

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертацию **Гончаровой Юлии Сергеевны**

«Тепловой режим полупроводниковых источников света при испытаниях на надежность и долговечность», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07- Оптические и оптоэлектронные приборы и комплексы.

На отзыв представлены: автореферат 22 стр. и диссертация на 145 страницах, состоящая из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 111 наименований и приложения. Из анализа предоставленных материалов установлено следующее:

### **Актуальность диссертационной работы**

Одной из стратегических задач разработки и производства современных надежных и долговечных полупроводниковых светоизлучающих приборов является разработка достоверных экспресс - методов диагностики и испытаний изделий на всех этапах создания: от НИОКР до производства. Технологический контроль параметров светодиодов и оптимизация конструкции на основе объективных данных приборных измерений – залог достижения высокого качества продукции. Традиционные ресурсные испытания в режиме наработки в номинальном режиме и измерений степени деградации приборов в процессе испытаний являются несоразмерно продолжительными в сравнении с производственными оборотами продукции и по этой причине не приемлемыми для промышленного применения. В настоящее время светодиодная продукция остается еще в статусе молодого развивающегося направления, что в значительной степени объясняет пробелы в области методического обеспечения испытаний, диагностики, метрологии и сертификации новой продукции. В свою очередь такая ситуация непосредственно является причиной значительного разброса параметров изделий различных производителей, зачастую несоответствия заявляемых параметров реальным, что, в конечном счете, снижает доверие

потребителей к современной прогрессивной светотехнике.

Создание парка надежных и достоверных метрологических ресурсов для обеспечения непрерывного контроля на стадиях конструирования и технологического процесса - благородная и сложная задача, которую частично автор пытается решить в своей работе. В этой связи развитие теоретических и экспериментальных экспресс - методов оценки теплового режима полупроводниковых источников света как определяющего фактора надежности и долговечности светодиодов, рассмотренных в диссертационной работе Гончаровой Ю.С., приобретает **своевременность и актуальность.**

Актуальность работы также подтверждается поддержкой ее финансирования 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.

### **Анализ содержания диссертации**

Проводя анализ содержания диссертации, хочу отметить следующие наиболее важные положения и моменты.

**Введение.** Во введении автор формулирует цели и задачи работы и обосновывает актуальность темы, научную новизну, достоверность и практическое значение полученных результатов, приводит основные положения, выносимые на защиту.

Характеризуя поставленные в работе задачи, следует отметить их комплексность и всестороннее исследование основных индикаторов, определяющих методику ускоренных испытаний светодиодов. Полученные экспериментальные данные позволили автору сформулировать методологические основы построения достоверных методов экспресс – испытаний светодиодов. Выявленные закономерности тепловыделений в светодиодах легли в основу созданного методического комплекса исследований и испытаний, составившие **научную новизну и защищаемые**

**положения и определившие практическую значимость работы.**

**Глава 1.** В первой главе (литературный обзор) кратко рассмотрены особенности конструкции полупроводниковых источников света на основе GaInN светодиодов, излучающих в синей области спектра, процессы деградации кристаллов и люминофорного покрытия на основе смеси из иттрий - алюминиевого и иттрий - гадолиниевого гранатов, легированных церием, и основные механизмы тепловыделения в конструкции светодиодов. Выполнен обзор работ по исследованию влияния температуры на режимы работы и характеристики светодиодов. Описаны процессы выделения тепла и распределения температуры в активной области кристалла, влияние теплового режима на электрические и фотометрические характеристики и параметрические отказы светодиодов. Рассмотрены экспериментальные методы измерения температуры кристалла и на основе теоретической модели теплового влияния на параметры светодиодов сформулированы методологические принципы ускоренных испытаний на долговечность и безотказность. Описаны основные физико-химические процессы, приводящие к деградации параметров светодиодов, показана определяющая роль температуры в этих процессах. На основании данных литературного обзора **сформулированы цели и задачи исследований.**

**Глава 2** посвящена описанию объектов и методического комплекса исследований, включающего экспериментальное измерительное и испытательное оборудование.

В качестве объектов исследования выбраны полупроводниковые источники света КИПД 154А92 и КИПД154Г92 в пластмассовом корпусе 5050 производства АО НИИПП (Томск). Светодиоды по своей конструкции и параметрам являются типовыми, применяемыми в светотехнических приборах серийного производства.

В главе приведено описание экспериментального измерительного и испытательного оборудования, обеспечивающего обширный спектр исследований параметров светодиодов в широком диапазоне изменений

экспериментальных условий. Привлекает внимание специально разработанная в ТУСУР установка для выполнения экспериментальных исследований и измерений теплового сопротивления (УТС) р-п переход – внешняя среда, которую планируется внедрить в производство полупроводниковых источников света и осветительных устройств. Приведены характеристики используемого в диссертационной работе испытательного оборудования.

Методический комплекс позволил автору выполнить большой объем исследований как при моделировании температуры светодиода на этапе его разработки, так и в реальных условиях эксплуатации непосредственно в устройствах, достаточный для решения поставленных в работе задач.

**Глава 3.** В третьей главе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований тепловых режимов светодиодов в пластмассовом корпусе типа 5050.

В условиях отвода тепла от кристалла в модели электротепловой аналогии выполнен расчет теплового сопротивления источника с распаянным на теплоотводящей плате корпусом. В результате расчетов установлено, что суммарное тепловое сопротивление источника света составило  $33,2^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Экспериментальные измерения теплового сопротивления была выполнены на установке «УТС», в которой для измерения температуры р-п перехода в качестве термочувствительного индикатора использовано прямое падение напряжения. Для определения выделяющейся в кристалле тепловой мощности было сделано допущение, согласно которому в энергетическом балансе кристалла потребляемая электрическая мощность распределяется на две составляющие: тепловую и лучистую. Таким образом, выделяющаяся в кристалле тепловая мощность определялась как разность между потребляемой электрической мощностью и полной мощностью излучения. Полученное этим методом значение теплового сопротивления при токе 360 мА составило  $40^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

Далее автор, принимая в качестве постулата положение о зависимости

мощности излучения источника от температуры корпуса и времени эксплуатации или испытаний при фиксированном значении прямого тока, делает вывод о зависимости температуры р-п перехода кристалла от этих параметров и необходимости её оперативного контроля при испытаниях и в процессе эксплуатации. С учетом методических трудностей прямого контактного измерения температуры р-п перехода и, используя полученные данные о зависимости излучательных характеристик светодиода от температуры, автор обосновывает необходимость разработки способа и устройства бесконтактного измерения температуры.

Для этой цели был разработан способ и устройство бесконтактного измерения температуры, основанный на анализе спектра излучения источника. С помощью разработанного метода были проведены исследования теплового режима кристаллов светодиодов и люминофорных покрытий. Измерения показали, что люминофорное покрытие имеет температуру на 10-15°С выше температуры кристалла.

**Глава 4** посвящена исследованию и выбору тепловых режимов источников при ускоренных испытаниях. В качестве ускоряющего фактора выбрана повышенная температура кристалла (+85°С), а в качестве индикаторов световой поток и прямое падение напряжения. Для расчета коэффициента ускорения автором проведено экспериментальное определение энергии активации, значение которой для исследуемых изделий составило от 0,6 до 0,73 эВ. С учетом выбранных режимов проводились испытания изделий в течение 2000 часов с коэффициентом ускорения равным 32, что эквивалентно работе в 64000 часа при температуре кристалла 45°С. По результатам этих испытаний сделан прогноз долговечности полупроводниковых источников света.

#### **Научная новизна и достоверность полученных результатов.**

Научную новизну работы составляют следующие достижения:

- разработан бесконтактный метод измерения температуры кристалла и люминофорного покрытия, основанный на зависимости их спектральных

характеристик излучения от температуры; метод составляет метрологическое обеспечение ускоренных испытаний изделий на срок службы;

- сформулированы методологические основы ускоренных испытаний светодиодов и предложены эмпирические экспресс - методики прогнозирования их срока службы, основанные на изученных зависимостях параметров светодиодов от температуры;

- обосновано применение двух параметров: прямой ток и температура р-п перехода, - в качестве информационных независимых в методе ускоренных испытаний и установлены значения кажущейся энергии активации процессов деградации соответствующих параметров светодиодов.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается теоретическими расчетами и согласованностью этих расчетов с экспериментальными данными, полученными в условиях мелкосерийного производства с использованием современного измерительного и испытательного оборудования.

**Обоснованность положений, выносимых на защиту, и выводов по работе.**

Положения, выносимые на защиту, не вызывают возражений, имеют научную новизну, теоретически обоснованы в тексте диссертации и экспериментально доказаны. Выводы по каждой главе соответствуют ее содержанию, а общие выводы по работе соответствуют содержанию диссертации, базируются на большом экспериментальном материале и не противоречат имеющимся литературным данным.

**Практическая значимость работы.**

Разработанные методы использованы в 2010-2014 году в АО НИИПП (г.Томск) при выполнении совместно с ТУСУР, НИ ТПУ и НИ ТГУ х/д 37/10. Разработанные в ходе выполнения работы методика измерения температуры и установка измерения теплового сопротивления рекомендуются к внедрению в АО НИИПП и на предприятиях,

специализирующихся в области разработки устройств на основе полупроводниковых источников света.

Материалы диссертации опубликованы в 6 статьях, 5 из которых в журналах входящих в перечень ВАК РФ, получены 2 патента на изобретения и один патент на полезную модель, результаты работы доложены на Международных и Всероссийских конференциях. Основные результаты достаточно полно освещены в научно-технической открытой печати.

Содержание автореферата соответствует основному содержанию диссертационной работы. Оформление диссертации и автореферата соответствует установленным требованиям. Работа логично изложена и аккуратно оформлена.

#### **Замечания по диссертационной работе**

В работе проведен большой объем экспериментальных и теоретических данных, их обстоятельная интерпретация, однако по материалу диссертации следует сделать следующие замечания:

1. Положение 3 выносимое на защиту звучит как общий методический вывод в виде рекомендации к методике определения кажущейся энергии активации.

2. В работе описан бесконтактный метод измерения температуры кристалла источника, однако не ясно, в какой стадии разработки он находится и проводилась ли его аттестация.

3. В главе 4 приведены уравнения 4.1-4.3 повторяющие уравнения 1.16 – 1.18 из главы 1.

4. Несмотря на то, что в большинстве случаев измерения величин выполнены в относительных единицах и можно было бы не предъявлять жестких требований к оценкам погрешности измерений, тем не менее, целесообразно указывать погрешность и доверительный интервал.

5. На с. 44 делается ссылка на стандарты, однако библиографических ссылок нет.

6. На с.94 автор неправомерно говорит о зависимости собственной

характеристики люминофора - "квантовый выход" от толщины слоя. Это применимо, например, к световому КПД слоя люминофора, но не к квантовому выходу.

7. На с.96, рис. 3.19 – спектр свечения люминофора неверно назван спектром возбуждения.

8. В тексте диссертации имеются опiski, отступления от принятой профессиональной терминологии и обозначений, ошибки форматирования, стилистические погрешности и пунктуационные ошибки. Например, опечатка на с. 93 диссертации –  $50^{-100} \text{ см}^{-1}$ , или указаны различные значения суммарного теплового сопротивления в диссертации на с.78 – «33,2», а в автореферате – «36,2».

Выше приведенные замечания не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертации. Поставленная цель достигнута, а задачи исследования - выполнены. В работе представлен большой объем экспериментальных и теоретических данных, грамотная интерпретация которых подтверждает обоснованность выводов и свидетельствует о высоком научном уровне представленной к защите работы.

#### **Заключение.**

Диссертационная работа Гончаровой Ю.С. представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области разработки и производства полупроводниковых источников света.

Работа соответствует п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» РФ, п.2 паспорта специальности 05.11.07- «Оптические и оптоэлектронные приборы и комплексы» и требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам, на основании чего считаю, что



