

Сергей Никифоров, к. т. н. | snikiforov@arhlight.ru

Актуальность изучения и необходимость совершенствования методик исследования деградации

параметров светодиодов на основе твердых растворов AlGaInP и AlGaInN

Исследования деградации

Стремительное развитие технологии производства излучающих структур в последние годы привело к значительным успехам в области повышения качества приборов на их основе. Существенно увеличилось количество конструкций и типов серийно производимых кристаллов, изготовленных на основе эпитаксиальных гетероструктур твердых растворов AlGaInP и AlGaInN, позволяющих создавать источники излучения с любыми необходимыми характеристиками для различных сфер применения. Большой выбор цветов свечения, комбинация мощного излучения с любой формой его пространственного распределения и возможностью получения различных цветовых оттенков в широком динамическом диапазоне интенсивностей излучения открывают огромные перспективы использования светоизлучающих диодов на основе этих структур в качестве источников света для различных устройств. Однако имеют место некоторые проблемы при изготовлении как самих гетероструктур, так и светодиодов на их основе, которые до сих пор недостаточно исследованы, а отсутствие методов их комплексного решения на стадии производства излучающих кристаллов и технологии их сборки в светодиодах существенно ограничивает применение готовых приборов в большинстве устройств специальной сигнализации (светофоры, световая сигнализация [1]), в устройствах ответственного применения с повышенной степенью надежности (судовое, шахтное и аварийное освещение) и устройствах стратегического назначения (военная и космическая техника). Наиболее значимой из всего спектра существующих проблем является проблема изменения (деградации)

всего комплекса первоначальных параметров излучающих структур и светодиодов в целом. На практике это проявляется в виде изменения значений некоторых характеристик устройств с исполнительной частью на светодиодах, приводящего к искажению визуального восприятия информации человеком. Это может иметь место, например, в больших полноцветных экранах на основе трехцветных кластеров светодиодов (система RGB), в которых одновременно находятся в работе более 500–800 тыс. светодиодов, первоначально отобранных по принципу максимальной близости их параметров.

Во время эксплуатации у светодиодов с различным цветом свечения могут иметь место неодинаковые изменения величины светового потока и его перераспределение по углам излучения, изменение спектров излучения и, как следствие, различные изменения значений силы света. Это является причиной появления неоднородностей на площади экрана в виде цветных пятен с несбалансированным белым цветом и нарушенной цветопередачей изображения. В светофоре этот эффект приводит к изменению осевых значений силы света, определенных стандартами, и угловых характеристик излучения светоблоков, что неизбежно влечет за собой ухудшение условий освещенности сетчатки глаза водителя или машиниста [2] и, как следствие, ведет к уменьшению расстояния восприятия и снижению достоверности распознавания цвета сигнала. Важность этого факта достаточно велика: в конечном итоге обнаружение и правильность определения цвета сигнала светофора определяют безопасность движения в целом и жизни человека в частности [2, 3].

Изучение механизмов деградации в сложившихся условиях массового производства

кристаллов и светодиодов на их основе является очень актуальным. Результаты исследований выходят за рамки чисто научных программ и становятся необходимыми непосредственно на производстве, где уже сейчас все больше требуется достоверная оценка не только параметров произведенных светодиодов, но и прогнозирование их надежности и срока службы. Эта тенденция требует проведения новых исследований не только физических причин изменения различных свойств гетероструктур на основе твердых растворов AlGaInP и AlGaInN во время наработки светодиодов, но и разработки методик применения результатов этих исследований при конструировании и производстве светодиодов и устройств на их основе. Анализ известных результатов исследований деградации светодиодов и методов ее изучения, а также особенности современного производства привели к идее проведения комплексных экспериментов, в которых измеряется максимально возможное количество параметров и характеристик светодиодов с целью установления их взаимосвязи и взаимозависимости в процессе наработки.

К важнейшим параметрам светодиодов относятся световой поток, сила света и падение прямого напряжения при рабочей величине прямого тока. В современном производстве эти параметры измеряются на каждом выпускаемом приборе с помощью автоматизированных установок и светодиоды сортируются по группам, имеющим определенные типичные значения этих параметров в пределах от их минимальных до максимальных значений.

Установление связи между скоростью деградации важнейших параметров светодиодов в процессе наработки с величинами этих параметров до наработки в перспективе дает

возможность количественно предсказывать срок службы светодиодов еще на стадии производства. Разработка методик измерения базовых светотехнических и электрических характеристик светодиодов на основе закономерностей изменения параметров в процессе деградации электрических и излучающих свойств светодиодов с различной конструкцией кристаллов, изготовленных из эпитаксиальных гетероструктур твердых растворов AlGaInP и AlGaInN, и разработка методик производственной квалификации светодиодов по сроку службы, позволяющих существенно повысить долю выхода качественной продукции к потребителю, — таковыми представляются основные задачи современных исследований светодиодов и гетероструктур с точки зрения прогноза поведения основных их параметров.

Тенденции развития технологии производства и применения излучающих кристаллов

Несмотря на то, что достаточно удачные разработки в области технологии производства излучающих кристаллов применяются современными производителями светодиодов повсеместно, часто еще не полностью освоенная и не доведенная до необходимого качества технология посадки и упаковки новых типов кристаллов в светодиод сменяется другой из-за появления еще более новых кристаллов или технологий их упаковки. Одновременно возникает иное тематическое направление применения светодиодов, изменяя, в свою очередь, их вид и конструкцию. Чтобы идти в ногу с таким быстрым прогрессом в этой области, при проектировании устройств, основой которых являются светодиоды, необходимо в некоторой степени прогнозировать развитие ситуации с появлением новаций. Тогда проект, сориентированный уже на следующий шаг в развитии полупроводниковых источников света, к моменту его реализации и последующей эксплуатации будет однозначно современным и обладающим всеми преимуществами примененного в нем новшества.

Основным направлением в развитии технологии производства кристаллов является повышение энергетики квантового выхода за счет применения совершенных материалов подложек и кристаллодержателей с очень малым тепловым сопротивлением. Развивается и методика производства кристаллов с применением эффекта Пельтье непосредственно под излучающим кристаллом. Необходимость этого возникла с появлением устойчивой тенденции использования кристаллов при больших плотностях тока (до 200 А/см²). Возможно, на сегодняшний день это один из немногих подходов к решению данной проблемы, позволяющий увеличить квантовый выход кристаллов в несколько раз по сравнению с прежними показателями.

Параллельно увеличению плотности тока развивается интеграция, одним из видов которой является стойкое стремление к увеличению размеров кристаллов. Это тоже оправданно, и, скорее всего, именно такой подход позволит наряду с развитием теплоотводящих материалов получить конструкции кристаллов и устройств на них с наибольшими энергетическими показателями выхода лм/Вт_т. Сейчас этот показатель достиг значения 80 на зеленом цвете (540 нм) и 140 — на синем с люминофором. Поэтому все чаще появляются сообщения о том, что в кристалле имеет место такой-то оптический выход с такой-то площади структуры. Именно с площади. То есть в дальнейшем, с развитием возможности варьировать площадь поверхности (размеры) кристалла в широких пределах, можно будет говорить о световом выходе, только лишь зная размер кристалла или количество кристаллов в интегральной матрице. Основной проблемой, тормозящей прогресс в этой области, является сложность в формировании равномерной плотности тока по всей площади большого кристалла, а без этого не имеет смысла делать его большим. И по-прежнему отвод тепла остается определяющим в выборе размера. Однако нельзя не упомянуть и о сложности изготовления однородных по большой площади подложек и самих структур излучающих кристаллов, имеющих вдобавок разветвленную структуру сильных внутренних механических напряжений, которые значительно проявляются именно при больших протяженных размерах и объемах кристалла.

Положительным эффектом интеграции групп кристаллов в одну структуру с параллельным их включением внутри самой структуры (одного кристалла), весомо склоняющим этот путь к перспективам развития, является увеличение крутизны ВАХ таких структур, уменьшение прямого напряжения и общего потребления электрической мощности, в основном за счет чего и наблюдается рост отношения лм/Вт_т.

Особо стоит отметить тенденции развития технологий производства белых светодиодов. Используя в качестве источника излучения синий кристалл с центральной длиной волны около 445–460 нм, нанесенный на него люминофор преобразует спектр исходного излучения в близкий к белому с коэффициентом передачи светового потока относительно исходного с указанной длиной волны синего 4–6 [3]. Тенденция роста квантового выхода в этой системе может использовать все вышеописанные варианты, и еще плюс — совершенствование материала люминофора. Однако, скорее всего, в очень скором будущем будет достигнут предельный размер кристалла, плотность мощности, с которой может эффективно работать люминофор, и исчерпаются возможности комбинаций состава люминофора. Поэтому создание широкополосной излучающей полупроводниковой структуры продолжается и ускоряется. Тут дело стоит за совершенствованием технологии роста

кристаллов вообще и структур с неким набором запрещающих зон различной ширины в одной активной области в частности.

В части производства светодиодов или полупроводниковых излучающих матриц описанные проблемы конструкций кристаллов, совершенно очевидно, переносятся на конструктив светодиода. Посадка кристаллов на подложках SiC (CREE), безусловно, вскоре будет осуществляться исключительно на эвтектику. Клеевые и эпоксидные варианты крепления еще долго останутся у материалов GaAs/GaAs, AlInGaP/GaP и структур на подложке Al₂O₃ (Epistar, Nichia, AXT, UEC). И здесь также будет увеличиваться интеграция. Важным станет не формирование светового потока, а его энергетика. Поэтому в приборах для освещения источники излучения обязательно будут матричными. Каким бы ни было совершенствование мощных единичных светодиодов на основе больших кристаллов (например, типа OSLOn, XLamp, SemiLeds, Luxeon, Varakkuda и др.), гораздо дешевле и мобильнее будет изготавливать светильники, устанавливая кристаллы непосредственно на текстолитовую плату или с алюминиевым основанием необходимой конфигурации и в нужном количестве. Исходя из этих задач формирование вторичной оптики сведется к минимуму, сохраняя лишь ее свойства герметизации кристалла, если это не какая-либо специальная необходимость, как, например, уличные светильники.

При таком групповом использовании кристаллов качественная оптика, объединяющая всю группу, невозможна. Здесь можно применять лишь групповой вариант линз при каждом кристалле светодиода. Примером описанной тенденции является катастрофически растущая доля производства многокристалльных СМД-светодиодов как прообраза будущих матриц относительно производства единичных светодиодов. Однако для создания больших протяженных источников излучения, таких как табло и экраны, где практически достигнут необходимый предел их яркости с помощью существующих светодиодных кластеров и где направлением развития является повышение разрешающей способности и качества воспроизведения и передачи изображения, еще очень продолжительное время будут использоваться единичные монохромные светодиоды — как элементы, с помощью которых возможно мобильно, дешево и просто решить любую задачу в этой области, реализовав большинство параметров.

Литература

1. Официальные рекомендации Международной комиссии по освещению (МКО). Публикация МКО № 2.2 (ТС-1.6) «Цвета световых сигналов». 1975.
2. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / Пер. с англ. М.: Мир. 1978.
3. Никифоров С. Г. Исследование параметров семейства светодиодов CREE XLamp // Компоненты и технологии. 2006. № 11.