


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и инновациям  
Томского государственного университета  
систем управления и радиоэлектроники,  
доктор технических наук, профессор



  
Р.В.Мещеряков  
23 » 09 2016 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования

«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Диссертационная работа Гончаровой Ю.С. «Тепловой режим полупроводниковых источников света при ускоренных испытаниях на надежность и долговечность».

В 2012 году Гончарова Ю.С. окончила Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники по специальности «Государственное и муниципальное управление». С 2012 года по 2016 год обучалась в заочной аспирантуре университета по специальности «Физическая электроника».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2016 году ТУСУРом.

Научный руководитель, Смирнов Серафим Всеволодович – доктор технических наук, профессор, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра физической электроники, профессор.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

## **Оценка выполненной соискателем работы**

Диссертация Гончаровой Ю.С. является научно-квалификационной работой, в которой решена научно-практическая задача по исследованию тепловых процессов в полупроводниковых источниках света, выбору и обоснованию режимов ускоренных испытаний. Новые результаты, полученные при выполнении работы, позволяют углубить знания о процессах тепловыделения в полупроводниковых источниках света на основе наногетероструктур InGaN с люминофорным покрытием и выявить закономерности изменения их характеристик, как в процессе эксплуатации, так и в процессе ускоренных испытаний. Развитый в работе подход к анализу результатов ускоренных испытаний источников света при повышенных температурах позволяет произвести корректную оценку срока службы изделий и выявить наиболее перспективные пути повышения их ресурса работы.

### **Актуальность темы и направленность исследования**

Полупроводниковые источники света находят широкое применение в устройствах автоматики, системах передачи и отображения информации, телеметрии, медицине, а также в светотехнических устройствах. В последнее время наибольшее внимание привлекают полупроводниковые источники белого света на основе гетероструктур GaN-GaInN с люминофором. Значения их световой отдачи достигли 120 лм/Вт в промышленности и 180 лм/Вт – в исследовательских лабораториях, кроме того, важными их достоинствами являются: низкое энергопотребление и большой срок службы. При условии соблюдения рекомендованных производителем электрических и тепловых режимов, срок службы данных устройств может достигать 10-15 лет. При такой высокой предполагаемой долговечности натурные испытания полупроводниковых источников света становятся нерентабельными, ввиду их высокой длительности и трудоемкости, поэтому актуальным становится разработка ускоренных методов испытаний. Ускоренные испытания позволяют за более короткое время определить среднее время наработки источника света и сделать достоверный долгосрочный прогноз. Как правило, процесс ускорения достигается за счет увеличения



температуры или прямого тока при испытаниях. Но для того, чтобы корректно выбрать режимы испытаний необходимо точно определить:

- основные тепловые процессы и области тепловыделения;
- температуру корпуса, температуру активной области кристалла и температуру люминофора при испытаниях;
- кажущуюся энергию активации процесса деградации;
- коэффициент ускорения при предельно-допустимых температурах и плотностях тока.

Исходя из вышесказанного, возможно сформулировать три основных направлений исследований в данной работе:

- определение предельных рабочих характеристик полупроводниковых источников света;
- разработка методов измерения температуры кристаллов источников света в процессе эксплуатации и испытаний;
- изучение процессов деградации полупроводниковых излучающих структур и люминофора.

Работа выполнена в рамках выполнения проекта: «Разработка высокоэффективных и надежных полупроводниковых источников света и светотехнических устройств и организация их серийного производства» по постановлению правительства РФ №218 от 2010 года.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации**

Диссертация является обобщением исследований, проводимых автором с 2010 года, выполненных им в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники. Постановка задач осуществлялась совместно с научным руководителем, доктором технических наук, профессором С.В. Смирновым. Исследования выполнялись совместно с сотрудниками ТУСУРа, с профессором кафедры физической электроники, доктором технических наук, профессором С.В. Смирновым, доцентом кафедры физической электроники, кандидатом технических наук Е.В. Саврук, доцентом кафедры РЭТЭМ,

кандидатом технических наук В. Солдаткиным, зам. главного инженера АО НИПП В.В. Дохтуровым, инженер-технологом АО НИИПП И. Гариповым, старшим преподавателем кафедры ИТ М.А. Романовой. Представленные в работе результаты получены автором, либо при его непосредственном участии. Автором, совместно с руководителем, определялся выбор направлений исследований, осуществлялась постановка задач, разработка методик проведения экспериментов, анализ экспериментальных результатов.

### **Степень достоверности результатов проведённых исследований**

Достоверность полученных экспериментальных результатов базируется на использовании измерительных приборов и оптических элементов, с известными характеристиками, а также на обработке большого массива экспериментальных данных с применением статистических методов, позволяющей усреднить случайные погрешности измерений, которые не превышали 5 %. Полученные в диссертации расчетные результаты подтверждаются как экспериментами, имеющими качественный характер, так и их количественным соответствием экспериментальным данным в пределах погрешности проведенных измерений.

### **Новизна результатов проведённых исследований**

1. Разработан метод бесконтактного измерения температуры кристалла и люминофорного покрытия отдельных изделий и изделий в составе устройств и комплексов, в процессе их эксплуатации и ускоренных испытаний.
2. Выявлены особенности тепловыделения в полупроводниковых источниках света, и показано, что тепловое сопротивление полупроводникового источника света не является величиной постоянной, а зависит от плотности тока, температуры корпуса и времени испытаний. Также установлено, что 10-15% потребляемой источником света мощности выделяется в виде тепла в люминофорном покрытии.
3. Определена кажущаяся энергия активации деградации источников света на основе наногетероструктур InGaN, двумя взаимодополняющими друг друга способами. Для источников света КИПД154А92 кажущаяся энергия активации составила 0,6-0,65 эВ, а для КИПД154Г92 - 0,7-0,73 эВ.



Установлено, что ее значения, определенные из результатов ступенчатых температурных испытаний ниже на 12-17%, чем значения, определенные из результатов электрических испытаний.

4. Установлена зависимости температуры кристалла источника света и коэффициента ускорения от времени испытаний.

Новые результаты, полученные при выполнении работы, позволяют углубить знания о процессах тепловыделения в полупроводниковых источниках света на основе наногетероструктур InGaN с люминофорным покрытием и выявить закономерности изменения их характеристик, как в процессе эксплуатации, так и в процессе ускоренных испытаний. Разработанный в работе подход к анализу результатов ускоренных испытаний источников света при повышенных температурах позволяет произвести корректную оценку срока службы изделий и выявить наиболее перспективные пути повышения их ресурса работы.

#### **Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов**

Предложенные бесконтактные методы измерения температуры кристалла могут быть использованы в производстве и эксплуатации полупроводниковых светодиодов и электронных устройств на их основе. Разработанная методика ускоренных испытаний рекомендована к использованию при разработке и производстве полупроводниковых светоизлучающих диодов. По результатам испытаний определен медианный срок службы светодиодов КИПД154Г92, по пессимистическому прогнозу составляющий порядка 300 000 часов.

Результаты работы использованы в ТУСУР и АО НИИПП при выполнении х/д 37/10 по постановлению правительства РФ №218. Созданный в процессе работы макет установки для измерения температуры источников света используется в ТУСУР при выполнении учебных заданий по групповому проектному образованию студентами специальности «Микро- и нанoeлектроника». Совместно с АО НИИПП обсуждается возможность изготовления разработанной установки для контроля качества светодиодов в условиях серийного производства.

### **Ценность научных работ соискателя, полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах**

По материалам диссертации Ю.С. Гончаровой опубликовано 6 работ, в том числе 5 статей в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, 2 патента на изобретения и один патент на полезную модель. Общий объём публикаций – 43,6 п.л., авторский вклад – 13,29 п.л.

В опубликованных работах достаточно полно отражены материалы диссертационного исследования.

1. Гончарова Ю.С. Просветляющие и отражающие наноразмерные покрытия для полупроводниковых источников света//Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники». 2010 №2(22). С.203-205.

2. Гончарова Ю.С., Саврук Е.В., Смирнов С.В. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов//Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2011 №2-2(24). С.55-58

3. Дохтуров В.В., Саврук Е.В., Смирнов С.В., Гончарова Ю.С. Тепловой режим светодиодных сигнальных ламп// Электроника и электрооборудование транспорта. №5, 2012, С.

4. Дохтуров В.В., Смирнов С.В., Гончарова Ю.С. Влияние локализации тепловыделения на тепловое сопротивление мощных полупроводниковых источников света// Полупроводниковая светотехника 2013, №3, С.

5. Гончарова Ю.С., Гарипов И.Ф., Солдаткин В.С. Ускоренные испытания полупроводниковых источников света на долговечность//Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники», 2013 №2, С.

6. Гончарова Ю.С., Романова М.А., Смирнов С.В. Спектральный метод бесконтактного измерения температуры кристаллов полупроводниковых



источников света//Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2015, №2(36), С.38-40.

#### Патенты

1. Гончарова Ю.С., Саврук Е.В., Смирнов С.В. Способ изготовления полупроводникового источника света// патент РФ на изобретение №

2. Гончарова Ю.С., Саврук Е.В., Смирнов С.В. Устройство для измерения температуры полупроводниковых источников света в осветительных устройствах// Патент РФ на полезную модель, № 116693.

3. Гончарова Ю.С., Саврук Е.В., Смирнов С.В. Пат. 2538070 РФ, МПК G01 R31/265 G01 K 7/00 Способ бесконтактного определения неравномерности температурного поля в полупроводниковых источниках света; заявл. 18.07.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. № 1

Результаты работы были доложены на 8 всероссийских и международных научно-практических конференциях.

#### **Соответствие содержания диссертации избранной специальности**


Предмет исследования и материалы диссертационной работы соответствуют специальности **05.11.07**—Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы. Разработка, совершенствование и исследование характеристик приборов, систем и комплексов с использованием электромагнитного излучения оптического диапазона волн, предназначенных для решения задач (п. 2 паспорта специальности).

Диссертационная работа Гончаровой Юлии Сергеевны «Тепловой режим полупроводниковых источников света при ускоренных испытаниях на надежность и долговечность» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07—Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Заключение принято на заседании научного семинара кафедры физической электроники факультета с привлечением специалистов кафедры электронной техники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский государственный

университет систем управления и радиоэлектроники».

Присутствовало на заседании – 16 чел. Результаты голосования: «за» – 16 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол №14 от 22 сентября 2016 г.



Ю.В. Сахаров

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра физической электроники, зам.  
заведующего кафедрой.