

УДК 621.32:628.9.038:628.955

**В.И. Туев**

## НИИ светодиодных технологий ТУСУРа. Направления развития

Приведены некоторые научно-технические результаты выполнения научно-исследовательских, опытно-технологических работ, а также прикладных научных исследований и экспериментальных разработок НИИ светодиодных технологий ТУСУРа.

**Ключевые слова:** лампа светодиодная, светодиод, светодиодные источники света, теплопроводящие полимерные композиции; конструкции и технологии органических светоизлучающих диодов.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2017-20-3-25-30

В 2010 г. в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники создан НИИ светодиодных технологий (НИИ СТ). Это организационное решение призвано придать большую значимость научному направлению «Оптоэлектроника», в рамках которого исследования в университете ведутся на протяжении более четырех десятилетий [1], и усилить разработку производственных технологий для внедрения на предприятиях реального сектора экономики. Время создания НИИ СТ соответствует определенному «техническому перевороту» в светотехнике, особенность которого заключается в том, что полупроводниковые светоизлучающие диоды по параметру световой отдачи (значение излучаемого светового потока на единицу потребленной электрической мощности) опередили все существующие источники света, превышшая по этому показателю почти на порядок традиционные лампы накаливания и почти в два раза люминесцентные лампы [2].

### Направления исследований НИИ СТ

Исследования в НИИ светодиодных технологий ведутся в двух основных областях:

1. В области совершенствования конструкции и технологии производства неорганических светодиодов и светотехнических устройств на их основе.

2. В области разработки конструкции органических светодиодов и устройств на их основе с применением высокомолекулярных полимерных материалов и печатных технологий их изготовления.

**В рамках первого направления** – совершенствование неорганических светодиодов и светотехнических устройств на их основе – в 2010–2012 гг. НИИ СТ выступил исполнителем работ по проекту «Разработка высокоэффективных и надежных полупроводниковых источников света и светотехнических устройств и организация их серийного производства», выполненному в интересах индустриального партнера в лице АО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (г. Томск). Работы выполнены по Постановлению Правительства России от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства». Работы выполнялись ТУСУРом с привлечением со-

исполнителей: Национального исследовательского Томского государственного университета, Национального исследовательского Томского политехнического университета, ЗАО «Инновационная фирма «Тетис» (г. Санкт-Петербург), закрытого акционерного общества «Топаз» (г. Томск).

В выполнении проекта активное участие принимали не только сотрудники НИИ СТ, но и представители кафедр, НИИ и других коллективов университета. Сотрудниками кафедры физической электроники проведен большой объем исследований по повышению внешней квантовой эффективности светодиодных кристаллов: исследованы гетероструктуры на основе широкозонных материалов, обнаружены необычные вольт-амперные характеристики для одиночных и двойных наногетероструктур [3], установлено, что эффективным способом создания периодических наноструктур  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  на поверхности  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  является ее оплавление лазерным излучением с плотностью мощности  $10^5\text{--}10^6$  Вт/см<sup>2</sup> с помощью импульсного излучения или путем сканирования лазерным лучом по поверхности, причем обработка поверхности керамики выполнена с использованием непрерывного и импульсного лазеров на ИАГ+Nd типа ЛТН-102 и «Квант-12». Показано, что форма и размер образующихся периодических наноструктур зависят как от направления и скорости течения расплава, так и от ориентации отдельных зерен, по которым идет процесс затвердевания расплава [3–5]. Исследованы спектры излучения полупроводниковых источников света типа КИПД 154А в диапазоне температур от комнатной до 150 °С, показано, что уменьшение светового потока источника при повышенных температурах связано как с уменьшением внешней квантовой эффективности кристалла, так и с уменьшением эффективности люминофорного покрытия [6]; исследована возможность формирования микрорельефных поверхностей в просветляющих оптических покрытиях; предложено использовать в качестве просветляющих покрытий на GaN пленки SiO<sub>2</sub>, в которых формировалась микрорельефная поверхность с регулярной структурой с помощью электронно-лучевой литографии. Получен микрорельеф в виде nanoострий с расстоянием между ними 500 нм с диаметром основания 284 нм, что соответствует плотности nanoострий  $1,4 \cdot 10^7$  шт./см<sup>2</sup> [7, 8]. Проведена оценка влияния

толщины слоя инвара, вводимого между медной подложкой и гетероструктурой светодиода повышенной мощности, на компенсацию возникающих механических напряжений в структуре [9]. Разработан способ получения прозрачных электропроводящих пленок ИТО, предназначенных для использования в светодиодах. При установленном технологическом режиме напыления и отжига удельное поверхностное сопротивление полученных оксидных пленок составило 5,0 Ом/□, а их коэффициент прозрачности – около 90% при толщине пленок 250 нм. Найденные условия получения пленок отмечены низким воздействием теплового удара как на пленку, так и на подложку, что предотвращает их растрескивание [10].

Сотрудники кафедры узлов и деталей радиоаппаратуры разработали электрическую и тепловую двумерные распределенные модели светоизлучающих диодов с мелким приповерхностным дефектом треугольной и прямоугольной формы [11].

Специалистами кафедры теоретических основ радиотехники предложены физическая и математическая модели светодиода и светодиодной лампы, в основу которых положена система дифференциальных уравнений для балансов тепловой энергии кристалла, подложки светодиода и измерительной камеры, проведено исследование тепловых режимов кристалла и подложки, оценено влияние тепловых сопротивлений различных участков, также рассмотрено решение обратной задачи, когда из полученных экспериментальных зависимостей для средних температур кристалла, подложки и стенок измерительной камеры находятся такие параметры, как тепловые сопротивления переходов кристалл–воздух, кристалл–подложка, подложка–воздух, а также производится оценка световой и тепловой мощности светодиода [12].

Особое внимание тепловому анализу как материалов, используемых для изготовления конструкций печатных плат с улучшенным теплопроводом, так и предлагаемых технических решений уделялось в исследованиях, проводимых сотрудниками кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга [13]. Также в содружестве со специалистами НИИ автоматики и электромеханики ТУСУРа детальной проработке подверглись вопросы моделирования, анализа и разработки высокоэффективных устройств управления и питания светодиодов [14, 15].

В результате выполнения работ по проекту получен существенный задел в технологии полного цикла изготовления светодиодов и светотехнических устройств для замены традиционных источников света в быту и различных отраслях промышленности: в жилищно-коммунальном хозяйстве, для освещения коммерческих помещений, для бытового освещения жилых и нежилых помещений, в строительной индустрии, в том числе для решения задач освещения в градостроительстве, в военной промышленности, в атомной промышленности, на

предприятиях по добыче и транспортировке нефти и газа, на предприятиях черной и цветной металлургии, в аэрокосмической отрасли, в электроэнергетике и теплоэнергетике, в электротехнической промышленности, в судостроительной промышленности, в авиастроении, на морском и речном транспорте, на железнодорожном транспорте, на автомобильном и воздушном транспорте, в медицинской промышленности и др.

Значения достигнутых технических характеристик разработанных светодиодов (эффективность более 160 лм/Вт, срок службы не менее 15 лет) и светотехнических устройств (эффективность более 120 лм/Вт, срок службы не менее 7 лет) соответствуют современному уровню развития техники. Разработки НИИ СТ в области светодиодных технологий в 2011 г. награждены дипломом конкурса «Сибирские Афины» (рис. 1).



Рис. 1. QR-код интернет-страницы НИИ СТ

#### **Материалы с повышенной теплопроводностью**

Полученный при выполнении работ по проекту задел в области полимерных керамических материалов с повышенной теплопроводностью использован при выполнении НИР «Исследование и разработка базовой технологии производства полимерных композиционных материалов с заданными деформационно-прочностными и теплофизическими характеристиками путем поверхностной и объемной модификации полимеров наполнителями, в том числе наноструктурированными» в рамках федеральной целевой программы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 гг. по заказу Минпромторга РФ. Работы успешно выполнены совместно с коллективом кафедры механики и графики.

В результате выполнения работ установлено, что специфика композиций на основе полимерных матриц предполагает в процессе выполнения работы использовать как методы вычислительной механики сплошной среды, так и методы компьютерной химии. Сочетание этих подходов позволяет получать практически важные результаты.

Моделирование материалов в указанных направлениях не только сокращает объем, время и стоимость экспериментальных работ, но и дает возможность понять сущность детальных физико-механических и химических процессов, протекающих в материалах и изделиях при их создании. В этом отношении разработка и реализация моделей дает, как правило, при проведении параметрических

исследований и при их анализе намного больше информации об объектах исследования, наполненных полимерных композициях, нежели прямые физические, механические или химические эксперименты. Значение экспериментальных исследований в основном сводится к следующему. Во-первых, лишь на основе экспериментальных данных можно создать физически обоснованную модель, ввести в нее и определить те параметры рецептуры (фазового состава), структуры, характера межфазного взаимодействия, технологических параметров и т.д., которые влияют на эффективные характеристики материала. Во-вторых, только эксперименты могут предоставить исходные данные о количественных значениях этих параметров. Наконец, верификация моделей, оценки степени их адекватности, достоверности возможны лишь на основе сравнения получаемых моделированием результатов с экспериментальными данными.

В целом это создает основу для разработки физически оправданных рекомендаций по направленному изменению эффективных свойств композиций за счет варьирования управляющих параметров, включающих в себя как рецептурные, так и технологические составляющие [16, 17].

Для построения поверхности отклика эффективных характеристик композиции, а именно деформационно-прочностных и теплофизических, на значения управляющих параметров, в частном случае – степени наполнения композиции и среднего размера армирующих включений, использовались данные, полученные из вычислительного эксперимента. Значения эффективных характеристик композиционных материалов получены на основе известных значений этих характеристик для материалов матрицы и армирующих включений с помощью математического моделирования, основанного на использовании аппарата и соотношений механики деформируемого твердого тела. В силу нелинейности возникающих краевых задач, а также отсутствия алгоритмов вычисления коэффициента теплопроводности неоднородных материалов использовались разработанные авторским коллективом вычислительные алгоритмы с применением метода конечных элементов.

Для расчета параметров токопроводящих свойств полимерных композиций использовались методы компьютерного моделирования квантово-химических моделей химических соединений в сочетании с экспериментальными исследованиями. При выполнении проекта разработана технология получения керамических слоев с повышенной теплопроводностью и хорошими диэлектрическими свойствами. Результатом являются полученные полимерные композиции, отнесенные к секретам производства (ноу-хау): «Теплопроводящая электроизоляционная полимерная композиция» и «Наноразмерный оксид алюминия».

Квантово-химические модели позволили спрогнозировать надмолекулярную структуру сополимера

винилхлорид-малеиновый ангидрид для создания эффекта перколяции при введении нано- и микрочастиц металла, используемых в качестве проводящей фазы композита, а также спрогнозировать надмолекулярную структуру полиалюмосиликата, которая вмещает большое количество частиц наполнителя, в качестве которых выбраны нано- и микрочастицы  $AlO(OH)$  и  $AlN$ , придающие необходимые свойства создаваемым композитам.

По разработанному в процессе выполнения НИР проекту технического задания на ОКР: «Разработка базовой технологии создания полимерных композиционных материалов для многослойных коммутационных плат силовых модулей систем управления и электропитания космических аппаратов» в настоящее время ведутся исследования в интересах одного из предприятий, входящих в состав Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

#### **Лампа светодиодная**

Полученный при выполнении работ по проекту «Разработка высокоэффективных и надежных полупроводниковых источников света и светотехнических устройств и организация их серийного производства» задел в части моделирования и разработки конструкции и технологии изготовления светоизлучающего диода, а также моделирования и разработки устройств управления и питания в дальнейшем развит при выполнении прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) по теме: «Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределением, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп накаливания» в рамках реализации федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Работы выполнены для конкретного потребителя результатов – индустриального партнера в лице томского лампового завода ООО «Руслед» с привлечением сотрудников кафедры конструирования и производства радиоаппаратуры.

Основные полученные результаты [18–28]:

– Разработана эскизная конструкторская документация (рис. 2), изготовлены и испытаны экспериментальные образцы лампы светодиодной. В результате проведенных испытаний подтверждено соответствие параметров макетных образцов лампы светодиодной техническим требованиям по проверке соответствия и контролю значений: внешнего вида и габаритных размеров, потребляемой мощности, светового потока, коррелированной цветовой температуры, световой отдачи, класса энергоэффективности, сохраняемости светового потока, требованиям по превышению температуры цоколя, сопротивлению крутящему моменту. В новой конструкции лампы [29, 30] увеличен конструкторско-технологический запас в части обеспечения требований к рав-

номерности пространственного распределения светового потока (рис. 3).

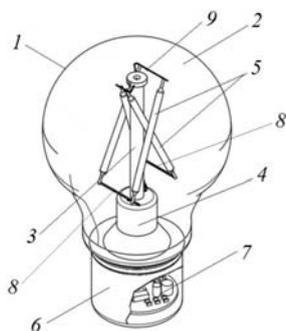


Рис. 2. Конструкция светодиодной лампы:

- 1 – колба лампы; 2 – внутренний объем колбы, заполненный газом; 3 – стойка сердечника; 4 – штенгель; 5 – светодиодные излучающие элементы; 6 – цоколь лампы; 7 – драйвер; 8 – герметичные впаи в штенгель; 9 – металлическая поддержка

– Разработана тепловая 3D-модель светодиодного излучающего элемента. Проведен расчет теплового режима светодиодного элемента, в ре-

зультате которого получена карта распределения температур. Полученные результаты позволяют оптимизировать распределение температуры по объему светоизлучающего элемента, определить области концентрации повышенных температур. В результате проведенного анализа разработана новая конструкция светодиодной ленты для лампы [31] с повышенной интенсивностью теплоотвода от излучающих кристаллов, что обеспечивает меньшее значение температуры кристаллов, повышает эффективность лампы в целом – не снижается светоотдача лампы в процессе работы, увеличивается срок службы светодиодных лент и, следовательно, лампы.

– Разработан новый токопроводящий композиционный материал на основе смеси сополимера винилхлорид-малеиновый ангидрид с нано- и микрочастицами металла, который может быть использован в качестве клея для посадки кристаллов. Полученный материал обладает низким удельным электрическим сопротивлением (до  $3,1 \cdot 10^{-8}$  Ом·м), приближающимся к сопротивлению чистого металла ( $1,6 \cdot 10^{-8}$  Ом·м).

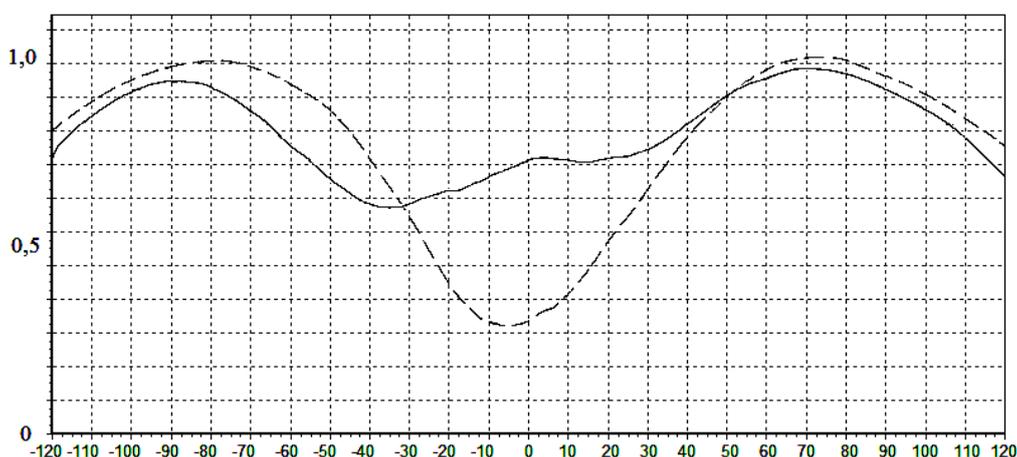


Рис. 3. Кривые силы света (КСС) в меридиональной плоскости лампы в прямоугольных координатах: по оси ординат отложена сила света, по оси абсцисс – значение угла в градусах.

Пунктирная кривая – КСС для лампы прототипа; сплошная кривая – КСС для разработанной конструкции лампы

– Разработаны новые конструкции, защищенные патентами на изобретения, и полезные модели, устройств управления и питания для светодиодной лампы, отличающиеся: а) возможностью изменения яркости свечения лампы при изменении напряжения электрической сети при ее включении через стандартный регулятор на симисторе с фазовым управлением; б) уменьшенным значением коэффициента пульсаций светового потока при бездрайверном подключении светодиодного светового прибора в сеть переменного тока [32, 33].

Результаты, полученные при выполнении ПНИЭР «Разработка энергосберегающей светодиодной лампы с конвекционным газовым охлаждением излучателей и сферическим светораспределением, адаптированной к традиционной технологии массового производства ламп накаливания», использованы при подготовке и запуске производства «лампочки томича» [34].

**В рамках второго направления** – разработки конструкции органических светодиодов и устройств на их основе с применением высокомолекулярных полимерных материалов и печатных технологий их изготовления в 2012–2014 гг. НИИ СТ возглавлял и координировал работы по проекту «Разработка базовой технологии изготовления особо плоских полноцветных ОСИД-дисплеев методом принтерной печати», выполненному в рамках федеральной целевой программы «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники» на 2008–2015 годы.

Работы выполнялись ТУСУРом с привлечением соисполнителей: АО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (г. Томск), Сибирского физико-технического института Национального исследовательского Томского государственного университета, Национального исследовательского Томского политехнического университета, Института высокомолекулярных соединений РАН,

общества с ограниченной ответственностью «Сан Инновации» (г. Новосибирск).

В выполнении проекта активное участие принимали не только сотрудники НИИ СТ, но и представители научного управления, кафедры радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга, кафедры физической электроники, студенческого конструкторского бюро «Смена».

При выполнении работ получены следующие результаты, некоторые из них – впервые в стране [35, 36]:

- Синтезировано более трех десятков сополифлуоренов различного строения, проведен анализ их светоизлучающих свойств в структуре органического светоизлучающего диода (ОСИД).

- Разработана рецептура растворителей для получения растворов органических материалов для последующего нанесения печатными технологиями.

- Разработаны технологические режимы нанесения раствора транспортного слоя методом плоттерной печати для получения пленки толщиной до 100 нм по поверхности ИТО.

- Разработаны технологические режимы нанесения раствора излучающего слоя методом плоттерной печати для получения пленки толщиной (60±20) нм по поверхности транспортного слоя.

- Разработаны технологические режимы нанесения растворов электропроводящего и диэлектрического материалов методами плоттерной и принтерной печати.

- Разработана эскизная конструкторская документация, изготовлены и испытаны экспериментальные образцы ОСИД-матрицы дисплея (рис. 4).

Размер рабочего поля 4,23 см  
Формат информационного поля 16\*16\*RGB  
Яркость 300 кд/м<sup>2</sup>  
Контраст 1000:1

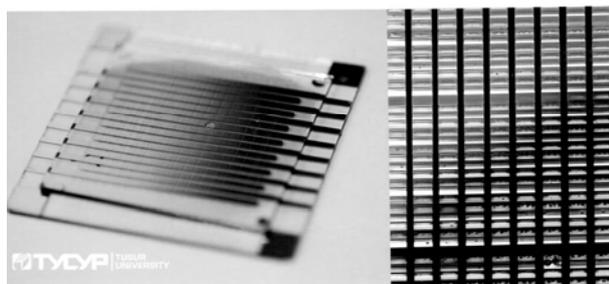


Рис. 4. Фотография экспериментального образца матрицы ОСИД-дисплея, изготовленной с применением печатных технологий

### Заключение

Ориентация на предприятия реального сектора экономики, ответственное отношение коллектива НИИ СТ к принятым на себя обязательствам, широкое привлечение соисполнителей из числа сторонних организаций и подразделений ТУСУРа, взвешенная кадровая политика (доля исследователей в возрасте до 39 лет – молодые ученые, представители «элитной аспирантуры»), аспиранты, магистранты, студенты составляет 46% от общего числа исследователей) позволяют поддерживать высокий научно-

технический уровень решаемых задач при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

### Литература

1. Абрамец В.А. Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 1962–2002 годы. Исторический очерк / В.А. Абрамец, Л.А. Бокков, В.А. Бондарь и др. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2002. – 175 с.

2. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.

3. Казимиров А.И. Исследование гетероструктур на основе слоев с широкой запрещенной зоной / А.И. Казимиров, Ю.В. Сахаров, П.Е. Троян // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22), ч. 1. – С. 201–203.

4. Саврук Е.В. Нанотекстурирование поверхности алюмооксидной керамики с помощью лазерных и электронных пучков // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2(22), ч. 1. – С. 204–206.

5. Саврук Е.В. Получение периодических наноструктур  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  при воздействии лазерного излучения // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 52–54.

6. Смирнов С.В. Температурная зависимость спектров излучения светодиодов белого свечения на основе нитрида галлия и его твердых растворов / С.В. Смирнов, Е.В. Саврук, Ю.С. Гончарова // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 55–58.

7. Данилина Т.И. Создание микрорельефных поверхностей в просветляющих оптических покрытиях для повышения внешней квантовой эффективности синих светодиодов на основе GaN / Т.И. Данилина, П.Е. Троян, И.А. Чистоедова // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 64–67.

8. Гребнева Ю.Ю. Формирование микрорельефа методами электронно-лучевой литографии и контактной фотолитографии / Ю.Ю. Гребнева, Т.И. Данилина, А.В. Мошкина, И.А. Чистоедова // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2(26), ч. 2. – С. 175–178.

9. Жидик Ю.С. Расчет теплоотводящего и несущего покрытия при изготовлении светодиодов / Ю.С. Жидик, П.Е. Троян, Д.Д. Каримбаев // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 73–76.

10. Жидик Ю.С. Технология получения электропроводящих пленок ИТО высокой оптической прозрачности с низким значением величины удельного поверхностного сопротивления / Ю.С. Жидик, П.Е. Троян // Доклады ТУСУРа. – 2012. – № 2(26), ч. 2. – С. 169–171.

11. Романовский М.Н. Методика расчета теплопереноса в светоизлучающих диодах на основе GaN / М.Н. Романовский, С.Г. Еханян // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 47–51.

12. Пуговкин А.В. Энергетические характеристики светодиодов и светодиодных ламп / А.В. Пуговкин и др. // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24). – Ч. 2. – С. 164–168.

13. Астахов А.А. Оптимизация тепловых режимов в конструкциях световых приборов на полупроводниковых источниках света / А.А. Астахов, Д.Д. Каримбаев, А.О. Мисюнас, В.Г. Христюков // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 81–89.

14. Антонишен И.В. Применение модифицированной функции гиперболического тангенса для аппроксимации вольт-амперных характеристик светоизлучающих диодов / И.В. Антонишен, А.И. Кох, В.И. Туев, М.В. Южанин // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 2. – С. 154–156.

15. Иванов А.В. Исследование и разработка элементов и узлов системы управления светодиодным источником света с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками / А.В. Иванов, А.В. Федоров, Т.Н. Зайченко, И.В. Целебровский // Доклады ТУСУРа. – 2011. – № 2(24), ч. 3. – С. 71–76.
16. Люкшин Б.А. Наполненные полимерные композиции / Б.А. Люкшин, С.В. Панин, С.А. Бочкарева и др. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2014. – 297 с.
17. Люкшин Б.А. Компьютерное моделирование и конструирование наполненных композиций / Б.А. Люкшин и др.; отв. ред. С.А. Зелепугин. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. – 264 с.
18. Starosek D.G. Investigation of temperature regime and luminous flux of light-emitting element of light emitting diode lamp / D.G. Starosek, D.V. Ozerkin, V.I. Tuev et al. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – September 2015. – Vol. 10. – No. 16. – P. 6944–6948.
19. Starosek D. Dependence on gas of the thermal regime and the luminous flux of LED filament lamp / D. Starosek, A. Khomyakov, K. Afonin, Y. Ryapolova, V. Tuev // Proceedings of the XIII International conference of students and young scientists «Prospects of fundamental sciences development (PFSD-2016)», Tomsk, Russia, 26–29 April 2016, AIP Conference proceedings. – P. 060008-1–060008-6.
20. Afonin K.N. LED Lamp Design Optimizing on Minimum Non-Uniformity of Light Intensity Distribution in Space / K.N. Afonin, A.Y. Olisovets, Y.V. Ryapolova et al. // 2016 13th International Scientific-Technical Conference APEIE, 2016. – Novosibirsk, 2016. – Vol. 1, Part 2. – P. 153–156.
21. Ivanov A.A. Ceramic materials of low-temperature synthesis for dielectric coating applied by 3D-aerosol printing used in nano- and microelectronics, lighting engineering, and spacecraft control devices / A.A. Ivanov, V.I. Tuev, A.V. Nisan, G.N. Potapov // International Conference on Advanced Materials with Hierarchical Structure for New Technologies and Reliable Structures 2016; Tomsk; Russian Federation; 19–23 September 2016. AIP Conference Proceedings. – Vol. 1783. – P. 020074.
22. Ivanov A.A. Ceramic materials for the low-temperature synthesis of dielectric coatings used in electronics, led devices and spacecraft control systems / A.A. Ivanov, V.I. Tuev, A.A. Vilisov // Workshop on Advanced Materials for Technical and Medical Purpose, AMTMP–2016; Tomsk; 15–17 February 2016. – P. 188–192.
23. Afonin K.N. LED lamp design optimizing on minimum non-informity of light intensity distribution in space / K.N. Afonin, A.Y. Olisovets, Y.V. Ryapolova et al. / Actual problems of electronics instrument engineering (APEIE), 2016. – 13th international scientific-technical conference, 3–9 oct. 2016. – P. 153–155.
24. Ryapolova Y.V. Parameters investigation of phosphors for solid state lighting / Y.V. Ryapolova, V.S. Soldatkin, K.N. Afonin, V.I. Tuev, A.A. Vilisov // Workshop on Advanced Materials for Technical and Medical Purpose, AMTMP–2016; Tomsk; 15–17 February 2016. – Key Engineering Materials. – Vol. 712. – P. 357–361.
25. Ivanov A.A. Polymer composite materials for semiconductor optoelectronics and microelectronics // Biosciences Biotechnology Research Asia. – Vol. 12. 1 sept. 2015. – P. 239–245.
26. Izotov S. Study of Phosphors for White LEDs / S. Izotov, A. Sitdikov, V. Soldatkin, V. Tuev, A. Olisovets // International workshop on Innovations in Information and Communication Science and Technology (IICST–2014), 3–5 September 2014, Warsaw, Poland. Procedia Technology. – Vol. 18. – P. 14–18.
27. Afonin K.N. Application of ultrasonic bonding in leds and led lamps production / K.N. Afonin, Y.V. Ryapolova, V.S. Soldatkin, V.I. Tuev // Journal of Nano- and Electronic Physics, 2015. – Vol.7 (4). – P. 04029.
28. Ivanov A.A. Filled aluminosilicate of dendrimer morphology used as low temperature cofired ceramic in LED devices and spacecraft control systems / A.A. Ivanov, V.I. Tuev // Journal of Nano- and Electronic Physics, 2015. – Vol. 7 (4). – P. 04031.
29. Заявка РФ, F21V 14/00 (2015 01), H05B 33/00. Светодиодная лампа // А.П. Алексеев, А.А. Вилисов, Г.В. Кассирова и др. – № 2016100784; заявл. 12.01.2016.
30. Заявка РФ, F21V14/00 (2015 01), H05B 33/00. Светодиодная лампа // А.А. Вилисов, А.А. Голубева, А.Ю. Олисовец и др. – № 2016119685; заявл. 20.05.2016.
31. Заявка РФ, МКИ F21V14/00 (2015 01), H05B33/00. Светодиодная лента для лампы // А.А. Вилисов, А.Ю. Олисовец, Ю.В. Ряполова и др. – № 2016122381; заявл. 06.06.2016.
32. Пат. 2602415 РФ, МПК 7 H01L 33/00, H05B 37/02. Схема подключения светодиодного светового прибора в сеть переменного тока // В.И. Туев, С.П. Шкарупо, А.Ю. Олисовец и др. – № 2015124588; заявл. 23.06.2015; опублик. 20.11.2016, Бюл. №32.
33. Заявка РФ, МПК 7 H 01 L 33/00, H05B 37/02. Схема подключения светодиодного светового прибора в сеть переменного тока // В.И. Туев, С.П. Шкарупо, А.Ю. Олисовец и др. – № 2016109678; заявл. 17.03.2016.
34. Лампочки томича. Хиты продаж [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rusleds.com>, свободный (дата обращения: 23.06.2017).
35. Развитие аддитивных принтерных технологий в электронике / В.И. Туев, Н.Д. Малютин, Т.Н. Копылова и др. / Под ред. Н.Д. Малютина. – Томск: Том. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2015. – 70 с.
36. Заявка РФ, МКИ 2015-1 H01L 51/52. Высоковольтное органическое люминесцентное устройство // К.Н. Афонин, А.В. Куненко, А.Ю. Олисовец, В.И. Туев (RU). – № 2016117228; заявл. 29.04.2016.

#### Туев Василий Иванович

Д-р техн. наук, директор НИИ светодиодных технологий  
Тел.: +7 (3822) 701-506  
Эл. почта: vasilii.i.tuev@tusur.ru

Tuev V.I.

#### TUSUR Research Institute of LED Technologies. Prospects for development.

The article contains the latest research and development findings, experimental and production operations, applied research, and experimental development carried out at the TUSUR Research Institute of LED Technologies.

**Keywords:** LED lamp, light emitting diode, LED light source, thermal conductive polymer compound, OLED design and technology.