нм. При этом пленки сохраняют высокую плотность критического тока ($5 \cdot 10^6$ А/см²) при температуре 4,2 К, их критическая температура 10 К, а ширина сверхпроводящего перехода 0,5 К. В диссертационной работе показано, что уменьшение ширины пленки от 100 до 40 нм приводит к существенному увеличению квантовой эффективности в диапазоне длин волн 1 – 3,5 мкм. Новизна и достоверность полученных автором результатов не вызывают сомнений. Юлией Петровной Корнеевой проведен комплекс сложных и разносторонних исследований и расчетов, получен ряд новых результатов.

В то же время в работе имеются некоторые недостатки:

1. В таблице 2.4 указаны параметры четвертьволнового резонатора (толщина диэлектрика, толщина и материал адгезионного подслоя, толщина отражателя из золота), отличные от использовавшихся в работе и перечисленных в таблице 2.2 (толщина диэлектрика из монооксида кремния 220 нм, зеркало Nb/Au толщиной 5/70 нм). Есть также неточности в названиях слоев на рис. 2.5а.

2. Приведенные на рис. 4.4 зависимости внутренней квантовой эффективности от длины волны демонстрируют немонотонное поведение при изменении ширины сверхпроводящей полоски. По-видимому, данные для ширин 85 и 98 нм нужно поменять местами.

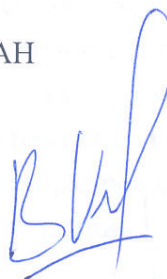
3. Результаты сравнения квантовой эффективности двух типов детекторов (меандра шириной 100 нм и параллельных полосок шириной 55 нм) изложены в главе 5 недостаточно корректно. В выводах данной главы утверждается, что повышение эффективности в диапазоне от 1 до 3,5 мкм обусловлено параллельным соединением полосок, а не уменьшением их ширины, что, главным образом, и определило повышение эффективности. Следует отметить, что в основных выводах работы и положениях, выносимых на защиту, этой путаницы нет и причиной повышения эффективности указано уменьшение ширины полосок.

Сделанные замечания не влияют существенно на общую оценку работы; диссертация Ю.П. Корнеевой представляет собой цельную и законченную научно-исследовательскую работу. Полученные результаты могут использоваться в научных организациях, занятых исследованием однофотонных детекторов и служить основой для последующих разработок в области практического применения. Основные результаты работы докладывались на представительных международных конференциях и достаточно подробно опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных

научных журналах; они хорошо известны специалистам. Автореферат правильно отражает основное содержание диссертационной работы.

В целом, содержание диссертационной работы соответствует критериям, установленным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г № 842 "О порядке присуждения ученых степеней" к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор – Корнеева Юлия Петровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05- оптика.

Зав. лаб. ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН
доктор физико-математических наук,
профессор



В.П. Кошелец
« 28 » ноября 2014 г.

