

ОТЗЫВ НАУЧНЫХ РУКОВОДИТЕЛЕЙ

на диссертационную работу Фролова Александра Павловича

«Структуры с фотонной запрещенной зоной и их использование в ближнеполевой СВЧ-микроскопии»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям:

01.04.03 — Радиоп физика.

05.27.01 — Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Диссертационная работа А.П. Фролова выполнена по актуальной проблеме, относящейся к стыку специальностей 01.04.03 — Радиоп физика и 05.27.01 — Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах; посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию возможности создания регулируемых, высокоселективных, малогабаритных СВЧ фотонных структур и их использования в качестве элементов ближнеполевых сканирующих СВЧ-микроскопов для повышения их чувствительности к изменению параметров зондируемых объектов.

Диссертантом установлено, что при увеличении количества слоёв N фотонного кристалла, представляющего собой одномерную структуру, с малым числом входящих в его состав элементов, симметричную относительно центрального слоя с фиксированным значением диэлектрической проницаемости, ширина запрещенной зоны монотонно уменьшается, а её глубина монотонно увеличивается, если количество слоёв N фотонного кристалла удовлетворяет только одной из последовательностей чисел $N = 4n - 1$, например, 3, 7, 11, 15 и т.д. или $N = 4n + 1$, например, 5, 9, 13, 17 и т.д., где n — целые числа.

Теоретически обосновано и экспериментально показано, что волноводное СВЧ-устройство на основе диафрагмы и системы связанных рамочных элементов, включающей металлические штыри с зазором, помещенное в волноведущую секцию, может обладать фотонной запрещенной зоной с высокоселективным резонансом пропускания и фотонной разрешенной зоной с резонансом запираения.

Экспериментально показано, что регулировка коэффициента пропускания в резонансной особенности для «симметричной» конструкции в диапазоне 23.5 дБ при уровне потерь пропускания от 1.5 дБ и для «несимметричной» конструкции — в диапазоне 66 дБ при уровне потерь пропускания от 3 дБ обеспечивается с помощью $n-i-p-i-n$ -структуры, помещенной в зазоре между штырем и рамочным элементом. Результаты

эксперимента согласуются с теоретическим описанием, основанным на усреднении электропроводности $n-i-p-i-n$ -структуры по её длине.

Проведено теоретическое описание эффекта автодинного детектирования в многоконтурном генераторе на диоде Ганна в случае, когда нагрузкой СВЧ-генератора служит отрезок передающей линии, содержащей фотонный кристалл.

Разработан ближнеполевой СВЧ-микроскоп на основе полупроводникового автодинного генератора на диоде Ганна, позволяющий визуализировать с высоким пространственным разрешением рельеф и электрофизические свойства поверхности керамической пластины с нанесённым нанометровым слоем металла.

Экспериментально доказано, что использование предложенной диссертантом конструкции ближнеполевого СВЧ-микроскопа на основе полупроводникового автодинного генератора на диоде Ганна позволяет решать задачи подповерхностного зондирования проводящих и непроводящих включений.

Теоретически обоснована возможность использования одномерного волноводного фотонного кристалла с нарушением периодичности в качестве резонатора в составе зонда на основе микрооаксиально-волноводного перехода ближнеполевого СВЧ-микроскопа для повышения чувствительности коэффициента отражения S_{11} к изменению удельной электропроводности σ полупроводниковых пластин. При этом в случае исследований сильнолегированных полупроводниковых структур зависимости S_{11} в режиме ближнего поля от величины σ имеют как монотонный, так и немонотонный характер, что может быть обусловлено изменением структуры ближнего поля, определяемой как характеристическими размерами апертуры ближнеполевого зонда, так и глубиной проникновения ближнего поля в полупроводниковый образец, зависящей от его удельной электропроводности.

Экспериментально установлено, что использование в ближнеполевом СВЧ-микроскопе с регулируемым рамочным элементом связи высокоселективной резонансной системы в виде фотонной структуры с неоднородностью обеспечивает достижение чувствительности коэффициента отражения $\partial S_{11}/\partial \epsilon$ к изменению диэлектрической проницаемости ϵ более 39.5 дБ/ε и разрешающей способности $\Delta\epsilon/\epsilon$ порядка 10^{-4} . Чувствительность коэффициента отражения $\partial S_{11}/\partial d$ к изменению толщины металлического слоя (Ст) d в диапазоне значений d от 1 нм до 3 нм составляет 4 дБ/нм, а разрешающая способность $\Delta d/d \sim 10^{-3}$.

Таким образом, можно заключить, что работа А.П. Фролова содержит результаты большого количества трудоемких результатов компьютерного моделирования и

экспериментальных исследований. Их итогом явилось, в частности, создание нового типа устройства, защищенного патентом РФ на полезную модель.

Оригинальные результаты работы опубликованы в 3 статьях в журналах из списка ВАК, доложены на 8 международных и Всероссийских конференциях, тезисы которых опубликованы в сборниках работ.

Таким образом, в ходе работы над диссертацией А.П. Фролов проявил способность реализовать сложный физический эксперимент и провести адекватное теоретическое обоснование полученных физических результатов. Высокий уровень новизны результатов работы, всестороннее обоснование их достоверности свидетельствуют о том, что А.П. Фролов заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 — Радиофизика и 05.27.01 — Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Заведующий кафедрой физики твердого тела
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского»,
заслуженный деятель науки РФ,
доктор физико-математических наук,
профессор
410012, г.Саратов, ул.Астраханская 83,
тел. 8-8452-511430,
Email: UsanovDA@info.sgu.ru

Дмитрий Александрович Усанов

профессор кафедры физики твердого тела
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского»,
доктор физико-математических наук,
профессор
410012, г.Саратов, ул.Астраханская 83,
тел. 8-8452-511430,
Email: Skripala_v@info.sgu.ru

Александр Владимирович Скрипаль

Личные подписи профессора Дмитрия Александровича Усанова
и профессора Александра Владимировича Скрипала
«ЗАВЕРЯЮ»

Учёный секретарь
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского»,
кандидат химических наук, доцент



И.В. Федусенко

16.10.2014