

Александр Куршев

# Девять этапов контроля качества продукции, изготавливаемой по уникальной технологии удаленного люминофора

**В статье «В России запущено производство светодиодных светильников по уникальной технологии удаленного люминофора Cap LED», опубликованной в ПС № 1'2014, автор рассказал об особенностях и преимуществах новой технологии, познакомил нас с производством светодиодных светильников компании «НЕПЕС РУС». И для того, чтобы все преимущества уникальной технологии были реализованы в каждом светильнике, необходимо с особой ответственностью, вниманием и тщательностью подойти к вопросам обеспечения качества. Эта статья познакомит нас с особенностями каждого из девяти этапов контроля качества на производстве «НЕПЕС РУС», включая контроль производства светодиодов, колпачков с люминофором и сборки светильников.**

## Структура системы контроля качества

Производство светодиодных светильников «НЕПЕС РУС» состоит из трех независимых технологических линий:

- линия производства голубых светодиодов;
- линия производства люминофорных колпачков;
- линия сборки светильников.

Естественно, чтобы говорить о высоком качестве светильника в целом, мы должны обеспечить такое же качество каждого компонента. Соответствующим образом выстроена и система контроля, позволяющая делать заключение об аналогии по отдельным компонентам светодиодного модуля и светильнику в целом. Отмечу, что система контроля качества охватывает все промежуточные этапы изготовления, то есть носит характер пооперационной проверки.

Среди контролируемых качественных параметров светодиода — устойчивость кристалла к усилию на сдвиг, прочность его сварного соединения с электродами и подложкой, состояние силиконового слоя. Качество колпачка характеризуется состоянием слоя люминофора и отсутствием механических повреждений на внутреннем и внешнем колпачке. Особое место занимает однородность по оптическим и/или электрическим свойствам светодиодов и колпачков. При сборке светильников осуществляется входной контроль монтажа светодиодов на платы, а также проверяются основные

оптические и электрические параметры каждого светильника.

## Контроль качества изготовления голубого светодиода

Качество изготовления светодиода проверяется после каждой производственной операции. (Краткий маршрут технологической линии изготовления голубого светодиода был приведен в № 1'2014 журнала.) Суть и цель основных этапов контроля при выпуске светодиода можно описать следующим образом.

### Контроль качества нанесения серебряной пасты и установки LED-кристалла на несущую платформу

Для обеспечения равномерного теплоотвода при нанесении серебряной пасты важно обеспечить оптимальную дозировку и распределение ее по поверхности подложки, чтобы LED-кристалл лежал на ней всей поверхностью своего основания. Это контролируется визуально с помощью стереомикроскопов Olympus.

Когда мы говорим о качестве посадки кристалла, самым важным здесь является его способность сохранять устойчивое положение на подложке и не разрушаться под воздействием определенного усилия, приложенного к одной из его торцевых поверхностей в горизонтальной плоскости. Кристалл считается прошедшим испытания, если усилие, которое он выдержал, не меньше значения, указанного в таблице 1.

При плохой установке кристалла на следующей технологической операции может произойти его смещение и (или) разрушение. Для контроля качества посадки мы применяем испытательный программный комплекс компании Rouce с тестовым модулем (рис. 1).

Рабочей частью тестового модуля, которая при испытании непосредственно воздействует на кристалл, является игла особой конструкции (рис. 2).

### Контроль качества микросварки электродов, соединяющих омические контакты LED-кристалла и контакты подложки

При микросварке электродов важно обеспечить прочность сварного соединения. Такие характеристики, которым должна соответствовать микросварка, приведены в таблице 1. Прочность сварного соединения оказывает большое влияние на эксплуатационные показатели светодиода. Высокое качество микросварки обеспечивает надежность работы и длительный срок службы.

Для контроля качества микросварки используется тот же испытательный комплекс Rouce с дополнительным модулем. Прочность

**Таблица 1.** Прочностные характеристики качества установки LED-кристалла и микросварки электродов

Наименование характеристики	Нормированное значение (не менее), гс
Усилие на сдвиг LED-кристалла	500
Усилие на сдвиг точки сварки	25
Усилие на отрыв проволоки	12

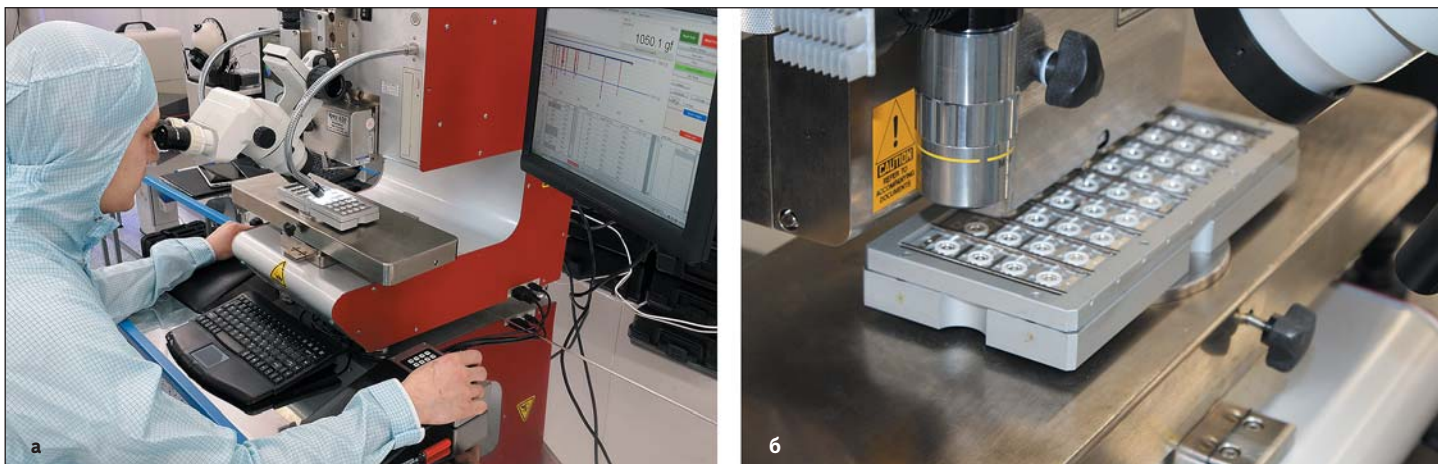


Рис. 1. а) Испытательный программный комплекс Roace; б) тестовый модуль для испытаний на сдвиг LED-кристалла

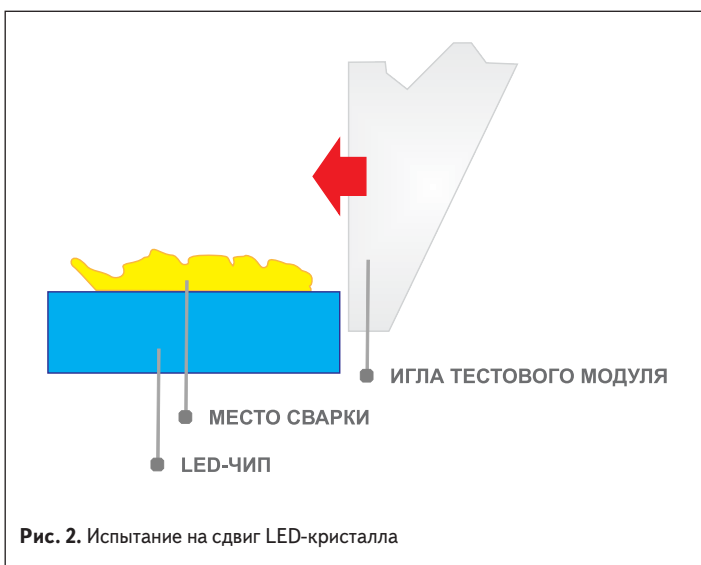


Рис. 2. Испытание на сдвиг LED-кристалла

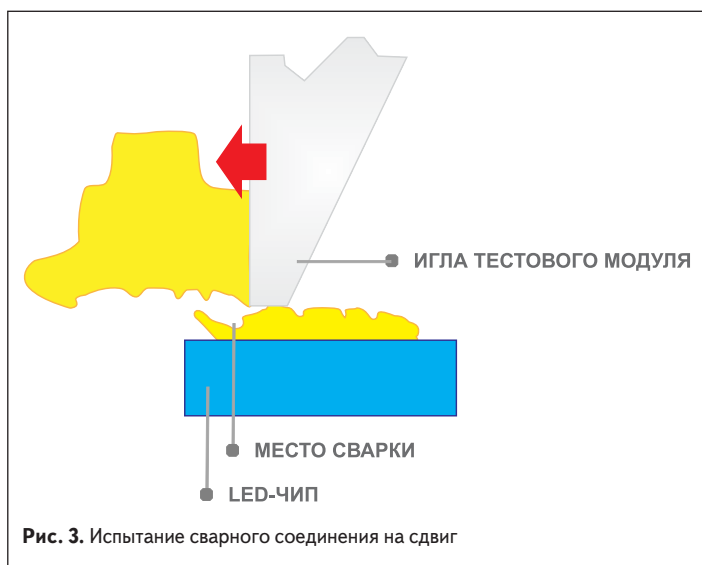


Рис. 3. Испытание сварного соединения на сдвиг

сварного соединения в точке контакта электрода и чипа сначала проверяется воздействием горизонтальной нагрузки. Принцип тестирования аналогичен проверке качества посадки кристалла, но с другим значением испытательного усилия и местом его приложения (рис. 3).

Затем прикладывается усилие в вертикальной плоскости (рис. 4а).

Рабочая часть модуля представляет собой крючок, захватывающий контактную нить в строго определенном месте и «тянущий» ее вверх до отрыва. И здесь особое значение имеет не только уровень усилия, при котором контактная нить разорвалась (таблица 1), но и место самого разрыва. Если посмотреть на рис. 4б, качественным считается то соединение, при испытании которого контактная нить разорвалась в местах 2, 3 и 4.

Следует также отметить, что программный комплекс Roace позволяет в автоматизированном режиме формировать электронные отчеты по результатам испытаний в виде таблиц и контрольных карт, что в свою очередь предоставляет возможность с большей эффективностью управлять стабильностью технологического процесса, используя стати-

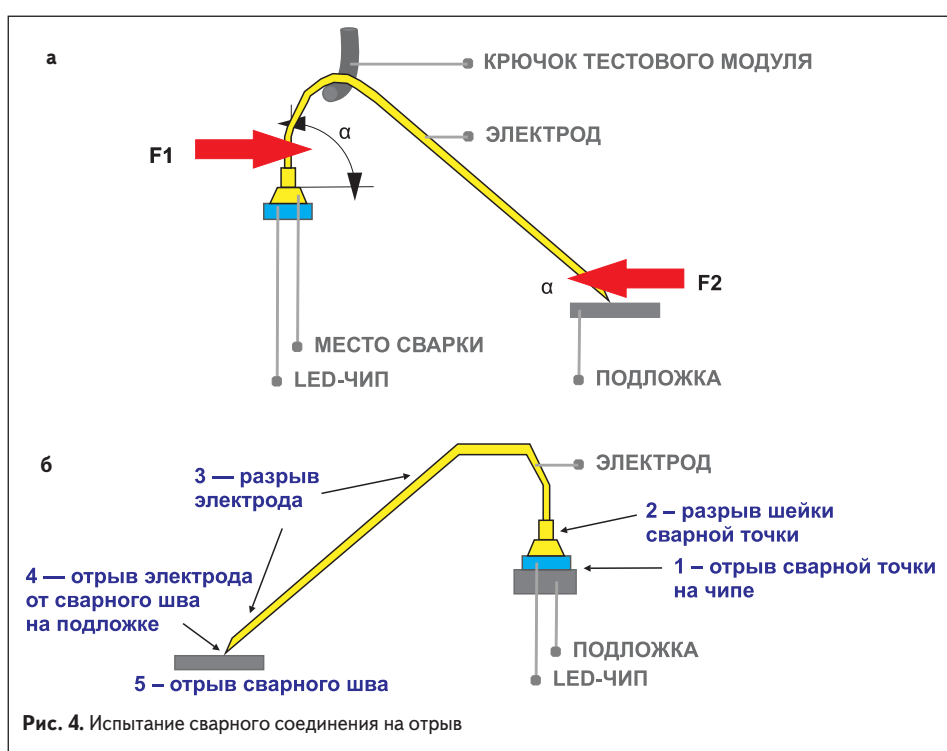


Рис. 4. Испытание сварного соединения на отрыв

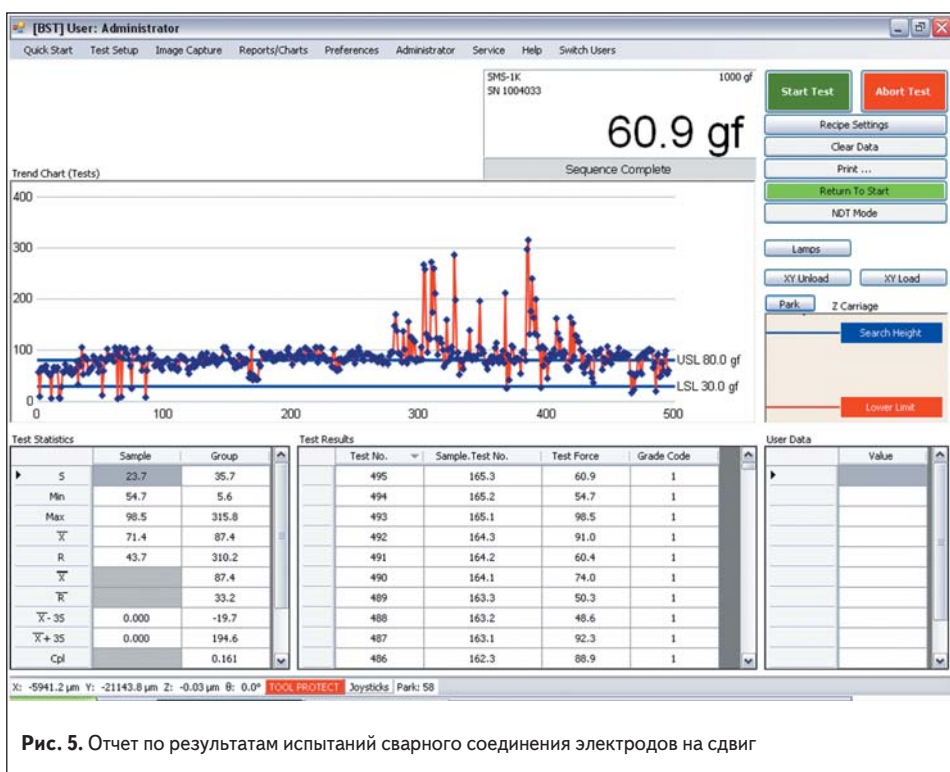


Рис. 5. Отчет по результатам испытаний сварного соединения электродов на сдвиг

стические методы. Пример подобного отчета приведен на рис. 5.

**Контроль качества нанесения силикона и формирования силиконовой линзы**

Для обеспечения максимальных значений фотометрических параметров светодиода силиконовая линза имеет форму купола. Поэтому необходимо уделять внимание ее формированию. Используя измерительный комплекс Olympus на базе электронного микроскопа (рис. 6), мы с высокой точностью делаем заключение о правильности формы линзы. Кроме того, мы ведем электронную базу данных всех проводимых измерений в виде фотографий с обозначением на них результатов замеров.

Качество нанесения силиконового слоя характеризуется целостностью и однородностью структуры. Спомощью видеомикроскопа Sometech мы проверяем наличие и размер воздушных

полостей в силиконе, а также их расположение относительно электродов и кристалла. Наличие дефектов приведет к разрушению силиконового слоя при температурном воздействии на этапе SMT-монтажа. Применяя возможности видеомикроскопа, мы создаем базу данных по изображениям всех возможных дефектов внешнего вида светодиодов, чтобы оперативно устранять возникающие проблемы в случае их возникновения.

Таблица 2. Критерии сортировки 1-Вт голубого светодиода (рабочий ток — 350 мА)

Бин	Мощность излучения, мВт		Утечка (при токе 1 мкА прямое напряжение не менее, В)	Доминантная длина волны, нм	Прямое напряжение, В
	Нижний предел	Верхний предел			
1	380	430	1,9	454–457,5	3,0–3,5
2				457,5–461	
3				454–457,5	
4	430	470		457,5–461	
5				454–457,5	
6	470	—		457,5–461	



Рис. 6. Измерительный комплекс Olympus



Рис. 7. Спектрорадиометрическая система Gooch & Housego

**Контроль фотометрических и электрических параметров светодиодов**

Соответствие светодиодов и колпачков по техническим параметрам — важный показатель для получения требуемых характеристик светодиодного модуля в целом. Поскольку слой люминофора отделен от светодиода, мы имеем возможность подбирать колпачок с люминофором к соответствующему синему светодиоду, добиваясь однородности параметров и максимальной эффективности.

В серийном производстве получать синие светодиоды и люминофорные колпачки со стабильно повторяющимися характеристиками нельзя в первую очередь из-за отсутствия такой возможности у производителей материалов (люминофор, светодиодные кристаллы и т. д.). Поэтому при изготовлении светодиодов предусмотрена операция тестирования, целью которой и является распределение их по фотометрическим параметрам (так называемая сортировка по бинам). Она осуществляется путем измерения параметров светодиода во включенном состоянии на номинальном токе 350 мА, а также проверкой наличия токов утечки при прямом напряжении 1,9 В.

Разница в параметрах светодиодов разных бинов чрезвычайно мала (таблица 2), поэтому технологическое оборудование, выполняющее автоматическую сортировку, настроено очень точно. Мы используем оборудование компании Ar-Tech.

Проверяя соответствие сортировки светодиодов по бинам, мы делаем выборку светодиодов из партии, тестируем их спектрорадиометрической системой Gooch & Housego, дополнительно снабженной гониофотометром (рис. 7). Результаты заносим в базу данных.



Рис. 8. Примеры дефектов колпачков

На основании измерения доминантной длины волны и мощности излучения светодиода (а это и есть параметры, по которым осуществляется сортировка) с помощью системы Gooch & Housego делается заключение о качестве партии.

#### Контроль качества упаковки

Для предотвращения вредного влияния окружающей среды во время хранения и (или) транспортировки светодиодов до SMT-монтажа необходимо соблюдать особые требования к их упаковке. Она должна быть прочной, антистатической и герметичной.

В компании «НЕПЕС РУС» используется антистатический алюминиевый пакет, состоящий из нескольких слоев разных материалов, основным из которых является алюминиевый слой. Именно он обеспечивает необходимую прочность упаковки. На специализированном оборудовании фирмы GasungPak из пакета откачивается воздух и происходит его запайка. При этом на оборудовании делаются соответствующие настройки для того, чтобы внутри пакета оставалось минимальное количество воздуха.

Следует отметить, что все производственные процессы изготовления синих светодиодов и люминофорных колпачков происходят в «чистом помещении» со строгим контролем влажности и температуры.

#### Контроль качества изготовления колпачка с люминофором

Процесс изготовления колпачков с люминофором представляет собой:

- заливку люминофора определенного состава во внешний колпачок;
- установку во внешний колпачок с залитым в него люминофором внутреннего колпачка;
- запекание слоя люминофора между колпачками;
- тестирование готовых люминофорных колпачков и их упаковка.

Контроль качества колпачков заключается в проверке их внешнего вида и цветовой температуры.

#### Контроль внешнего вида

Качественными признаются колпачки, в которых отсутствуют следующие дефекты:

- посторонние включения в колпачках и слое люминофора (рис. 8а);
- полости в слое люминофора (рис. 8б);
- недолив люминофора (рис. 8в);
- деламация (прилипание слоя люминофора к внешнему колпачку).

Данные дефекты оказывают влияние на цветовую температуру люминофорного колпачка.

При проверке внешнего вида колпачка также контролируется отсутствие механических повреждений: трещины на поверхности самого колпачка и сломанные, недоформованные ножки внутреннего колпачка. Проверка дефектов внешнего вида осуществляется с помощью видеомикроскопа Sometech (рис. 9). Изображения типовых дефектов сохраняются в электронной базе данных.

#### Контроль цветовой температуры

Цветовая температура люминофорных колпачков — это параметр, по которому производится их сортировка по бинам (по аналогии с сортировкой по бинам светодиодов). Именно от значения данного параметра зависит совместимость бина светодиода с бинам колпачка. При совместимости технические параметры готового светодиодного модуля будут полностью соответствовать необходимым требованиям качества. И при сборке светильник получится с однородным свечением и цветовой температурой определенного диапазона.

Сортировка люминофорных колпачков выполняется на технологическом оборудовании компании Ar-Tech в соответствии с утвержденными критериями сортировки.

Для подтверждения правильности сортировки люминофорных колпачков производится выборочная проверка значений цветовой температуры у отдельных колпачков с помощью

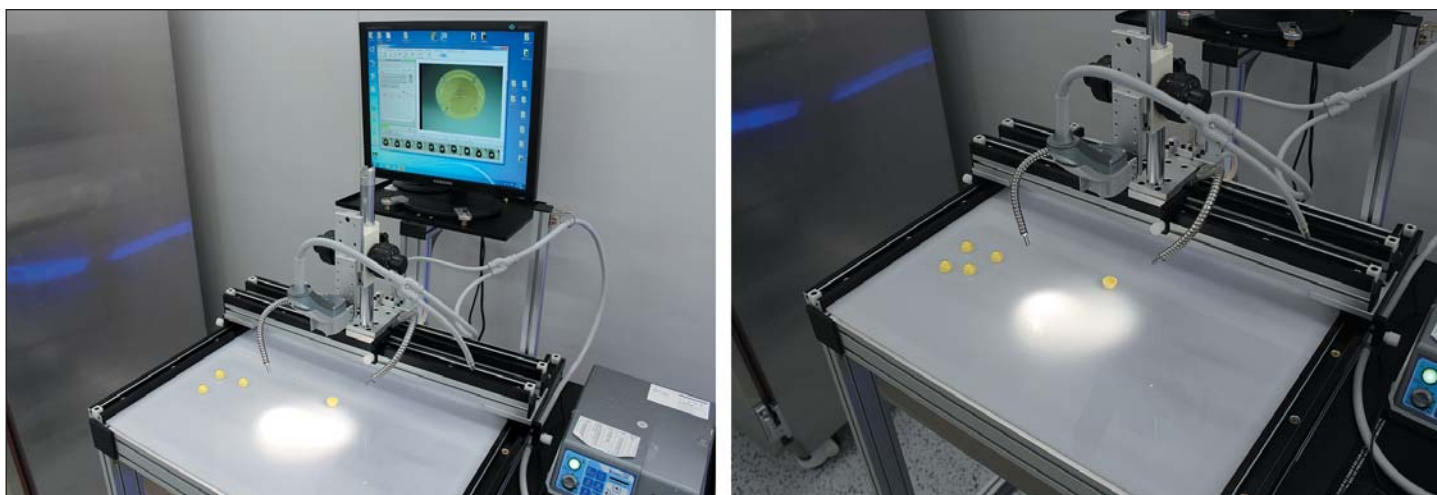


Рис. 9. Исследование внешнего вида колпачков с помощью видеомикроскопа Sometech

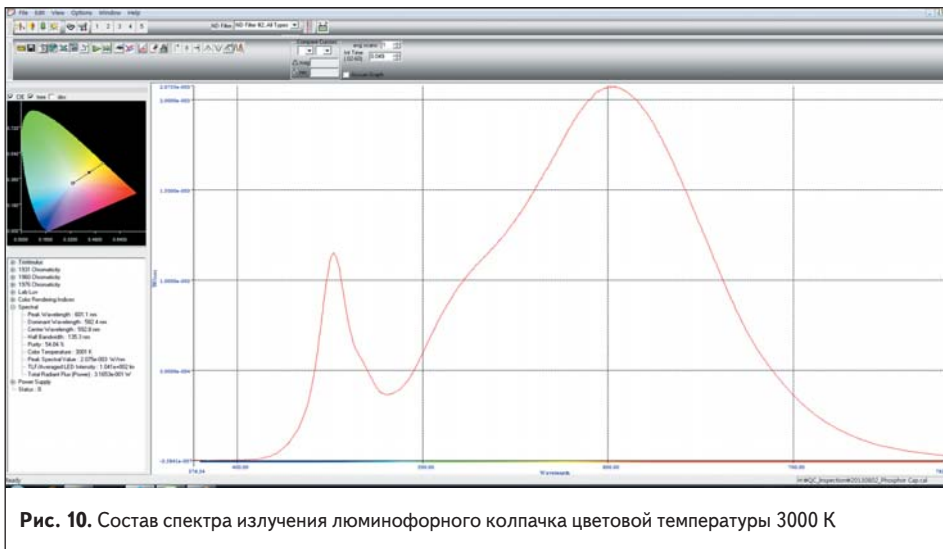


Рис. 10. Состав спектра излучения люминофорного колпачка цветовой температуры 3000 К

спектрорадиометрической системы Gooch & Housego (рис. 7).

Помимо собственно цветовой температуры, система Gooch & Housego позволяет проводить измерения таких величин, как световой поток, индекс цветопередачи (CRI), мощность излучения. Кроме того, при исследовании применимости новых материалов и компонентов для изготовления люминофорных колпачков важное значение имеет функциональная возможность программы визуально представлять состав спектра излучения (рис. 10).

### Комплекс испытаний на надежность

Особое место в системе контроля качества продукции, изготавливаемой по уникальной технологии CapLED, занимают испытания на надежность. Это целый комплекс испытаний, цель которых — определить возможности использования новых материалов. Испытаниями на надежность являются:

- испытания на циклическое воздействие повышенной и пониженной температур (термошок от -40 до +85 °C);
- стойкость светодиодов к пайке оплавлением;
- стойкость к одновременному воздействию повышенной влажности и температуры;
- и др.

Данные испытания проводятся в том числе с применением оборудования фирм TEFCOLD и Zemos. Для отдельных тестов (например, стойкость светодиодов к пайке оплавлением) очень важно наблюдение в режиме реального времени изменений состояния продукта при воздействии на него определенных условий. С помощью видеомикроскопа Sometech мы ведем наблюдения и формируем их базу данных.

По результатам испытания мы делаем заключение о том, можно использовать новый материал в нашем производстве или нет.

### Контроль качества изготовления светильников

Компания «НЕПЕС РУС» выпускает светодиоды и светильники на их основе и проводит

обязательный 100%-ный контроль качества. При производстве светильников он, помимо всего прочего, включает:

#### Контроль качества светодиодов на печатных платах

Поскольку «НЕПЕС РУС» отдает монтаж печатных плат на аутсорсинг, проверка качества такого монтажа рассматривается как входной контроль. Качество светодиодов на платах проверяется:

- визуально с использованием стереомикроскопов Olympus (контролируется состояние электродов, наличие критических повреждений силиконового слоя);
- определением наличия токов утечки на LED-кристалле с помощью источника-измерителя фирмы Keithley.

#### Контроль качества светильников

Качество светильников оценивается по набору параметров, важнейшими из которых являются:

- отсутствие повреждений;
- коэффициент пульсации освещенности;
- потребляемая мощность;
- цветовая температура.

Для контроля этих параметров используется комбинированный прибор ТКА, а также измерительная система на базе колориметра Konica Minolta. Соответствующий программный модуль управляет работой измерительной системы и автоматически заносит результаты измерений цветовой температуры в электронную базу данных.

Таким образом, система контроля качества, реализованная в «НЕПЕС РУС» на основе измерительного и испытательного оборудования от ведущих мировых производителей, во-первых, предоставляет возможность с необходимой степенью точности получать данные о фактических характеристиках продукции, изготавливаемой по уникальной технологии удаленного люминофора и, во-вторых, на основании полученных данных давать объективную оценку о высоком уровне качества этой продукции.

Совершенствуя систему контроля качества на производстве, мы определяем дополнительные качественные характеристики, вводим дополнительные контрольные операции с помощью самого современного измерительного оборудования. ●