

# Особенности технологии производства светодиодных светильников

Александр Васильев,  
micro@ostec-group.ru

## ВВЕДЕНИЕ

За последние два года производство светодиодов и источников света на их основе прочно укрепилось в числе самых динамично развивающихся отраслей мировой электроники. Специфические технологические особенности производства светодиодных светильников с лихвой окупаются энергоэффективностью последних (см. табл. 1).

Ведущие промышленные государства закрепляют светодиодную тематику в списках стратегических и приоритетных направлений. Отечественная промышленность также не остается в стороне: как минимум две крупные организации — «РЖД» и «Ростехнологии» — имеют собственные концепции повышения энергоэффективности за счет перехода на светодиодное освещение.

Вследствие высокого, порой даже ажиотажного, интереса к светодиодной тематике некоторые особенности технологии производства светодиодов бывает трудно прояснить из открытых источников. Большое количество разработок и техпроцессов, конечно же, закрыты, т.к. составляют коммерческую тайну их разработавших предприятий, да и отечественные источники ин-

формации зачастую разрозненны и скудны.

В настоящей статье мы подробнее остановимся на некоторых вопросах производства светодиодных светильников, отдельно остановившись на укрупненном типовом технологическом маршруте сборки светодиодов как на наиболее простом с технической точки зрения (запуск производства), так и с точки зрения финансовой (скорость окупаемости и возможность быстрого завоевания позиций на рынке).

## ТИПОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ И СВЕТИЛЬНИКОВ, ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОИЗВОДСТВА

Существует несколько типовых конструкций светодиодных модулей (см. рис. 1–4), которые группируются по:

- исполнению кристалла (планарное, flip-chip, т.н. «сэндвич»);
- интерфейсу кристалл-корпус (с подкристалльной платой и без нее);
- исполнению линзы (монтируемая, формованная, без линзы).

Корпуса современных светодиодных модулей, как правило, производятся под технологию поверхностного монтажа и могут быть реализованы в металлопластиковом и металлокерамическом исполнениях. Также существуют конструкции светоизлучающих приборов, в которых светодиод-

ные модули выполнены по технологии CoB (Chip-On-Board, «чип на плате»).

Основными проблемами, которые решают все конструкторы светодиодов и светодиодных светильников, являются организация теплоотвода (светодиод выделяет, но не излучает тепло, поэтому нуждается в эффективном кондуктивном теплоотводе) и суммарная эффективность светового потока. Доступ к конструкциям светильников в настоящее время перестал быть острым вопросом, т.к. на рынке существует определенное количество дизайнов ламп, которые доступны для производства по лицензии. Для потребителя крайне важна стандартизация, поэтому светодиодные светильники для комнатного

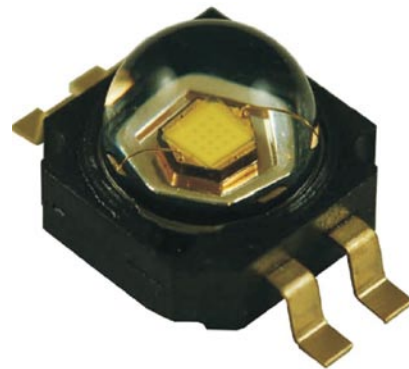


Рис. 1. Внешний вид светодиодного модуля сверхвысокой яркости с использованием кремниевой подкристалльной платы

Таблица 1. Сравнительные характеристики энергосберегающих ламп согласно данным IESNA

Технология, дата	SSL-LED 2007	SSL-LED 2012	SSL-LED 2020	Лампа накаливания	Люминесцентная
Эффективность светового потока, лм/Вт	75	150	200	16	>85
Срок работы, ×1000 ч	>20		>100	1	>20
Световой поток, лм/лампу	200	1000	1500	1200	3000
Вх. мощность, Вт/лампу	2,7	6,7	7,5	75	32
Цена за люмен, долл./кЛм	20	<5	<2,4	1,5	
Цена лампы, долл./лампу	4	<5	<3	0,5	5
Коэффициент цветопередачи CRI		80—90		100	>80
Температура кристалла, °С	300—600	500—750	600—1000		
Плотность вх. энергии, Вт/см <sup>2</sup>					

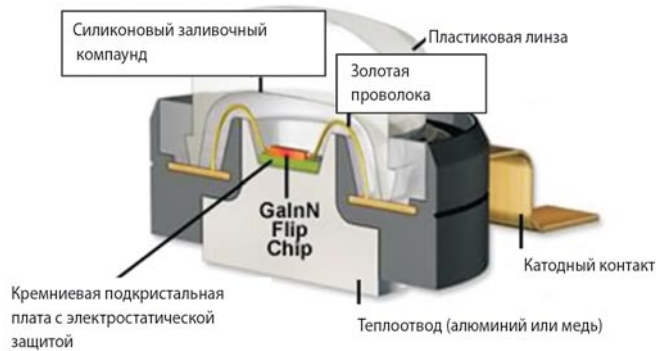


Рис. 2. Типовая конструкция светодиодного модуля с использованием кремниевой подкристалльной платы

и общего освещения проектируются с использованием стандартных цоколей и разъемов. Типовые конструкции светодиодных светильников представлены на рисунках 5–6.

Основными этапами производства светодиодных светильников (см. рис. 7) являются:

- производство эпитаксиальных пластин;
- производство кристаллов;
- сборка светодиодных модулей;

– сборка и тестирование светильников.

Создание нового светодиодного производства рекомендуют начинать «с конца», т.к. оборудование для сборки модулей и светильников обойдется в разы дешевле, а на оснащение, запуск и выпуск первого изделия производству потребуется немногим больше года. Кроме того, проблема нехватки квалифицированных кадров для сборки стоит не так остро, как, например, для кри-



Рис. 3. Светодиодный модуль в металлокерамическом корпусе

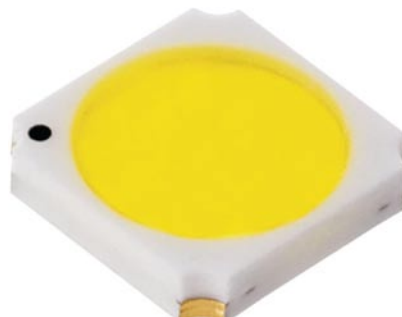


Рис. 4. Светодиодный модуль без линзы (Stanley Electric)

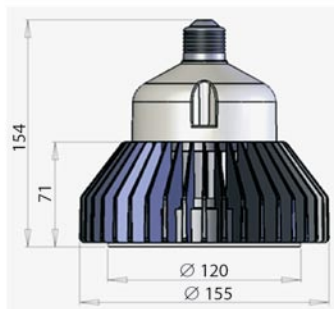
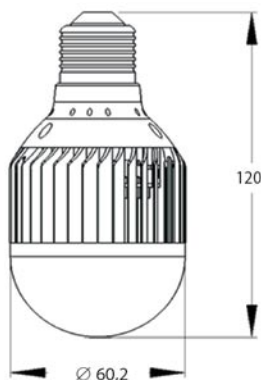


Рис. 5. Типовые конструкции светодиодного светильника для комнатного освещения

сталльного производства и участка роста эпитаксиальных структур.

## УКРУПНЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МАРШРУТ СБОРКИ СВЕТОДИОДОВ

Анализируя различные варианты технологических процессов производства светодиодов, можно прийти к выводу, что определенные операции (монтаж кристаллов, разделение групповых заготовок, герметизация) выполняются при любых конструктивных особенностях продукта, что позволяет применять типовой укрупненный технологический маршрут сборки светодиодов (см. рис. 8).

Операция монтажа кристаллов является критичной для сборки светодиодов. Как правило, монтаж производится на тепло- и токопроводящий клей с последующим отверждением. Затем выполняется визуальный контроль и механический контроль кристаллов на сдвиг. Наиболее технологичным является монтаж перевернутых кристаллов (flip-chip), позволяющий избавиться от операции разварки проволочных выводов. При крупносерийном и массовом производстве кристаллы в виде разрезанных и скрайбированных пластин на липком носителе поступают в кассеты непосредственно на автомат монтажа (см. рис. 9), который получает карту годных кристаллов с участка входного контроля.

Разварка выводов производится при упаковке в корпус кристалла в планарном исполнении. Стандартным методом для разварки выводов светодиодов является метод «шарик-клин» с предварительной установкой шариков под вторую сварку.

Для производства светодиодных светильников используются светодиодные кристаллы высокой мощности, как правило, изготовленные на основе GaN-структур на сапфировых подложках. Свет, испускаемый такими кристаллами, находится в области синего участка спектра, поэтому для получения белого цвета на кристалл наносится слой люминофора. Люминофор может быть как пленочным, предварительно нанесенным на пластину, так и в виде компаунда, в котором основой является оптически прозрачный силиконовый компаунд, а люми-

нофор добавляется в смесь в виде порошка. Люминофорный компаунд полимеризуется в печи, затем формируется линза, либо полость корпуса заливается силиконовым компаундом, аналогичным тому, из которого была приготовлена люминофорная смесь.

Готовые светодиоды отправляют на тестирование и сортируют, после чего они поступают на участок поверхностного монтажа, где светодиоды и элементы схемы управления и электропитания устанавливаются и паяются на плату. Собранный плата устанавливается в светильник, после чего светильники проходят финальные испытания и направляются на склад готовой продукции.

### НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО МОДУЛЯ

Несмотря на непрерывный прогресс светодиодной тематики, потенциал увеличения плотности светового потока для светодиодов все еще остается достаточно высоким. До 95% электронов, проходящих через светодиод, выбивают из возбужденных атомов фотоны, однако кристалл сам по себе является эффективной ловушкой для фотонов и большая часть генерируемого света отражается от внутренних поверхностей кристалла, поглощаясь ими и превращаясь в тепло. Из-за этого явления только порядка 15% света выходит из светодиодной сборки и поэтому так необходимо разрабатывать и применять различные методики увеличения эффективности светодиодов.

### Повышение качества ростовых подложек

Качество эпитаксиальных GaN-гетероструктур в большой мере зависит от свойств кристаллической решетки ростовой подложки. В качестве подложек для производства GaN-светодиодов применяются такие материалы как карбид кремния, сапфир, кремний и др. Известно, что чем лучше совпадают кристаллические решетки подложки и выращиваемой GaN-структуры, тем выше качество общей структуры, а, следовательно, и производительность светодиода.

Несомненно, GaN-подложки, с точки зрения качества, наилучшим образом подходят для роста гетероструктур, однако высокая стоимость и ограниченные размеры не позволяют использовать нитрид-галлиевые подложки для крупносерийного производства. Аналогичное правило работает для подложек из нитрида алюминия, чья кристаллическая решетка отличается от решетки нитрида галлия не более чем на 2%.

Использование сапфира в качестве материала ростовых подложек для производства светодиодов высокой яркости заставляет мириться с разницей кристаллических решеток порядка 16%, что приводит к повышенной плотности дислокаций, уменьшающих внутреннюю квантовую эффективность и производительность светодиода.

В качестве решения этой проблемы компания EV Group (Австрия) предлагает два метода:

- ростовых шаблонов;
- структурированных сапфировых подложек.

Метод ростовых шаблонов (Grown Templates) предусматривает перенос тонкого затравоч-



Рис. 6. Типовая конструкция светодиодного светильника, выполненного для замены люминесцентных ламп дневного света

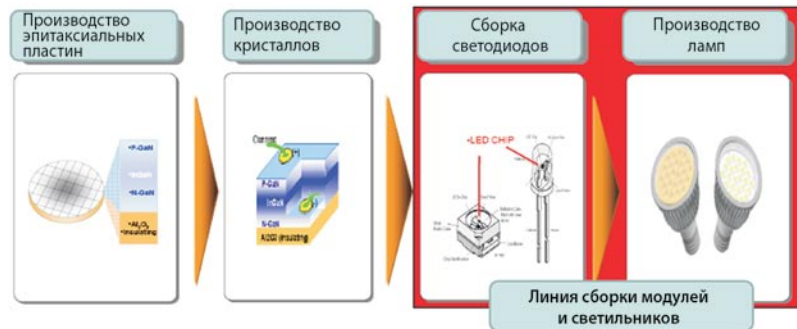


Рис. 7. Основные этапы производства светодиодных светильников

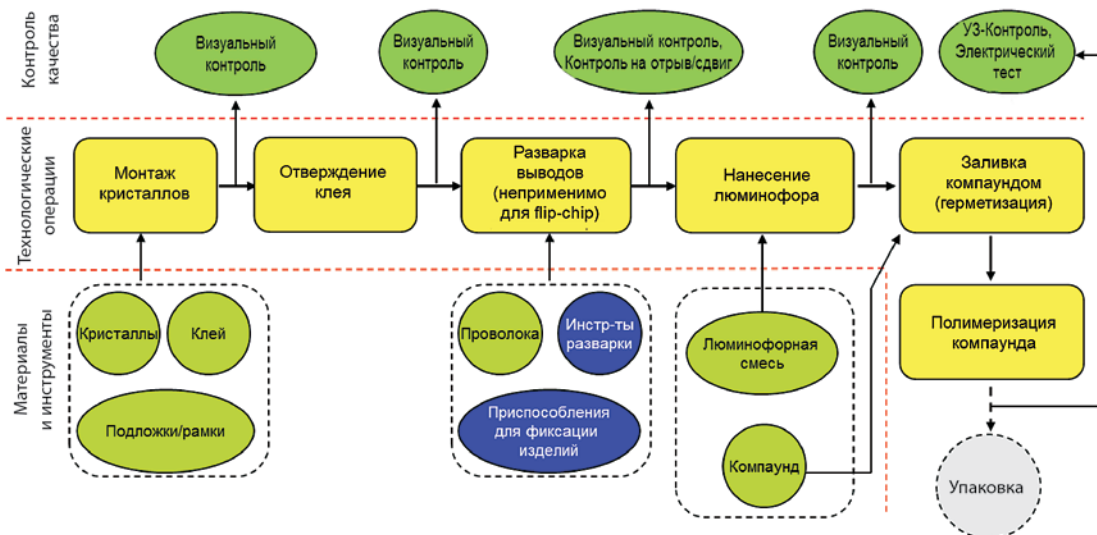


Рис. 8. Типовой укрупненный технологический маршрут сборки светодиодов



Рис. 9. Автомат монтажа кристаллов и компонентов Datacon 2200 evo

ного слоя для эпитаксиального роста на пластину-носитель. Пластина-носитель выбирается путем подбора механических и термических свойств, наилучшим образом подходящих для роста требуемой структуры, а технология прямого монтажа пластин открывает возможности по гетерогенной интеграции двух материалов, различие в структурных решетках которых изначально достаточно велико.

Метод структурированных сапфировых подложек (Patterned Sapphire Substrates, PSS) используется для улучшения качества GaN-структур с пониженной плотностью дефектов. Внутренняя квантовая эффективность светодиода напрямую зависит от структурного качества эпитаксиальной гетероструктуры. Микро- и наноструктуры повышают как общее качество гетероструктур, так и КПД сверхъяркого светодиода.

Для формирования PSS-структур используются два способа: плазменное и жидкостное химическое травление. В случае плазменного травления фоторезистивная маска формируется на поверхности сапфировой подложки перед отправкой подложки в травильную установку. В случае жидкостного химического травления на поверхности сапфира предварительно формируется твердая оксидная пленка, т.к. фоторезист недостаточно стоек к жидкостным химическим процессам (см. рис. 11).

Формирование структур на фоторезисте может, в частности, осуществляться посредством наноимпинтной литографии.

### Применение плазменной обработки для повышения качества операций сборки

Достаточно широко в качестве дополнительной операции, улучшающей качество светодиодных микросборок (а, следовательно, и эффективности светодиода), используется плазменная обработка, позволяющая модифицировать поверхность выводной рамки и кристалла с целью очистки или активации поверхности (см. табл. 2). Плазменная обработка применяется перед нанесением клея и/или силиконового компаунда, герметизацией, разваркой выводов для очистки и обезжиривания поверхности, создания гидрофильного или гидрофоб-

ного эффекта. Для повышения качества операций сборки чаще всего используется ВЧ-плазма на основе аргона и кислорода. В условиях запуска производства, а также отработки технологии изготовления новых изделий, плазменная обработка позволяет ускорить сроки переналадки за счет расширения границ окна допустимых технологических параметров. Другими словами, повышая качество микросборок с помощью плазменной обработки, можно на первых этапах нивелировать негативный эффект от некоторых неоптимально заданных параметров техпроцесса, а также справиться с недостаточным качеством материалов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время потребность отечественного рынка в качественных и недорогих светодиодах многократно превышает возможности локальных производителей, а основную долю составляют импортные светодиоды, как правило, из азиатско-тихоокеанского региона. Выполнение же государственных программ по энергосбережению и повышению энергоэффективности требует наличия гибких многономенклатурных местных производств, актуальность создания которых в настоящее время достаточно высока.

Однако несмотря на беспрецедентную популярность светодиодов, технология их производства имеет множество нюансов и «подводных камней», влияние которых может критическим образом сказаться на эффективности и перспективах изготовления светодиодов. Поэтому для оснащения, запуска оборудования, отработки технологического процесса и обучения персонала необходима инженеринговая компания, которая имеет опыт оснащения подобных производств в России, располагает компетентными специалистами в этой области, а также доступом к профильным источникам информации. Такая компания должна выступать как технологический партнер, который будет поддерживать производство в течение всего срока его эксплуатации и позволит производителю сосредоточиться, в первую очередь, на задачах, связанных непосредственно с конечным продуктом.

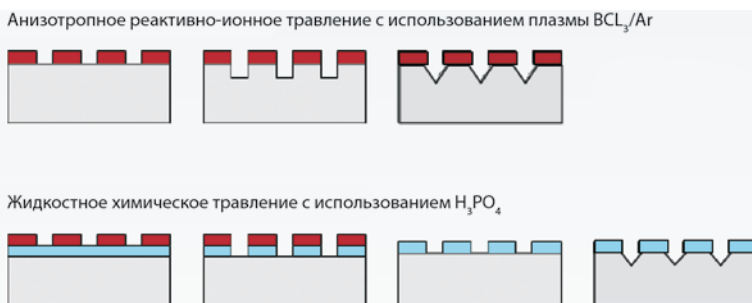


Рис. 10. Формирование структур на сапфировых подложках

Таблица 2. Области применения плазменной обработки при сборке светодиодов

Рабочий газ	Процесс модификации поверхности	Область применения
Аргон (Ar)	Очистка (абляция)	Разварка выводов Монтаж кристаллов
Кислород (O <sub>2</sub> )	Очистка (удаление органики), активация поверхности	Разварка выводов Монтаж кристаллов Заливка и герметизация
Азот (N <sub>2</sub> )	Активация поверхности	Заливка и герметизация
Водород (H <sub>2</sub> )	Очистка (удаление оксидных пленок металлов)	Разварка выводов Монтаж кристаллов