

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Арутюнова Константина Юрьевича

на диссертационную работу Чекушкина Артема Михайловича

«Матрицы планарных кольцевых антенн с СИНИС-детекторами и матрицы криогенных фильтров»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика»

Диссертационная работа А. М. Чекушкина посвящена исследованию сложных гибридных структур на базе сверхпроводников (С), нормальных металлов (Н) и изоляторов (И). Цель работы заключается в оптимизации работы чувствительных приемников электромагнитного излучения на базе кольцевых антенн с интегрированными СИНИС-детекторами.

Исследования особо **актуальны** для современной радиоастрономии, где для решения ряда фундаментальных задач требуются детекторы электромагнитного излучения, способные, с одной стороны, обеспечить рекордные величины чувствительности, а с другой – обладать широким динамическим диапазоном и способностью работать в условиях высокого фонового сигнала.

В диссертационной работе Чекушкина А.М. получен ряд **новых результатов**:

- Впервые предложена и реализована оригинальная конструкция компактного сеточного криогенного фильтра на основе интерферометра Фабри-Перо, позволяющего проводить калибровку детекторов.
- Методом компьютерного моделирования продемонстрировано, что оптимальная конфигурация реализуется в случае расположения образца металлизацией (антеннами) к падающему электромагнитному излучению, при этом эффективная толщина подложки должна составлять четверть длины волны. Этот результат подтвержден экспериментально.
- Оптимизирована топология СИНИС-детекторов с учетом влияние эффекта близости на туннельные СИН-переходы.
- Получен рекордный отклик по напряжению на внешнее электромагнитное излучение для матриц кольцевых антенн.
- Впервые разработана конструкция и изготовлены матрицы метаматериалов с интегрированными в них СИНИС-детекторами. На устройстве получен рекордный отклик по напряжению с динамическим диапазоном более 30 дБ.

Диссертационная работа А. М. Чекушкина изложена на 146 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы, содержащего 94 наименования.

Во введении обоснована актуальность работы и определены ее цели. Сформулированы научная новизна, практическая ценность и положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой литературный обзор и краткий анализ существующих криогенных микроволновых приемников. В ней выделены основные требования и характеристики для проектирования сверхпроводниковых детекторов.

Во второй главе представлены теоретические оценки и компьютерное моделирование исследуемых структур. Изложена основная идея использования матриц кольцевых антенн с СИНИС-детекторами.

Третья глава посвящена описанию изготовления матриц планарных кольцевых антенн.

В четвертой главе подробно излагается методика изготовления и экспериментального исследования различных типов радиочастотных фильтров для криоэлектронных приложений: тонкопленочных, перестраиваемых на основе интерферометра Фабри-Перо и капиллярных.

В пятой главе описано экспериментальное исследование матриц планарных кольцевых антенн с СИНИС-детекторами и учетом влияния эффекта близости нормального металла на свойства СИН-перехода.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Автореферат адекватно и полно отражает содержание диссертации. Содержание диссертации соответствует заявленной научной специальности.

Достоверность полученных результатов подтверждается апробацией: 22 доклада на научных российских и международных конференциях с публикацией расширенных тезисов, и также - 28 публикаций из перечня изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, из них - 23 входят в международные базы данных WoS и Scopus. Автором получено 6 патентов.

Проведенное исследование имеет существенную **практическую значимость**. Результаты могут быть востребованы как российскими, так и зарубежными исследователями в области изучения космического микроволнового излучения.

К **недостаткам** работы можно отнести следующее:

1. В тексте местами встречается жаргон. Например, « ... криостат ... с импульсной трубой ... ».
2. В работе (в особенности, в Главе 3) приведено значительное количество микрофотографий. Было бы крайне полезным указывать на них подписями: какая часть рисунка соответствует какому элементу структуры.
3. В разделе 1.2.2 обсуждается эффект горячих электронов и делается вывод, что за счет разниц времен релаксаций электрон-фононного и электрон-электронных взаимодействий, «...может быть установлено распределение электронов с повышенной эффективной

температурой». Однако из рассмотрения совершенно упущен эффект зарядового дисбаланса квазичастичных возбуждений (quasiparticle charge imbalance), который важен при описании электронного транспорта в НИС контактах. Для оптимизация работы НИС и СИНИС устройств с квазичастичными ловушками (quasiparticle traps), учет зарядовой и энергетической релаксации является принципиальным, что вероятно (?) подтверждается одним из выводов Главы 5, о том, что удаленность от нормального металла «... заметно улучшает качество перехода».

4. В разделе 5.1 на рис. 5.1 приведено семейство зависимостей дифференциального сопротивления от напряжения смещения для четырех модельных образцов, состоящих из 2 последовательных СИНИС-структур. Наблюдается существенное изменение величин смещения по напряжению, при которых наблюдаются щелевые особенности. В тексте можно прочитать: «Из рисунка 5.1 можно сделать вывод, что толщина нормального металла влияет на свойства СИН-перехода. Но, в гораздо большей степени, на свойства СИН-переходов оказывает влияние объем сверхпроводника и его близость к нормальному металлу». Не вполне понятно: о каких свойствах идет речь? Какова модель эффекта, позволяющая делать такие выводы?
5. В разделе 3.4 упоминается, что «... выходное напряжение ЦАП, задающего управляющее напряжение, симметричное относительно земли, подавалось на СИНИС через резисторы номиналом 1-10 ГОм по витой паре проводов». Полезно было бы аргументировано продемонстрировать, что включение столь высокоомных элементов (а) не дает существенного вклада в интегральные шумовые характеристики, и (б) не критично увеличивает времена отклика системы.
6. В разделе 5.3 утверждается: "... эффективная электронная температура равна 450 мК, это означает, что образцы перегреваются не до конца остывшими частями холодной камеры, либо имеет место прохождение тепла из-за недостаточной изоляции стыков различных частей камеры». Почему исключается возможность разогрева электронной подсистемы за счет паразитных электромагнитных наводок по подводящим проводам (выражение 1.17)?

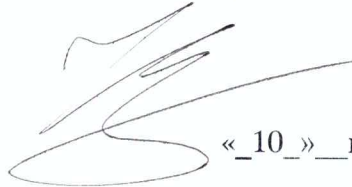
Мелкие перечисленные недостатки ни в коем случае не умаляют высокой научной значимости работы. Характеризуя диссертационную работу в целом, следует отметить внутреннее единство ее структуры, логичность, связь результатов, выводов и положений, выносимых на защиту.

Исходя из вышесказанного, считаю, что диссертация выполнена на высоком научном уровне и представляет из себя целостное, законченное и самостоятельное исследование.

Диссертационная работа Чекушкина А.М. удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, предусмотренными пп. 9 и 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 «Радиофизика».

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор НИУ ВШЭ,
заведующий научно-учебной
лаборатории квантовой наноэлектроники

Арутюнов Константин Юрьевич



« 10 » июня 2022 г.

Подпись Арутюнова К.Ю. заверяю

СПЕЦИАЛИСТ ПО КАДРОВОМУ ДЕЛУ
ОТДЕЛА ПО КАДРОВОМУ АДМИНИСТРИРОВАНИЮ
УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛА
СТОЯНОВА Т. И.



Арутюнов Константин Юрьевич
Доктор физико-математических наук, специальность 01.04.09 - физика низких температур
Профессор МИЭМ НИУ ВШЭ, департамент электронной инженерии.
Заведующий научно-учебной лаборатории квантовой наноэлектроники
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ"
Таллинская ул. 34, 123458, Москва
Рабочий телефон, факс 8 (495) 916-88-29
karutyunov@hse.ru