

Протокол №19

заседания диссертационного совета Д 212.079.09

от 07.10.2016

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 23 человек. Присутствовали на заседании 17 человек.

Председатель: совета д-р техн. наук, профессор Евдокимов Юрий Кириллович

Присутствовали: д-р техн. наук, профессор Евдокимов Юрий Кириллович (председатель, специальность 05.11.13), д-р техн. наук, профессор Афанасьев Вадим Владимирович (зам. председателя, специальность 05.12.04), канд. техн. наук Денисов Евгений Сергеевич (ученый секретарь, специальность 05.11.13), д-р техн. наук, доцент Анфиногентов Владимир Иванович (специальность 05.12.07), д-р техн. наук, профессор Данилаев Максим Петрович (специальность 05.11.13), д-р техн. наук, профессор Даутов Осман Шакирович (специальность 05.12.07), д-р техн. наук, профессор Ильин Герман Иванович, (специальность 05.12.04), д-р техн. наук, профессор Карамов Фидус Ахмадиевич (специальность 05.11.13), д-р техн. наук, профессор Морозов Геннадий Александрович (специальность 05.12.07), д-р техн. наук, профессор Морозов Олег Генадьевич (специальность 05.11.13), д-р техн. наук, профессор, Насыров Ильгиз Кутдусович (специальность 05.12.07), д-р физ.-мат. наук, профессор, Нигматуллин Равиль Рашидович (специальность 05.12.04), д-р техн. наук, профессор, Седельников Юрий Евгеньевич (специальность 05.12.07), д-р техн. наук, профессор Файзуллин Рашид Робертович (специальность 05.12.04), д-р техн. наук, профессор, Чабдаров Шамиль Мидхатович (специальность 05.12.04), д-р техн. наук, профессор, Чермошенцев Сергей Федорович (специальность 05.12.07), д-р физ.-мат. наук, доцент, Шерстюков Олег Николаевич (специальность 05.12.07).

Повестка дня: Защита диссертации Мальцева Ивана Алексеевича на тему: «Экспресс-контроль теплового сопротивления полупроводниковых приборов в режиме докритических тепловых воздействий» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Слушали: Защиту кандидатской диссертации Мальцева Ивана Алексеевича на тему: «Экспресс-контроль теплового сопротивления полупроводниковых приборов в режиме докритических тепловых воздействий» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Научный руководитель – Сайткулов Владимир Гельманович, заслуженный деятель науки и техники Республики Татарстан, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры

«Конструирования и технологии производства электронных средств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева», г. Саранск. Отзыв подписан председателем НТС, канд. техн. наук, доцентом О.Е. Железняковой, заведующим кафедрой электроники и наноэлектроники, канд. техн. наук Н.Н. Беспаловым и утвержден проектором по научной работе д-р техн. наук, профессором П.В. Сениным

Официальные оппоненты:

1. Смирнов Виталий Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры Проектирование и технология электронных средств ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».
2. Шириев Равиль Рафисович – канд. техн. наук, доцент, кафедры промышленная электроника и светотехника ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Отзывы на автореферат поступили от:

ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И.Шимко», г. Казань, подписан директором по научной работе С.М.Царевым.

Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского КазНЦ РАН, г. Казань, подписан ведущим научным сотрудником, д-р физ.-мат. наук А.Л. Степановым.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, подписан доцентом кафедры производства и конструирования канд. техн. наук В.Н. Леухиным.

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара, подписан профессором кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, д-р техн. наук, профессором М.Н. Пигановым..

ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексева», г. Нижний Новгород, подписан профессором кафедры компьютерные технологии в проектировании и производстве, д-р техн. наук, профессором С.М.Никулиным.

Все отзывы положительные.

Вопросы задали: д-р техн. наук, профессор О.Ш. Даутов, д-р физ.-мат. наук, профессор Р.Р. Нигматуллин, д-р техн. наук, профессор Р.Р. Файзуллин, д-р техн. наук, профессор М.П. Данилаев, д-р техн. наук, профессор И.К. Насыров, д-р техн. наук, профессор В.В. Афанасьев, д-р техн. наук, профессор Ф.А. Карамов, д-р техн. наук, профессор Г.И. Ильин, канд. техн. наук Е.С. Денисов.

Выступили:

д-р техн. наук, профессор В.Г. Сайткулов, канд. техн. наук, доцент Р.Р. Шириев, д-р техн. наук, профессор О.Ш. Даутов, д-р техн. наук, профессор Р.Р. Файзуллин, д-р техн. наук, профессор Г.И. Ильин, д-р техн. наук, профессор, И.К. Насыров, д-р техн. наук, профессор Ф.А. Карамов, д-р техн. наук, профессор Ю.К. Евдокимов.

Постановили:

1. Диссертация Мальцева И.А. представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в котором решена актуальная задача повышения быстродействия контроля теплового сопротивления переход-корпус полупроводниковых приборов, имеющая существенное значение для развития методов и приборов контроля температуры кристаллов и тепловых сопротивлений полупроводниковых приборов и светодиодов, и соответствует критериям, что соответствует специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» и требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

На заседании 07 октября 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Мальцеву И.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 17, «против» – нет, недействительных бюллетеней - нет.

2. Принять заключение диссертационного совета Д 212.079.09 в соответствии с п. 32 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», результаты открытого голосования: «за» – 17 человек, «против» – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель диссертационного совета

Ю.К. Евдокимов

Ученый секретарь диссертационного совета

Е. С. Денисов



07 октября 2016 года

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.079.09 НА БАЗЕ
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.Н.ТУПОЛЕВА – КАИ»

ПО ДИССЕРТАЦИИ

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 07 октября 2016 года, протокол №19

О присуждении Мальцеву Ивану Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Экспресс-контроль теплового сопротивления полупроводниковых приборов в режиме докритических тепловых воздействий» в виде рукописи по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» принята к защите 30.06.2016, протокол № 9 диссертационным советом Д 212.079.04, созданном на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ), Министерство образования и науки Российской Федерации, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10, приказ № 88/нк от 9 февраля 2015 года.

Соискатель Мальцев Иван Алексеевич, 1987 года рождения, в 2010г. окончил с отличием Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева (в 2011 году переименован в КНИТУ-КАИ) с присвоением степени магистра техники и технологий по направлению «Проектирование и технология электронных средств».

Мальцев И.А. в 2010 году поступил и в 2013г. окончил очную аспирантуру при Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева – КАИ. В настоящее время Мальцев И.А. работает инженером-конструктором в ЗАО НИЦ «Инкомсистем».

Диссертация выполнена на кафедре конструирования и технологии производства электронных средств ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ).

Научный руководитель - д-р техн. наук, профессор, Саиткулов Владимир Гельманович, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ), Министерство образования и науки Российской Федерации, профессор кафедры конструирования и технологии производства электронных средств.

Официальные оппоненты:

Смирнов Виталий Иванович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», профессор кафедры проектирование и технология электронных средств.

Шириев Равиль Рафисович – канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», доцент кафедры промышленная электроника и светотехника

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева», г. Саранск в своем положительном заключении, подписанном председателем НТС, канд. техн. наук, доцентом О.Е. Железняковой, заведующим кафедрой электроники и нанoeлектроники, канд. техн. наук Н.Н. Беспаловым и утвержденным проектором по научной работе д-р техн. наук, профессором П.В. Сениным указала, что диссертационная работа «Экспресс-контроль теплового сопротивления полупроводниковых приборов в режиме докритических тепловых воздействий» отвечает требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 21.04.2016 г.), а ее автор, Мальцев Иван Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Соискатель имеет 13 опубликованных научных работ по теме диссертации. Из них: опубликованных в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК – 3, 7 тезисов, материалов докладов и докладов, зарегистрировано

2 патента на изобретение, в том числе:

1. Мальцев, И.А. Экспресс-метод измерения теплового сопротивления переход-корпус полупроводниковых приборов / В.Г. Сайткулов, И.А. Мальцев, А.А. Мальцев // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2011. – № 4. – С. 77 – 81.

Мальцевым И.А. разработана эквивалентная тепловая схема полупроводникового прибора для экспресс метода измерения

2. Мальцев, И.А. Анализ тепловой эквивалентной схемы полупроводниковых приборов при нестационарном тепловом режиме / И.А. Мальцев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 121 – 125.

Мальцевым И.А. разработан модифицированный метод для создания эквивалентной тепловой схемы полупроводникового прибора.

3. Мальцев, И.А. Исследование тепловой эквивалентной схемы светодиода методом многовариантного анализа / А.А. Мальцев, И.А. Мальцев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 5. – С. 229 – 231.

Мальцевым И.А. разработана методика анализа эквивалентной тепловой схемы методом многовариантного анализа.

4. Патент 2392631 Российская Федерация, МПК G01R 31/26. Устройство для измерения теплового сопротивления переход-корпус полупроводникового прибора / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ» (RU). – № 2009122088/28; заявл. 09.06.2009; опубл. 20.06.2010, Бюл. № 17.

Мальцевым И.А. разработано устройство для измерения теплового сопротивления переход-корпус.

5. Патент 2529761 Российская Федерация, МПК G01R 31/00. Способ измерения теплового сопротивления переход-корпус полупроводниковых приборов и устройство для его реализации / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Казанский национальный

- исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ» (RU). – № 2013118507/28; заявл. 22.04.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.
Мальцевым И.А. разработан способ для измерения теплового сопротивления переход-корпус полупроводникового прибора.
6. Мальцев, И.А. Контроль качества и надежности светодиодов по тепловому сопротивлению р-п переход-корпус / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 2. – С. 40 – 41.
Мальцевым И.А. предложена методика определения качества светодиодов по разбросу теплового сопротивления переход-корпус.
7. Мальцев, И.А. Способ быстрого измерения температурного коэффициента напряжения светодиодов / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев // Полупроводниковая светотехника. – 2015. – № 2(34). – С. 36 – 38.
Мальцевым И.А. предложен способ для измерения температурного коэффициента напряжения светодиодов.
8. Мальцев, И.А. Тепловое сопротивление как показатель надежности мощных выпрямительных мостов / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев // Силовая электроника. – 2010. – № 5. – С. 54 – 55.
Мальцевым И.А. проведены исследования теплового сопротивления выпрямительных мостов разработанным экспресс способом.
9. Мальцев, И.А. Компоновка радиоэлектронной аппаратуры с учетом внутреннего теплового сопротивления интегральных микросхем / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев // Электронное приборостроение: научно-технический сборник – 2006. – № 1 (46). – С. 44 – 46.
Мальцевым И.А. предложена методика компоновки функциональных узлов по величине теплового сопротивления.
10. Мальцев, И.А. Измерение внутреннего теплового сопротивления интегральных микросхем // ММНК XIV Туполевские чтения: тезисы докл. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2006. - С . 160 – 161.

11. Мальцев, И.А. Тепловое сопротивление – показатель качества мощных полупроводниковых приборов // ММНК XV Туполевские чтения: тезисы докл. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2007. – С. 206 – 208.
12. Мальцев, И.А. Установка для измерения теплового сопротивления мощных полупроводниковых приборов / И.А. Мальцев, А.А. Мальцев // МНТК XVI Туполевские чтения: тезисы докл. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2008. – С. 488 – 490.
13. Мальцев, И.А. Измерения теплового сопротивления переход-корпус современных светодиодов в стационарном тепловом режиме // ММНК Нигматуллинские чтения-2013: тезисы докл. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та. 2013. – С. 342 – 344.

Авторский вклад соискателя в публикациях заключается в разработке способов, устройств, методик контроля теплового сопротивления, подготовке материалов и данных для презентации результатов исследований и детализации основных положений диссертационной работы.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Ведущей организации – ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева», г. Саранск. Отзыв положительный. Замечания:

1. Способ, разработанный автором, называется в работе способом неразрушающего контроля. Но при перемещении исследуемого полупроводникового прибора из одного жидкостного термостата в другой, исследуемый прибор подвергается «температурному» удару, который может вызвать отказ прибора не от лавинного пробоя, а от разницы температурных коэффициентов линейного расширения различных конструктивных элементов корпуса.

2. В главе 3 диссертации слишком растянута входная часть, в которой описываются известный метод тепловых эквивалентов. Очень кратко проведено описание результатов моделирования по предложенной методике на рис. 3.22, 3.23.

3. Из автореферата и диссертации не ясно в чем необходимость применения во втором термостате двух датчиков температуры. Какие функции имеют датчики температуры 2 и 3.

4. В диссертации на рис.3.11 приведен график зависимости перегрева р-п перехода светодиода и транзистора в зависимости от скорости струи хладагента. Но в работе не приведена методика измерения скорости хладагента на выходе форсунки.

Официального оппонента, профессора кафедры проектирование и технологии электронных средств ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», д-р техн. наук, профессора В.И. Смирнова. Отзыв положительный. Замечания:

1. В обзоре методов измерения теплового сопротивления (глава 1) совершенно не рассмотрены методы, составляющие основу международных стандартов измерения теплового сопротивления, в частности, стандартов JESD51-14 (для полупроводниковых приборов), JESD24-3 (для мощных MOSFET-транзисторов), JESD24-12 (для IGBT-транзисторов). В обзоре также практически отсутствует информация о результатах аналогичных исследований зарубежных ученых.

2. В выводе 1 по главе 2 утверждается, что в экспресс-способе исключается время, необходимое на разогрев прибора импульсом мощности и за счет этого быстродействие контроля увеличивается в $3 \div 3,5$ раза. Но при измерении, например, теплового сопротивления мощных MOSFET-транзисторов эта длительность импульса в зависимости от типа корпуса прибора варьируется в диапазоне от 10 до 100 мс (стандарт JESD24-3), что существенно меньше времени перемещения объекта измерения из одного термостата в другой.

3. В выводе 2 по главе 2 утверждается, что в экспресс-способе исключается механизм возникновения лавинного теплового пробоя, поскольку разогрев исследуемого прибора происходит не импульсом мощности, а за счет жидкости термостата. Но все измерения теплового сопротивления полупроводниковых приборов производятся при импульсах греющего тока, существенно меньших их

предельных значений. Поэтому вероятность возникновения лавинного теплового пробоя очень мала.

4. Алгоритм работы экспресс-способа для измерения теплового сопротивления «переход-корпус», суть которого схематично показана на рис. 2.11, предполагает для создания эквивалентной тепловой схемы знание структуры объекта измерения. Для предприятий-разработчиков полупроводниковых приборов эта информация доступна. В то же время, для предприятий, которые лишь используют полупроводниковые приборы для производства своих электронных устройств, информация о структуре конкретных транзисторов, диодов и т.д., как правило, отсутствует. Поэтому использовать разработанный соискателем экспресс-способ для входного контроля на таких предприятиях проблематично.

5. В разработанном соискателем способе экспресс-контроля теплового сопротивления производится измерение ТКН каждого объекта измерения, что связано с разбросом этого параметра от образца к образцу. Для светодиодов на основе GaAlN это вполне возможно, поскольку технологически не просто вырастить эпитаксиальные слои заданной толщины, которые формируют гетероструктуру светодиода. Для полупроводниковых приборов на основе кремния такой проблемы нет. Поэтому целесообразность использования данного способа экспресс-контроля теплового сопротивления для кремниевых транзисторов и диодов вызывает определенные сомнения.

6. На рис. 3.12 приведены временные диаграммы модифицированного стандартного метода. В пояснении к рисунку на стр. 79 отмечается, что измерение кривой охлаждения начинается сразу после окончания греющего импульса. При этом не учитывается влияние электрических переходных процессов в р-n-переходе, связанных с инжекцией неосновных носителей заряда и последующим их рассасыванием. Это вносит серьезную ошибку в определение ΔU_{max} и, как следствие, в результат расчета теплового сопротивления.

7. Точность измерения представленных в диссертации способов измерения теплового сопротивления во многом зависит от точности измерения кривых нагрева

или охлаждения. Использование для этого аналого-цифрового преобразователя, встроенного в микроконтроллер ATmega128, представляется не совсем оправданным из-за его невысокого быстродействия (время преобразования 65 мкс) и низкой разрядности (10 бит). Более предпочтительным было бы использование внешнего 16-разрядного АЦП, сопряженного с микроконтроллером посредством скоростного SPI-интерфейса. Тогда не понадобился бы и усилитель сигнала (см. рис. 4.1 на стр. 92).

8. В диссертации имеется ряд мелких ошибок и неточностей:

- на стр. 64 неверно вычислена погрешность $\delta\text{ТКН}$;
- на стр.68 и 77 MicroCap позиционируется как САПР, в то время, как данный программный продукт является системой схемотехнического моделирования;
- на эквивалентной тепловой схеме, представленной на рис. 2.15, не показаны теплоемкости $C_{\text{выв}}$ и $C_{\text{крыш}}$, как это сделано на рис. 2.4;
- на стр. 94 утверждается, что при разбросе значений ТКН в 13-14%, погрешность расчета теплового сопротивления $R_{\text{п-к}}$ составит десятки процентов, хотя $R_{\text{п-к}}$ обратно пропорциональна ТКН (см. формулу (3.1) на стр. 80);
- в таблице 4.1 на стр. 96 в качестве параметра, характеризующего статистический разброс измеренных значений ТКН в партии, используется максимальный разброс, хотя для оценки разброса принято использовать среднее квадратическое отклонение или доверительный интервал.

Официального оппонента доцента кафедры промышленная электроника и светотехника ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» канд. техн. наук Р.Р. Шириева. Отзыв положительный. Замечания:

1. Поскольку одним из основных объектов исследования в работе являются мощные современные светодиоды, в литературном обзоре недостаточно внимания уделено способам и приборам измерения тепловых параметров светодиодов оптическими методами. В настоящее время для измерения температуры светодиодов широко применяются оптические способы на основе тепловизоров,

измерителей спектра и другие. Не показано, в чем преимущество выбранного автором способа измерения тепловых параметров светодиодов по сравнению с оптическими методами.

2. В обзоре литературы мало ссылок на иностранные источники, стандарты и патенты по способам измерения температуры и теплового сопротивления полупроводниковых приборов.

3. В разделе 2.3 работы указано, что на тепловое сопротивление светодиода сильно влияют неравномерности плотности тока, создающие локальные перегревы (тепловые точки) на поверхности кристалла. В работе нет разъяснения, как учитывается эта неравномерность температуры поверхности кристалла светодиода в его эквивалентной тепловой схеме.

4. В разделе 3.1 приведены результаты оценки теплового сопротивления корпус – окружающая среда путем компьютерного моделирования способов охлаждения на примере транзистора КТ805, а экспериментальная проверка результатов моделирования проведена на примере светодиода МХ6. Для лучшего сравнения моделирования и эксперимента лучше было бы использовать один и тот же объект – транзистор, либо светодиод.

5. На рис. 3.11 приведена зависимость перегрева перехода транзистора и светодиода от скорости струи жидкости форсунки. Нет разъяснения, какое расстояние от сопла форсунки до исследуемого полупроводникового прибора, в какой точке системы и по какой методике измерялась скорость хладагента.

6. В работе проведены большие экспериментальные исследования различных полупроводниковых приборов. Данные экспериментов приведены в виде диаграмм. Представляется целесообразным провести статистическую обработку полученных результатов, например рассчитать математическое ожидание и дисперсию. Это придало бы экспериментальной части работы большую законченность и цельность.

7. На страницах 85, 86, 87 диссертации приведено подробное описание метода эквивалентов. Метод эквивалентов хорошо известен и достаточно было дать ссылку на литературные источники.

Замечания по содержанию и оформлению:

1. На стр. 4 «По данным фирмы Cree...» – отсутствует ссылка на литературные источники.
2. На стр. 13 (рис. 1.1), стр. 40 (рис. 2.9), стр. 41 (рис. 2.10) – рисунки состоят их двух и более фрагментов и не имеют обобщенного названия.
3. На стр. 32 некорректная ссылка на рисунки 2.1, 2.2, 2.3.
4. Некорректно приведен чертеж мощного транзистора на рисунках 2.1, 2.12, 3.14. Обычно у мощных транзисторов вывод коллектора совмещен с корпусом.
5. На стр. 35, седьмая строка снизу, опечатка.
6. На стр. 40, 41 осциллограммы трудночитаемы.
7. На рис. 3.8 пластина под светодиодом имеет штриховку под металл, а радиатор к которому крепится светодиод с пластиной без штриховки.
8. В таблице 3.1 прямой ток светодиода указан в миллиамперах, прямое напряжение в милливольтках, тепловое сопротивление в градусах на ватт. Целесообразно указывать размерность в одной системе СИ.
9. Рис. 3.15а, на чертеже светодиода, теплоотвод корпуса не соединяется с выводом светодиода. На фотографии светодиода рис.3.15 б видно, что теплоотвод является выводом светодиода.
10. На рис. 3.12б приведены осциллограммы модифицированного метода. Верхняя осциллограмма - сигнал на исследуемом приборе. Описание нижней осциллограммы 3.12б в тексте отсутствует.

Отзывы на автореферат диссертации:

ОАО «НПО «Радиоэлектроника» им. В.И.Шимко», г. Казань, подписанный директором по научной работе С.М.Царевым. Отзыв положительный. Замечания:

1. Предложенный способ измерения теплового сопротивления состоит из собственно процесса измерения и процесса расчета теплового сопротивления. Для расчета теплового сопротивления можно было применить более современное программное обеспечение, позволяющие еще больше повысить быстродействие способа.

2. Сложен и трудоемок процесс создания эквивалентной тепловой схемы конкретного полупроводникового прибора.

3. В предложенном способе измерение теплового сопротивления можно проводить в режиме нагрева или охлаждения исследуемого прибора. Из автореферата не ясно, в каких случаях используются соответствующие режимы.

Казанский физико-технический институт имени Е.К. Завойского КазНЦ РАН, г. Казань, подписанный ведущим научным сотрудником, д. ф.-м. наук А.Л. Степановым. Отзыв положительный. Замечания:

1. Линейные эквивалентные тепловые схемы широко используются для анализа мощных приборов типа транзисторы, представляющую плоские многослойные структуры. Особенности конструкции SMD светодиодов приводят к тому, что в процессе теплопередачи существенную роль играют контакты светодиода, которые в линейных схемах не учитываются. Из автореферата не ясно учитывались ли в эквивалентной тепловой схеме контакты SMD светодиода.

2. В автореферате на диаграммах рисунка 10 приведены значения тепловых сопротивлений и ТКН светодиодов. Из автореферата не ясно имеется ли корреляционная связь между тепловыми сопротивлениями и ТКН светодиодов.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, подписанный доцентом кафедры производства и конструирования канд. техн. наук В.Н. Леухиным. Отзыв положительный. Замечания:

1. Не совсем оптимальна структура диссертационной работы. Вторая глава диссертационной работы посвящена способу измерения теплового сопротивления, а в третьей описывается тепловая и математическая модель, которая используется в способе. Обычно сначала делают анализ математической модели, а затем описывается применение модели, в каком либо техническом приложении.

2. При использовании многовариантного анализа эквивалентной тепловой схемы вариации подвергались тепловые сопротивления, но в тепловую схему входят также и теплоемкости элементов корпуса полупроводникового прибора.

Из автореферата не понятно, подвергались ли вариации теплоемкости тепловой схемы.

3. Автором проводились экспериментальные исследования различных силовых компонентов, но на диаграмме рис.10 приведены результаты исследований только для одного типа светодиодов, остальные результаты экспериментальных исследований приведены очень кратко без пояснений.

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара, подписанный профессором кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, д-р техн. наук профессором М.Н. Пигановым. Отзыв положительный. Замечания:

1. Экспериментальная часть работы в автореферате приведена слишком кратко. Автором были проведены экспериментальные исследования большого количества различных мощных полупроводниковых приборов и светодиодов. Результаты экспериментов недостаточно отражены в автореферате.

2. Теоретическая часть автореферата слишком растянута. Присутствуют некоторые абзацы, которые общеизвестны и могут быть сокращены без ущерба для качества диссертационной работы. При анализе тепловых эквивалентных схем много идет повторение. Например, тепловые схемы на рис. 3 и рис. 8 практически повторяют друг друга.

3. На диаграмме рис.10 приведены результаты исследований тепловых параметров светодиодов, но нет пояснений результатов. Не понятно, как связаны диаграммы теплового сопротивления и температурного коэффициента напряжения.

ФГАОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, подписанный профессором кафедры компьютерные технологии в проектировании и производстве, д-р техн. наук, профессором С.М.Никулиным. Отзыв положительный. Замечания:

1. Описание тепловой модели в третьей главе автореферата явно обладает избыточностью. Описания тепловых схем общеизвестны и могут быть сокращены без ущерба для качества диссертационной работы. Некоторые

рисунки малоинформативные, например, структурная схема прибора на рисунке 2.

2. Выводы по экспериментальной части работы приведены слишком кратко. Например, отмечается процентный разброс теплового сопротивления различных транзисторов и светодиодов в партии, но совершенно отсутствуют выводы по этому факту.

3. В третьей главе для расчета теплового сопротивления R_2 и теплоемкости C_2 в эквивалентной тепловой схеме рис.8 используется метод тепловых эквивалентов, с помощью которого обычно определяют тепловые сопротивления. В автореферате не показано, как использовался метод эквивалентов для расчета теплоемкости C_2 .

В автореферате Выбор официальных оппонентов и ведущей организации объясняется тем, что профессор кафедры проектирования и технологии электронных средств ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», д-р техн. наук, профессор В. И. Смирнов является специалистом в области устройств и методов измерения температуры кристаллов и тепловых сопротивлений полупроводниковых приборов и светодиодов, доцент кафедры Промышленная электроника и светотехника ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» канд. техн. наук, доцент Р.Р. Шириев является специалистом по конструированию светодиодной техники, методам и устройствам измерения параметров светодиодов, в том числе тепловых, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева», г. Саранск является одной из ведущих организаций в области исследования тепловых параметров полупроводниковых приборов и светодиодов. Оба оппонента и представители ведущей организации имеют достаточное количество публикаций, схожих по тематике с диссертационной работой.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан способ для экспресс-контроля теплового сопротивления переход-корпус различных полупроводниковых приборов светодиодов, транзисторов, выпрямительных диодов;

предложен принцип измерений номиналов элементов эквивалентной тепловой схемы методом многовариантного анализа;

доказана целесообразность использования предложенного способа экспресс-контроля для задач входного и выходного контроля полупроводниковых приборов по тепловым параметрам;

введены новые понятия: многовариантный анализ эквивалентной тепловой схемы, определение величин элементов тепловой схемы с использованием корреляционной зависимости теоретических и экспериментальных кривых нагрева или охлаждения полупроводникового прибора.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана и экспериментально подтверждена реализуемость и эффективность предложенного способа экспресс-контроля, позволяющего увеличить быстродействие контроля тепловых параметров светодиодов, транзисторов, выпрямительных диодов за счет измерения температурного коэффициента напряжения (ТКН) и теплового сопротивления переход-корпус в едином цикле в режиме докритических тепловых воздействий;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы пакеты прикладных программ, позволяющих проводить анализ тепловых эквивалентных схем полупроводниковых приборов для нестационарного теплового процесса;

изложены основные принципы и способы измерения температуры кристаллов и тепловых сопротивлений переход-корпус с применением эквивалентной тепловой схемы полупроводникового прибора для нестационарного теплового процесса;

раскрыты возможности повышения показателей быстродействия измерения теплового сопротивления переход-корпус при использовании предложенного в диссертации способа контроля;

изучены процессы теплопередачи в полупроводниковом приборе при нестационарном тепловом режиме при использовании предложенного в диссертации способа контроля;

проведена модернизация стандартного метода измерения теплового сопротивления переход-корпус для разработки эквивалентной тепловой схемы полупроводникового прибора;

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

разработаны и внедрены практические способы контроля тепловых сопротивлений с использованием прибора для измерения тепловых сопротивлений, о чем свидетельствуют соответствующие акты внедрения;

определены перспективы использования способа экспресс-контроля теплового сопротивления переход-корпус для определения надежности и качества светодиодов, транзисторов и выпрямительных диодов;

создан вариант реализации предложенного в работе способа, основанный на использовании результатов диссертации, использовании существующих измерительных приборов общего применения;

представлены рекомендации по технической реализации предложенного способа и его модификаций, позволяющие обеспечить эффективное применение измерительных средств на основе предложенного способа и его модификаций.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты были получены с использованием стандартного метода измерения тепловых сопротивлений переход-корпус и использованием разработанного способа экспресс-контроля; показана высокая воспроизводимость и совпадение результатов измерения тепловых параметров при измерении обоими методами;

теория построена на известных научных представлениях законах распространения тепловой энергии в твердых средах при нестационарном тепловом режиме; полученные теоретические результаты подтверждаются экспериментальными данными и согласуются с опубликованными экспериментальными данными других авторов;

идея базируется на анализе теории и практики методов измерения теплового сопротивления переход-корпус в задачах диагностики полупроводниковых приборов по тепловым параметрам;

установлено совпадение полученных расчетных данных с результатами эксперимента;

использованы современные методики измерения и обработки экспериментальных данных с использованием микропроцессорной техники, проведены моделирование тепловых процессов при измерении теплового сопротивления переход-корпус с использованием современных пакетов прикладных программ.

Личный вклад соискателя состоит в:

- в разработке способа экспресс-контроля теплового сопротивления переход-корпус полупроводниковых приборов;
- в разработке и создании прибора для измерения тепловых сопротивлений переход-корпус полупроводниковых приборов и светодиодов;
- в получении и обработке экспериментальных данных, выполненных с помощью разработанного прибора;
- в подготовке основных публикаций по выполненной работе, и личном участии в апробации результатов исследования.

Диссертация Мальцева И.А. представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в котором решена актуальная задача совершенствования измерительного оборудования с повышенными требованиями к основным техническим характеристикам.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены

научные и технические решения и разработки способов и устройств измерения температуры кристаллов и теплового сопротивления переход-корпус полупроводниковых приборов и светодиодов, позволяющих улучшить технико-экономические параметры измерителей теплового сопротивления, и соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. № 842 (ред. от 21.04.2016г.)

На заседании 07 октября 2016 диссертационный совет принял решение присудить Мальцеву И.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 4 докторов наук по специальности 05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов, изделий», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 17, «против» - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета



Ю.К. Евдокимов

Ученый секретарь диссертационного совета



Е.С. Денисов

Дата оформления Заключения

07 октября 2016 г.