

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию Фадеева Алексея Владимировича «Ближнеполевая СВЧ-микроскопия и её использование для определения характеристик элементов твердотельной СВЧ электроники», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах и 01.04.03 – Радиофизика.

Ближнеполевая СВЧ-микроскопия относительно новое научное направление. Использование возможностей ближнеполевой СВЧ-микроскопии может привести к выявлению новых физических эффектов в том числе в области твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники. Создание ближнеполевых СВЧ-микроскопов, обладающих совершенными техническими характеристиками, существенно расширяет сферу их применения. Вышесказанное позволяет заключить, что сформулированная цель диссертационной работы актуальна, характеризуется высокой значимостью для науки и практики. Особенно ценным представляется то, что автор ставит задачу реализовать возможность использования ближнеполевой СВЧ-микроскопии для определения характеристик широко применяемых в практике приборов твердотельной СВЧ электроники в рабочем режиме. Такого рода исследования ранее не проводились. Для их успешного проведения необходимо решить ряд физических задач, лежащих на стыке твердотельной электроники и радиофизики. Оригинальность постановки этих задач и их значение для науки и практики следуют из результатов критического анализа рассматриваемой проблемы, проведенного в первой главе диссертации. К категории таких, требующих решения задач относится локальное определение анизотропии диэлектрических материалов, широко применяемых в СВЧ микроэлектронике. Результаты оригинального решения такой задачи описаны во второй главе диссертации. Автору удалось создать

вариант ближнеполевого СВЧ-микроскопа специально приспособленный именно для локального измерения анизотропии свойств диэлектриков. Чувствительность такого микроскопа удалось повысить благодаря введению в него высокоселективной системы близкорасположенных емкостной и индуктивной диафрагм с введенными в индуктивную диафрагму через элементы связи зондами. Автором проведен большой объем исследований погрешностей предложенной методики. В работе впервые показана возможность определения анизотропии в тангенсе угла диэлектрических потерь. Результаты измерения анизотропии в диэлектрической проницаемости хорошо согласуются с известными из литературы результатами.

В третьей главе автором описана оригинальная конструкция ближнеполевого СВЧ-микроскопа, в котором в качестве высокоселективного элемента используется емкостная диафрагма с близкорасположенным металлическим зондом. Предложенное устройство защищено патентом на изобретение. Резонансные системы, основанные на близкорасположенных элементах можно отнести к так называемым низкоразмерным. Высокая чувствительность устройств с такого типа резонаторами продемонстрирована на примере реализованной с их помощью перестройки резонансной частоты магнитным полем.

В четвертой главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований еще одного типа низкоразмерного резонатора представляющего собой металлический штырь с зазором – короткозамыкающий поршень с выемкой. Расчет параметров такой системы проводился с использованием метода импедансного аналога электромагнитного пространства. Результаты расчета распределения поля находятся в хорошем согласии с результатами выполненных автором экспериментальных исследований. Созданный ближнеполевой СВЧ-микроскоп использован для нахождения распределения концентрации и электрического поля в диодах Ганна и p-i-n диодах. Результаты этих

исследований приведены в 5-ой и 6-ой главах. Было обнаружено экспериментально возникновение пространственных осцилляций в этих распределениях.

В p-i-n диодах такая закономерность экспериментально с использованием бесконтактного метода получена впервые. Автору удалось описать это явление теоретически в результате решения системы нелинейных дифференциальных уравнений численным методом. Результаты теории качественно согласуются с экспериментом. Такое согласие стало возможным вследствие учета нелинейной зависимости коэффициента диффузии от напряженности электрического поля в диоде. Следует подчеркнуть высокий научный уровень, продемонстрированный диссертантом при решении этой задачи, и высокую значимость полученных результатов для физики полупроводниковых приборов.

Работа не лишена отдельных недостатков.

1. Автор подробно рассмотрел источники погрешностей измерений анизотропных свойств диэлектриков. При проведении других типов измерений было бы желательно обсудить возможные специфические источники погрешностей измерений.

2. Следовало бы провести подробный анализ преимуществ предложенного нового типа микроскопа, по которому получен патент РФ, по сравнению с другими микроскопами и определить наиболее предпочтительные области его применения.

Отмеченные недостатки относятся скорее к пожеланиям и не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертантом выполнен большой объем чрезвычайно трудоемких экспериментальных исследований.

Результаты экспериментов находятся в согласии с результатами теоретического анализа решаемых задач. Это обеспечивает достаточную основу для обоснованности защищаемых положений.

Получены новые научные результаты, имеющие важное значение для твердотельной электроники СВЧ и радиофизики. Результаты работы достаточно полно отражены в журналах из списка, рекомендованного ВАК, доложены на республиканских и международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Все вышеприведенное позволяет заключить, что диссертационная работа Фадеева А.В. «Ближнеполевая СВЧ-микроскопия и её использование для определения характеристик элементов твердотельной СВЧ электроники» соответствует критериям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор работы заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах и 01.04.03 – Радиофизика.

18 ноября 2014 г.

Официальный оппонент

Коломейцев Вячеслав Александрович

Почтовый адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д.77;

Телефон: 8-8452-99-88-18;

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

д.т.н., профессор кафедры радиоэлектроники и телекоммуникации

Подпись Коломейцева В.А. заверяю

Ученый секретарь

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический

университет имени Гагарина Ю.А.»

доктор технических наук, профессор



П. Ю. Бочкарев

18.11.2014.