

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«МИСиС»

Институт новых материалов и нанотехнологий

Кафедра Теоретической физики и Квантовых технологий

Отзыв руководителя на диссертационную работу

По специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Аверкина Александра Сергеевича

На тему: «Ультра-компактные сверхпроводящие резонаторы для построения электромагнитных метаматериалов»

Актуальность темы: Данная работа посвящена актуальной теме разработки нового класса материалов, так называемых электромагнитных метаматериалов. Исключительные возможности управления распространением электромагнитного излучения материалами с произвольно регулируемой магнитной восприимчивостью и диэлектрической проницаемостью были установлены в 1967 году в пионерской работе сотрудника ФИАН В.Г. Веселаго. В первые годы XXI века были предложены принципы практического построения таких материалов и сформулирована концепция метаматериала и мета-атомов на основе микро-резонаторов различной природы. Новое направление исследований «сверхпроводящие метаматериалы» возникло около 7 лет назад в результате привлечения в качестве инструментария для построения мета-атомов сверхпроводящих микро-резонаторов, СКВИД резонаторов и кубитов, и оно открывает исключительные возможности для построения высокочастотных метаматериалов без потерь, со специфическими возможностями перестройки частоты и преобразования высокочастотных сигналов. Таким образом, данная работа посвящена актуальной теме направления исследований физических основ и способов построения нового типа метаматериалов.

Уровень проработанности темы. Диссертационная работа выполнена полностью с детальной проработкой всех пунктов согласно списку задач, перечисленных во введении.

Анализ содержания Диссертация А.С. Аверкина изложена на 118 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, включающего 73 наименования. Структура диссертации отражает путь, проделанный автором, и свидетельствует о завершенности работы. Диссертация хорошо иллюстрирована.

Во введении описаны актуальность темы, цель диссертационной работы, основные положения, выносимые на защиту и структура диссертации. Глава 1 содержит аналитический обзор литературы по теме диссертации и методам исследования. Здесь описана методика измерений распределения СВЧ токов в сверхпроводящих схемах с помощью лазерного сканирующего микроскопа и основы численных методов расчёта электродинамики СВЧ схем. Дано введение в проблемы развития электромагнитных метаматериалов, включая сверхпроводящие магнитные материалы.

В главе 2 описаны результаты теоретического и экспериментального исследования сверхпроводящих мета-атомов на основе спирали Архимеда. Спиральные мета-атомы связываются преимущественно с магнитным полем падающей волны, что позволяет контролировать магнитную восприимчивость независимо от диэлектрической проницаемости. Особый интерес представляет частотная дисперсия метаматериала, наблюдаемая на частотах вблизи собственных резонансов спирали. Александром Аверкиным исследовался спектральный отклик как одиночной спирали, так и кольцевой спирали (спирали Архимеда без центральной части). В результате исследования установлено, что спектры собственных частот для одиночной спирали Архимеда имеют составляющие на частотах пропорциональных номеру моды, т.е. с частотами $f_1:f_2:f_3:\dots = 1:2:3\dots$, в то время как для кольцевой спирали частоты собственных мод следуют в пропорции ряда нечётных чисел, как $f_1:f_2:f_3:\dots = 1:3:5\dots$ при отношении внутреннего радиуса кольца к внешнему более 0,7.

В главе 3 предложен и исследован магнитный мета-атом на основе двух наложенных спиралей. За счёт наложения двух спиралей Архимеда с противоположной направленностью витков, удаётся сохранить связь резонатора с магнитным полем и, вместе с тем, многократно повысить компактность резонатора. На основе численного моделирования была разработана интегральная сверхпроводящая микросхема с образцами двух-спиральных резонаторов. В эксперименте с резонатором продемонстрирована возможность достигать отношения длины волны к диаметру резонатора $\lambda/D = 14\ 400$, сопоставимая с отношением размеров в реальных атомах.

В главе 4 описана разработка экспериментальной методики и установки для широкополосного, вплоть до 32 ГГц, исследования СВЧ характеристик элементов сверхпроводящих метаматериалов при сверхнизких температурах, до 10 мК. Пригодность разработанной установки проверена в экспериментах по спектроскопии сверхпроводящего кубита – первом экспериментальном исследовании кубита в России. Следует отметить детальность теоретического исследования модальной структуры волн в установке и тщательность экспериментальной проверки пригодности устройства. В настоящее время данная разработка используется в ряде Российских и зарубежных лабораторий.

В главе 5 исследованы экспериментально образцы сверхпроводящего метаматериала на основе массива 400 сверхпроводящих квантовых интерферометров (СВЧ СКВИДов). Для наблюдения за откликом индивидуальных мета-атомов создана установка, позволяющая проводить одновременно СВЧ и оптическое исследование образца сверхпроводящего метаматериала. В этой работе впервые продемонстрирована возможность достигать синхронного отклика в массиве метаматериала на СВЧ СКВИДах.

В заключении работы дана сводка результатов и сформулированы выводы.

Оценка качества выполнения демонстрационного материала и текста диссертации
Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями государственного стандарта. Материал в автореферате и тексте диссертации изложен ясно и логично. Приведенные иллюстрации позволяют составить хорошее впечатление о самой работе.

Положительные качества и недостатки работы Исследование, проведённое Александром Аверкиным в рамках диссертационной работы, отличается высоким профессионализмом и содержит тщательную экспериментальную проверку разработанных численных

моделей, а также сопоставление с численным расчётом свойств разработанных элементов сверхпроводящих метаматериалов.

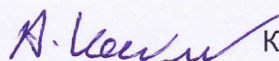
Результаты работы были представлены на международных конференциях в семи работах, опубликованных в журналах из списка «Web of Science», причём в трёх работах Александр Аверкин является первым автором.

В качестве недостатка можно отметить отсутствие сопоставления с численной моделью отклика лазерного сканирующего микроскопа на поверхности индивидуальных сверхпроводящих квантовых интерферометров, составляющих метаматериал, исследованный автором экспериментально в главе 5 диссертации.

Заключение о теоретическом и практическом значении выводов и предложений, возможность их внедрения в производство: Практическая значимость работы связана с возможностью использования полученных результатов для создания ультра-компактных сверхпроводящих резонаторов для считывания сверхпроводящих кубитов, сверхпроводящих болометров, криогенных параметрических усилителей и сверхпроводящих метаматериалов. А также, с использованием разработанных резонаторов в системах беспроводной передачи энергии и для создания антенн для магнитно-резонансной томографии.

В целом, Аверкина Александра Сергеевича можно охарактеризовать как сформировавшегося специалиста в области исследования сверхпроводящих электромагнитных метаматериалов, способного решать сложные научные задачи. Диссертационная работа А.С. Аверкина соответствует всем требованиям положения НИТУ «МИСиС» о порядке присуждения учёных степеней. Автор диссертации, Аверкин А.С., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Научный руководитель,



Карпов Александр Владимирович

д. ф-м. н., ведущий научный сотрудник лаборатории «Сверхпроводящие метаматериалы» НИТУ «МИСиС», профессор кафедры теоретической физики и квантовых технологий НИТУ «МИСиС».

