

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д.212.132.06, НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВА-  
ТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВА-  
НИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

**аттестационное дело № \_\_\_\_\_**

**решение диссертационного совета от 12.11.2015 № 27**

О присуждении Щемерову Ивану Васильевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «разработка и создание аппаратуры для бесконтактного измерения электрофизических параметров полупроводниковых материалов» по специальности 05.27.06 - «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» принята к защите 25.06.2015, протокол № 21 диссертационным советом Д 212.132.06 на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Минобрнауки РФ, Россия, 119049, Москва, Ленинский пр-т, д.4, Приказ Рособнадзора № 717/нк от 9.11.2012.

Щемеров Иван Васильевич, 1989 года рождения, в 2011 году окончил Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МИСиС», работает инженером на кафедре полупроводниковой электроники и физики полупроводников (ППЭ и ФПП) НИТУ «МИСиС». В 2014 году окончил очную аспирантуру НИТУ МИСиС по специальности 05.27.06 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Диссертация выполнена на кафедре ППЭ и ФПП НИТУ «МИСиС». Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Кобелева Светлана Петровна, доцент каф. ППЭ и ФПП НИТУ «МИСиС».

**Официальные оппоненты:**

Концевой Юлий Абрамович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ОАО «НПП «Пульсар»,

Латухина Наталья Виленовна, кандидат технических наук, доц. каф. Радиофизики, полупроводниковой микро- и нанoeлектроники Самарского государственного университета,

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация АО «Гиредмет»**, город Москва, в своем положительном заключении, составленном Александром Георгиевичем Беловым, кандидатом физико-математических наук, ВНС АО «Гиредмет», подписанным зам. председателя НТС Орловым, ученым секретарем Е.В. Молодцовой, и утвержденном зам. директора по науке АО «Гиредмет» Е.Е. Едренниковой указала, что работа соответствует требованиям ВАК РФ п.24 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» (в редакции Постановления РФ от 24.09.2013 № 842) на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций в сфере исследований соискателя, которые посвящены измерениям электрофизических параметров полупроводниковых материалов.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 5 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Механизмы электропроводности кремний-углеродных нанокомпозитов с наноразмерными включениями вольфрама в интервале температур 20 — 200 С. Авторы: Анфимов И.М., Кобелева С.П., Малинкович М.Д., Пархоменко Ю.Н.,

Торопова О.В., Щемеров И.В. Журнал "Известия ВУЗов", серия "Материалы электронной техники", № 2(58), 2012, с.58-60.

2. О возможности разработки ГСО времени жизни неравновесных носителей заряда монокристаллического кремния Авторы: Кобелева С.П., Лагов П.Б., Щемеров И.В. Журнал "Стандартные образцы". №3, 2013 г. с.10-15.

3. Применение бесконтактного СВЧ метода для анализа однородности поверхностного электросопротивления слоёв кремний-углеродных плёнок со структурой нанокompозита. Авторы: Анфимов И.М., Кобелева С.П., Малинкович М.Д., Щемеров И.В. Журнал "Заводская лаборатория. Диагностика материалов". № 4, том 79, 2013 г, с.37-40.

4. Mechanisms of electroconductivity in silicon-carbon nanocomposites with nanosized tungsten inclusions within a temperature range of 20-200 C. Авторы: Anfimov, I.M., Kobeleva, S.P., Malinkovich, M.D., Shchemerov, I.V., Toporova, O.V., Parkhomenko, Y.N. Журнал "Russian Microelectronics". Volume 42, Issue 8, December 2013, Pages 488-491.

5. Измерение времени жизни неравновесных носителей заряда в монокристаллическом кремнии. Авторы: Анфимов И.М., Кобелева С.П., Щемеров И.В. Журнал "Заводская лаборатория. Диагностика материалов". № 1, том 80, 2014 г. с.41-45.

6. On the Applicability of HF and u-PCD Methods for Determination of Carrier Recombination Lifetime in the Non-passivated Single-crystal Silicon Samples. Авторы: I.M. Anfimov, S.P. Kobeleva, I.V. Schemerov, M.N. Orlova. Журнал "Journal of nano- and electronic physics". №3, том 6, 2014 г. с.03018-1-03018-3.

7. Стандартные образцы времени жизни неравновесных носителей заряда в монокристаллическом кремнии. Авторы: Кобелева С.П., Анфимов И.М., Щемеров И.В., Холодный Л.П., Борzych И.В., Пташинский В.В. Журнал "Стандартные образцы". №1, 2015 г. с.16-22.

Соискателю выдан один ноу-хау «Устройство для бесконтактного измерения удельного объёмного и поверхностного электросопротивления проводящих материалов при помощи СВЧ детектора» №26-035-2010 от 24 ноября 2010 г.



Все статьи подготовлены с непосредственным участием Щемерова И.В. и их объем составляет 3,5 печатных листов.

На диссертацию и автореферат поступили **отзывы от:**

д.ф.-м.н., заведующего лабораторией свободно конвективного теплообмена СО РАН Бердникова В.С. без замечаний.

к.т.н., зав. лабораторией №33 физико-технического института Томского политехнического университета Варлачёва В.А. с замечанием: предельные значения измеряемого поверхностного сопротивления предлагается оценить по экстраполяции результатов, представленных на рис. 9, в то время как на рисунке представлена зависимость удельного электросопротивления нанокompозита от интенсивности сигнала. Кроме того, в тексте не приведены оценки минимальной чувствительности прибора, что не позволяет получить указанные оценки из рис. 9.

д.т.н., зам. Председателя Красноярского научного центра, зав. отделом радиотехники и электроники КНЦ СО РАН, проф. Владимирова В.М., с замечанием: в автореферате приведены только результаты измерений УЭС и ВЖ ННЗ. При этом отсутствуют данные о характерных смещениях частоты и изменениях амплитуды СВЧ резонансной линии при измерении УЭС. Отсутствуют кривые нарастания и спада фотопроводимости, что затрудняет анализ полученных результатов.

к.ф.-м.н., ген. директора ООО «Силовые полупроводники» Козлова В.А. без замечаний.

к.т.н., зам. начальника цеха ОАО «Оптрон», Меженного М.В. с замечанием: из текста автореферата не ясно, что представляли собой измерения нанокompозитных плёнок при локальности метода  $3-5 \text{ мм}^2$ .

к.т.н., старшего научного сотрудника, ведущего специалиста по технологиям АО «ГЗ Пульсар», Сейдмана Л.А. с замечанием: указана статистическая погрешность измерения 30%, что хорошо для оценочных измерений, но погрешность велика для физических исследований.

проф. университета Авейро, Соболева Н.А. с замечанием: на рис. 4, 8 и 10 не подписан резонатор, имеется также некоторое количество опечаток.

д.ф.-м.н., главного научного сотрудника Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе, РАН, Сорокина Л.М. с замечаниями: осталось не ясно, возможно ли использование разработанной аппаратуры для измерения параметров других полупроводников кроме кремния. В автореферате не удалось найти, как раскрывается аббревиатура КУП НК.

к.ф.-м.н., заведующего лабораторией физических и химических методов аттестации стандартных образцов ФГУП «УНИИМ», чл.-корр. Метрологической академии, Терентьева Г.И. без замечаний.

д.т.н., профессора, заместителя директора ФГУП «НИИП» по науке, Улимова В.Н. с замечанием: на рис. 6 приведены результаты измерения времени жизни двумя приборами. Из текста автореферата не ясно, чем отличаются два прибора, с помощью которых получены результаты рис. 6.

д.ф.-м.н., профессора кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, Федотова А.К. без замечаний.

В дискуссии приняли участие: ВНС АО «Гиредмет», к.ф.-м.н. Белов Александр Георгиевич, проф., д.ф.-м.н. Маняхин Фёдор Иванович, проф. д.ф.-м.н. Бублик Виктор Тимофеевич.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** аппаратура для измерения удельного электросопротивления и времени жизни неравновесных носителей заряда бесконтактным СВЧ методом, позволяющая расширить границы измерения этих параметров,

**предложен** алгоритм пересчёта выходного сигнала детектора в единицы удельного и поверхностного электросопротивления,

**доказана** перспективность использования разработанной измерительной аппаратуры, являющейся единственной, позволяющей измерять электросопротивление проводящих тонкоплёночных материалов в микронном и субмикронном диапазоне толщин при сопротивлении выше 20 кОм,

**введены** ограничения использования известных формул для расчёта поверхностной составляющей спада фотопроводимости в зависимости от толщины измеряемых образцов.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** применимость ограничений по толщине измеряемых образцов для используемых в ходе работы формул и поправок,

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован алгоритм решения уравнения непрерывности в одномерном случае при использовании метода прогонки,

**изложены** условия измерения времени жизни неравновесных носителей заряда на образцах монокристаллического кремния, приведены номограммы для определения времени жизни в объёме полупроводника по измеренному эффективному с учётом поверхностных эффектов и ограничения области анализа,

**раскрыто** несоответствие реального эффективного времени жизни при измерении толстых (больше 5-ти диффузионных длин) образцов и расчетов по известной формуле для случая бесконечной скорости рекомбинации.

изучены факторы, ограничивающие измерение времени жизни по спаду фотопроводимости,

проведена модернизация существующих алгоритмов, обеспечивающих получение новых материалов по теме диссертации.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработан** новый измерительный прибор, что подтверждается выданным ноу-хау №26-035-2010, работающие установки используются на предприятия ФГУП НИИП и НПП ТЭЗ, что подтверждается выданными актами о внедрении,

определены пределы использования точных формул для определения поверхностной составляющей времени жизни неравновесных носителей заряда при опре-



делении по спаду фотопроводимости; пределы измерения ВЖ, УЭС и ПЭ, толщин измеряемых тонкоплёночных проводящих образцов, **создана** система практических рекомендаций для проведения калибровки установки для измерения электросопротивления проводящих материалов, а также для учёта поверхностных эффектов при измерении ВЖ ННЗ по спаду фотопроводимости, **представлены** методические рекомендации и предложения по дальнейшему совершенствованию аппаратуры.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** показана воспроизводимость результатов измерения равномерности распределения свойств по пластинам нитридных гетероструктур, показана сходимость результатов измерений УЭС, ПЭ и ВЖ с паспортными данными, калибровка измерителя УЭС обоснована ссылками на стандарты ASTM,

**теория** построена на основании описанных в литературе экспериментальных данных и согласуется с рассчитанными математическим путём формулами для предельных случаев,

**идея** базируется на анализе практики,

использованы сравнение данных, полученных в ходе работы, с имеющимися в научной литературе по данной тематике, а также полученными ранее,

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике в рамках указанных ограничений,

**использованы** современные методики сбора и обработки информации, получаемой в процессе измерений и представительные выборочные совокупности.

**Личный вклад Щемерова И.В. состоит в:**

непосредственном участии на всех этапах процесса, от создания макета измерительной аппаратуры до измерений, в апробации результатов исследования, в соз-

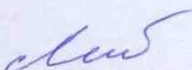
дании программ для работы с установкой и для численного моделирования, подготовке основных публикаций по выполненной работе.

На заседании 12.11.2015 пр.№27 диссертационный совет принял решение присудить Щемерову И.В. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.27.06 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» и пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов технических наук, участвующих в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за — 16, против — нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель

диссертационного совета



(Маняхин Ф.И.)

Ученый секретарь

диссертационного совета



(Костишин В.Г.)

Дата оформления Заключения

« \_17\_ » ноября 2015