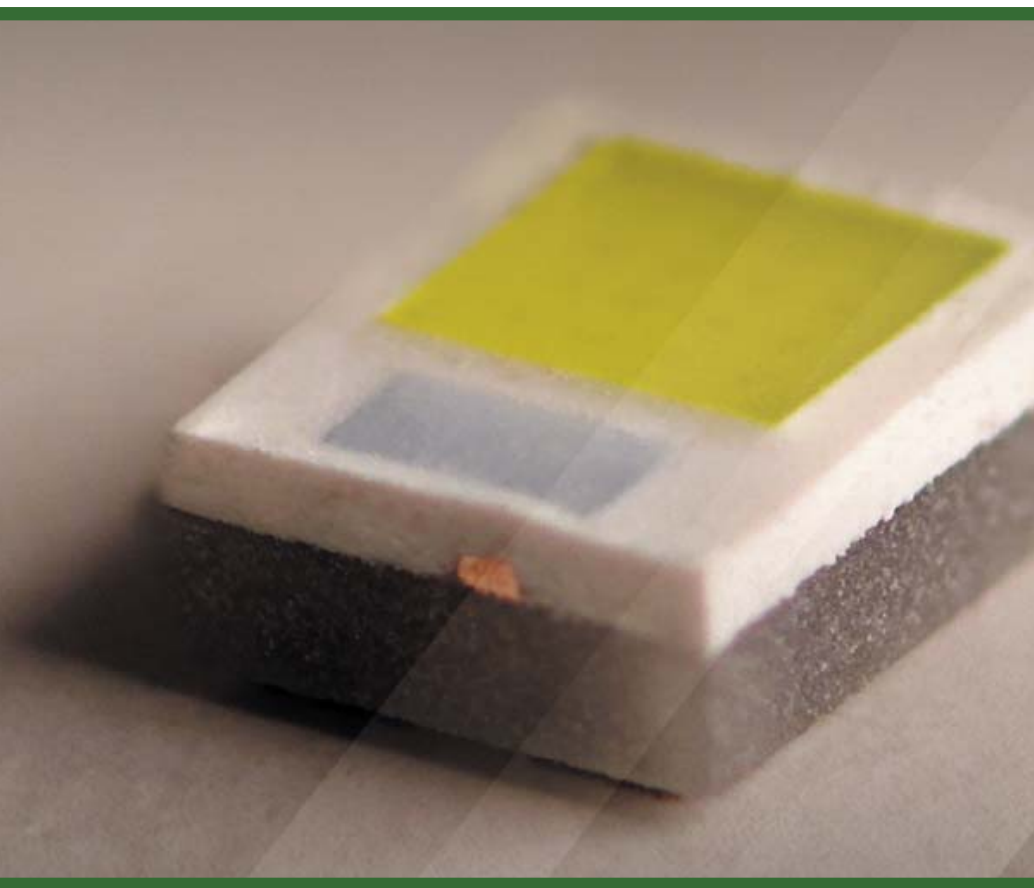


Андрей Туркин

Обзор новых продуктов в линейке мощных и сверхъярких светодиодов Lumileds

➔ Приведен обзор новинок светодиодов компании Lumileds, одного из лидеров рынка мощных, а с недавнего времени и сверхъярких светодиодов. Данная компания продолжает успешно развивать свою линейку продукции, расширяя созданные серии и выпуская новые, а также распространяя свое присутствие на новые сегменты рынка.



Введение

В настоящее время светотехнические устройства на основе светодиодов уже перестали вызывать удивление, поскольку практически во всех областях светотехники появились такие устройства. Развитие физики и технологии соединений АІІВV — нитридов алюминия, индия и галлия (AlInGaN) [1–6] показало, как научные исследования и технологические разработки новых материалов, а также реализация приборов на их основе приводят к экономически эффективному внедрению полученных результатов в промышленность. Наглядным примером здесь может служить применение в освещении светодиодов (СД) белого цвета свечения на основе гетероструктур GaN и его твердых растворов [1, 5, 10, 11], которые за последние десять лет прошли путь от пробных проектов до широкого использования.

В последнее десятилетие наблюдается также значительный прогресс в создании СД в коротковолновой части спектра — ультрафиолетовых и фиолетовых [12]. Исследования были направлены на продвижение этих светодиодов в более коротковолновую область, а также на увеличение мощности их излучения. Развитие в данных направлениях было обусловлено как стремлением заменить традиционные для ультрафиолетового диапазона газоразрядные лампы, так и возможностью применения ультрафиолетовых СД в новых областях, таких как системы безопасности и связь с непрямой видимостью.

Компания Lumileds, относительно недавно выпустившая на рынок новый для себя тип светодиодной продукции — сверхъяркие светодиоды [13, 14], продолжает развивать линейку изделий, добавляя новые серии светодиодов и совершенствуя уже имеющиеся серии. Ниже представлен обзор новинок компании Lumileds, появившихся в обоих сегментах — сверхъярких и мощных светодиодов, разработанных в последнее время ее специалистами.

Обновление линейки светодиодов серии Luxeon 3535L

Сначала несколько слов о новинках линейки белых светодиодов Luxeon 3535L [13, 14], созданных специалистами компании Lumileds. В ней появились несколько новых серий светодиодов, в частности Luxeon 3535LS [15]. Световой поток у светодио-

дов данной серии несколько ниже, чем у входящих в серию Luxeon 3535L, но у них также ниже себестоимость и цена, так что данную серию можно считать бюджетной. Также были выпущены две серии с более высоким световым потоком — Luxeon 3535L HE и Luxeon 3535L HE Plus [15].

Светодиоды новых серий изготавливаются в стандартном корпусе размерами 3,5×3,5 мм (рис. 1), топология которого полностью соответствует аналогичной продукции других производителей. Данные светодиоды имеют все оттенки белого света (теплый, естественный и холодный), перекрывая диапазон цветовой температуры 2200–6500 К. Их номинальный ток составляет 100 мА, типичное значение напряжения при данном токе — 3 В. Угол кривой светораспределения равен 115°, тепловое сопротивление — примерно 20 °С/Вт [15].



Рис. 1. Белый светодиод серии Luxeon 3535L компании Lumileds

Непрерывно нужно отметить и появление серии цветных светодиодов Luxeon 3535L Color (рис. 2), дополнившей существующие серии белых светодиодов Luxeon 3535 [13–15]. Они также заключены в стандартный корпус размерами 3,5×3,5 мм, полностью соответствующий по топологии аналогам других производителей.

Данные светодиоды перекрывают практически весь видимый диапазон оптического спектра — 440–630 нм. В линейке представлены модели традиционных цветов — синие, голубые, зеленые, оранжевые, красные. Кроме того, стоит отметить, что в данной серии есть также цветные светодиоды на основе люминофора в желтой (PC Amber) и желто-зеленой (Lime) области, что обеспечивает более

равномерное перекрытие данными светодиодами видимого спектра.

Номинальный ток цветных светодиодов Luxeon 3535L Color составляет 100 мА, типичное значение напряжения при данном токе у синих, голубых и зеленых светодиодов — около 3–3,2 В, у желто-зеленых и желтых на основе люминофора — около 3,05 В, у оранжевых и красных — примерно 2,10 В. Угол кривой светораспределения равен 115°, а тепловое сопротивление составляет 20–40 °С/Вт в зависимости от цвета светодиода.

Минимальная оптическая мощность синих (440–455 нм) светодиодов Luxeon 3535L в номинальном режиме (ток 100 мА) равна 130 мВт. Минимальный световой поток голубых (469–480 нм) светодиодов данной серии в номинальном режиме — 8,2 лм. В аналогичном режиме минимальный световой поток в номинальном режиме зеленых (520–540 нм) светодиодов данной серии составляет 21 лм, а оранжевых (610–620 нм) и красных (620–630 нм) — 13 и 10 лм соответственно. Минимальный световой поток светодиодов с люминофором — желтых и желто-зеленых — в номинальном режиме составляет 24 и 44 лм соответственно. Данные (желтые и желто-зеленые) светодиоды, изготовленные, как уже было замечено, на основе люминофора, специфицируются по координатам цветности, а их приблизительные значения длины волны, полученные путем расчета, составляют 588 и 566 нм соответственно.

Теперь об основных областях применения светодиодов серии Luxeon 3535L. Белые светодиоды предназначены в основном для использования в светильниках и светодиодных устройствах, предназначенных для внутреннего освещения. В частности, перспективным выглядит их применение во встраиваемых светильниках, светодиод-



Рис. 2. Цветные светодиоды серии Luxeon 3535L Color компании Lumileds

ных лампах, светильниках типа Down Light и т. д. Также целесообразно устанавливать их в светотехнических приборах и системах для наружного освещения.

Развитие линейки светодиодов, сопровождающееся ростом светотехнических характеристик и снижением их себестоимости, ведет к расширению типов и номенклатуры светодиодных осветительных приборов. Световая отдача светодиодов уже сравнима с обеспечиваемой самыми эффективными разрядными лампами. Благодаря этому, а также растущей потребности в экономии потребляемой электроэнергии, расширяется применение их в освещении. Например, с помощью светодиодных изделий освещают коридоры и подъезды в домах, технические зоны и рабочие места на предприятиях, склады и хранилища, а также витрины и прилавки магазинов [11]. Кроме того, использование светодиодов для освещения экономит средства в результате снижения потребления электроэнергии и сокращения затрат на эксплуатацию.

Цветные светодиоды серии Luxeon 3535L Color предназначены в основном для использования в светосигнальной аппаратуре и автомобильной светотехнике. Кроме того, их можно применять в светильниках для архитектурного и художественного освещения, ландшафтного освещения, а также в светодиодных лампах. Широкий диапазон длин волн у светодиодов данной серии позволяет разрабатывать на их основе перестраиваемые светильники, т. е. осветительные приборы с перестраиваемым спектром, путем изменения интенсивности свечения светодиодов разного цвета, используемых в составе устройства. Такие светильники можно применять в различных областях, за исключением упомянутого выше архитектурного, художественного и ландшафтного освещения. Отдельно стоит выделить их использование для освещения растений [16–19]. Как уже отмечалось [16–19], оптимальное соотношение энергий излучения по спектру для освещения растений составляет примерно 30% в синей области (380–490 нм), 20% — в зеленой (490–590 нм) и 50% — в красной (600–700 нм) [16–19]. Составляя комбинации из светодиодов разных цветов, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне.

Поскольку цветные светодиоды серии Luxeon 3535L Color имеют такие же корпу-

са, как у светодиодов Luxeon 3535 других серий, разработчики могут проектировать новые светильники с использованием цветных светодиодов без существенного изменения печатных плат и оптики, что позволит сэкономить время и сократить затраты на разработку нового изделия.

Светодиоды Luxeon 2835

Следующей новинкой является серия сверхъярких светодиодов Luxeon 2835 (рис. 3), предназначенная для широкого применения.



Рис. 3. Сверхъяркий светодиод серии Luxeon 2835 компании Lumileds

Светодиоды Luxeon 2835, имеющие корпус размерами 2,8×3,5 мм, по топологии подобны аналогам других производителей. Они выпускаются в диапазоне цветовых температур 2700–6500 К, т. е. перекрывают практически всю область белого цвета и имеют достаточно высокие характеристики. К примеру, световая отдача моделей с цветовой температурой 4000 К и индексом цветопередачи CRI, равным 80, достигает значения 153 лм/Вт, а световой поток доходит до 113 лм (при токе 120 мА и температуре $p-n$ -перехода $T_j = 25^\circ\text{C}$) [15].

Серия Luxeon 2835 включает два семейства светодиодов — Luxeon 2835С и Luxeon 2835Е, номинальные значения тока у которых составляют 60 и 120 мА соответственно. Номинальные значения напряжений при указанном токе у светодиодов семейства Luxeon 2835С равны 9 и 6 В, у светодиодов семейства Luxeon 2835Е — 6 и 3 В. Тепловое сопротивление светодиодов семейства Luxeon 2835С, в зависимости от указанного напряжения, равно 15 и 20 $^\circ\text{C}/\text{Вт}$, у светодиодов семейства Luxeon 2835Е — 11 и 21 $^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Угол кривой светораспределения светодиодов серии Luxeon 2835 составляет 120° [15].

Светодиоды серии Luxeon 2835 предназначены в основном для ламп-ретрофитов, т. е. светодиодных аналогов традиционным лампам накаливания и люминесцентным, они имеют высокие значения светового потока и световой отдачи. Использовать такие лампы предполагается в готовых светильниках, заменяя ими традиционные лампы. Это обеспечит повышение эффективности освещения и, следовательно, снижение энергопотребления и расходов на электроэнергию.

Новинки серии светодиодов Luxeon Z

Светодиоды серии Luxeon Z Color (рис. 4) расширили существующую серию светодиодов Luxeon Z, в которой ранее были представлены только модели белого цвета свечения [10, 20–22]. Они выполнены в корпусе размерами 1,7×1,3 мм, типичном для светодиодов Luxeon Z.

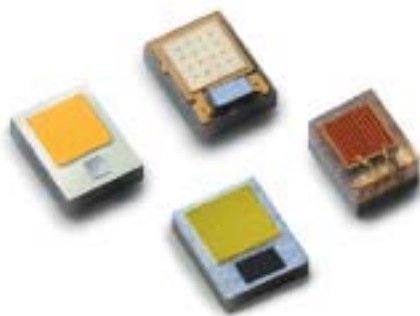


Рис. 4. Мощные цветные светодиоды серии Luxeon Z Color компании Lumileds

Длины волн светодиодов Luxeon Z Color перекрывают диапазон 440–670 нм, включая темно-красный (Deep Red), синезеленый (Cyan), желто-зеленый (Lime) и желтый с люминофором (PC Amber) [15]. Таким образом, в данной линейке представлены все цвета видимого спектра. Номинальный ток данных светодиодов составляет 500 мА. Максимальное значение тока для синих, голубых, синезеленых и зеленых светодиодов равно 1000 мА, для темно-красных, красных, оранжевых, желтых и желто-зеленых — 700 мА. Для светодиодов данной серии характерно низкое значение теплового сопротивления, которое для синих, голубых, синезеленых, зеленых и желтых с люминофором составляет 5 $^\circ\text{C}/\text{Вт}$, а для темно-красных, красных, оранжевых, желтых и желто-зеленых — 8 $^\circ\text{C}/\text{Вт}$ [15].

Значения угла кривой светораспределения для синих, голубых, синезеленых, зеленых, желто-зеленых и желтых с люминофором равны 125°, для темно-красных, красных, оранжевых и желтых светодиодов — 145° [15].

Светодиоды серии Luxeon Z Color предназначены для использования в светильниках для архитектурного и художественного освещения, а также для ландшафтного освещения. Представленный широкий диапазон длин волн у светодиодов данной серии, как и у светодиодов серии Luxeon 3535L Color, позволяет разрабатывать на их основе светильники с перестраиваемым спектром излучения, которые могут применяться не только в упомянутом выше архитектурном, художественном и ландшафтном освещении, но и для освещения растений.

Светодиоды Luxeon C

Светодиоды серии Luxeon C (рис. 5) — новые в линейке компании Lumileds. Они заключены в корпус размерами 2×2 мм [15]. В линейке представлены как цветные светодиоды, перекрывающие диапазон длин волн 440–720 нм, включая темно-красный (Far Red), синезеленый (Cyan), желто-зеленый (Lime) и желтый с люминофором (PC Amber), так и белые, значения цветовой температуры которых перекрывают диапазон 2700–5700 К. Следовательно, они представляют все оттенки белого света — теплый, естественный и холодный [15]. Номинальный ток данных светодиодов составляет 350 мА. Значение их максимального тока для белых и желто-зеленых светодиодов равно 1225 мА, для темно-красных — 700 мА, для всех остальных цветов — 1050 мА. Тепловое сопротивление желтых с люминофором

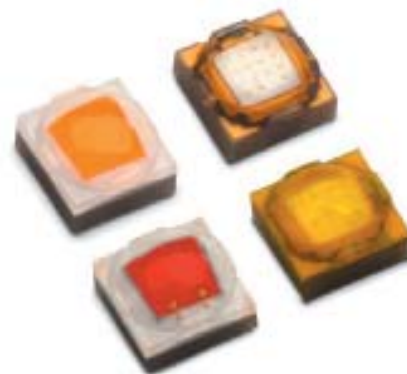


Рис. 5. Мощные светодиоды серии Luxeon C компании Lumileds

светодиодов данной серии составляет 3,5°С/Вт, голубых, сине-зеленых и зеленых светодиодов — 3 °С/Вт, светодиодов остальных цветов — 2,8 °С/Вт [15].

Угол кривой светораспределения синих светодиодов равен 165°, голубых, сине-зеленых, зеленых — 170°, желтых, оранжевых, красных и темно-красных — 162°, желто-зеленых и желтых с люминофором — 150°. Значение угла кривой светораспределения белых светодиодов составляет 150° [15].

Поскольку светодиоды серии Luxeon С имеют в линейке все возможные цвета, включая белый, их можно применять в различных областях, начиная от общего освещения, и заканчивая архитектурным, художественным и ландшафтным. Представленный широкий спектр цветов светодиодов данной серии, как и у светодиодов серий Luxeon 3535 L и Luxeon Z, также позволит разрабатывать на их основе источники света и светильники с перестраиваемым спектром излучения, которые можно применять, помимо разных видов общего, архитектурного, художественного и ландшафтного освещения, для освещения растений [16–18].

Светодиоды Luxeon MZ

Последней в данном обзоре будет представлена серия светодиодов Luxeon MZ (рис. 6), в определенной степени являющаяся доработкой серии Luxeon M [20]. Светодиоды этой серии выпускают в корпусе размерами 4,2×4 мм, где расположены четыре кристалла.

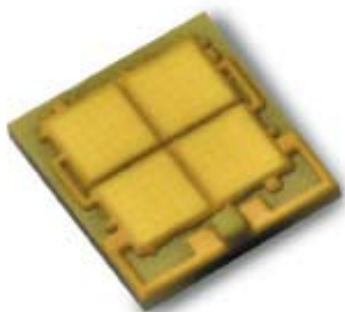


Рис. 6. Мощный светодиод серии Luxeon MZ компании Lumileds

В отличие от серии Luxeon M [20], светодиоды которой предназначены для работы от источника напряжения на 12 В, в серию Luxeon MZ входят также модели для работы от источника напряжения

на 6 и 3 В [15]. Номинальные токи при этом составляют 700, 1400 и 2800 мА соответственно.

Светодиоды серии Luxeon MZ перекрывают диапазон цветовой температуры 2700–6500 К, тем самым представляя все оттенки белого цвета — холодный, естественный и теплый. Типичные значения светового потока светодиодов данной серии составляют, в зависимости от оттенка, 840–980 лм, а световая отдача изменяется от 100 лм/Вт для теплого белого цвета до 115 лм/Вт для холодного белого цвета. Также стоит отметить, что данные светодиоды имеют достаточно низкое значение теплового сопротивления, составляющее 1,25 °С/Вт. Значение угла кривой светораспределения светодиодов Luxeon MZ равно 120° [15].

Также в серии светодиодов Luxeon MZ представлены синие светодиоды. Диапазон длин их волн составляет 445–460 нм. В линейке данных светодиодов также есть модели, предназначенные для работы от источника напряжения 12, 6 и 3 В.

Белые светодиоды серии Luxeon MZ отличаются стабильностью цветовой температуры, вследствие чего для них не требуется разбиновка по цветовой температуре. Производитель приводит их характеристики при температуре *p-n*-перехода 85 °С [15]. Синие светодиоды Luxeon MZ отличаются стабильностью длины волны в зависимости от температуры.

Светодиоды серии Luxeon MZ, как и светодиоды серии Luxeon M [20], можно применять для создания на их основе эффективных источников света — светодиодных ламп — для систем низковольтного питания. Также данные светодиоды можно использовать в светильниках для общего как наружного, так и внутреннего освещения, особенно там, где требуется высокая яркость источника света, например в светильниках типа Down Light. Применение синих светодиодов данной серии позволит разрабатывать указанные светильники на основе технологии удаленного люминофора [23].

Светодиоды Luxeon Flip Chip White

Следующей новинкой, на которую стоит обратить внимание, стали светодиоды Luxeon Flip Chip White (рис. 7). Ими разработчики компании расширили уже существующую серию Luxeon Flip Chip, в которой были представлены только синие

светодиоды [20, 21]. Данные светодиоды, как и синие этой же серии, изготавливаются в корпусе CSP [20, 21], размеры которого практически такие же, как размеры кристаллов. Белые светодиоды делаются двух моделей, размеры их корпусов — 1,1×1,1 и 1,4×1,4 мм. Значения цветовой температуры светодиодов с корпусом меньшего размера — Luxeon Flip Chip White 05 — составляют 2700, 3000 и 4000 К, т. е. перекрывают теплый и естественный диапазон белого цвета. У светодиодов Luxeon Flip Chip White с корпусом большего размера — Luxeon Flip Chip White 10 — значения цветовой температуры перекрывают диапазон 2700–5700 К, т. е. они представляют все оттенки белого света, добавляя к перечисленным выше и холодный белый цвет. Номинальный ток светодиодов Luxeon Flip Chip White 05 составляет 175 мА, светодиодов Luxeon Flip Chip White 10 — 350 мА. Значение максимального тока данных светодиодов равно 350 и 700 мА соответственно. Тепловое сопротивление моделей Luxeon Flip Chip White 05 составляет 4 °С/Вт, а Luxeon Flip Chip White 10 — 2 °С/Вт.



Рис. 7. Мощные светодиоды серии Luxeon Flip Chip White компании Lumileds

Угол кривой светораспределения у данных светодиодов равен 148°. Значение типичного светового потока в номинальном режиме у светодиодов Luxeon Flip Chip White 05 в теплом белом диапазоне составляет 49–53 лм, а в естественном белом — около 60 лм. Это соответствует световой отдаче 100–110 лм/Вт в теплом диапазоне и 125 лм/Вт — в естественном белом диапазоне. Типичный световой поток светодиодов Luxeon Flip Chip White 10 в номинальном режиме составляет от 108 лм в теплом белом диапазоне и до 137 лм в естественном и холодном белом, что соответствует световой отдаче 110–140 лм/Вт.

Белые светодиоды серии Luxeon Flip Chip White можно применять в светильниках и светодиодных устройствах для внутреннего и наружного освещения. Вследствие малых размеров данных светодиодов выглядит перспективным их использование во встраиваемых светильниках, светодиодных лампах, а также светильниках типа Down Light и т. д.

Ультрафиолетовые и фиолетовые светодиоды Lumileds

Как уже было отмечено, создание полупроводниковых источников излучения с короткими длинами волн в ультрафиолетовой (УФ) области целесообразно применять в таких областях, как фотолитография, разработка датчиков обнаружения токсичных веществ, создание устройств с высокой плотностью хранения данных в оптическом диапазоне, биомедицинские исследования, очистка и стерилизация воды и воздуха. Миниатюризация устройств, обеспечение их максимальной эффективности и безопасности для здоровья человека и окружающей среды требуют разработки принципиально новых источников излучения взамен традиционно используемых для УФ-диапазона газоразрядных ламп.

Можно рискнуть, предположив, что указанные факты побудили компанию Lumileds расширить линейку светодиодов на УФ-область оптического спектра. В настоящее время представлены светодиоды данного диапазона серий Luxeon Z и Luxeon Flip Chip.

Светодиоды серии Luxeon Z UV (рис. 8) имеют корпус размерами 1,3×1,7 мм. По значениям длины волны они перекрывают диапазон 380–400 нм в УФ-области и 400–430 нм в фиолетовой области видимого спектра.



Рис. 8. Мощный светодиод серии Luxeon Z UV компании Lumileds

Номинальный ток данных светодиодов составляет 500 мА, максимальное значение рабочего тока соответствует 1 А. Тепловое сопротивление данных светодиодов для УФ-диапазона равно примерно 6 °С/Вт, для фиолетового диапазона — 4 °С/Вт. Видимый угол — 125°.

Мощность излучения УФ светодиодов при номинальном токе в диапазоне длин волн 380–390 нм составляет 175–375 мВт, в диапазоне длин волн 390–400 нм — 330–525 мВт. Мощность фиолетовых светодиодов при номинальном токе — 435–675 мВт.

Светодиоды серии Luxeon Flip Chip UV (рис. 9) перекрывают диапазон длин волн 380–410 нм. Они, как и синие светодиоды данной серии, выпускаются в корпусе CSP размерами 1×1 мм, которые практически совпадают с размерами кристалла. Номинальный ток данных светодиодов равен 500 мА, максимальное значение рабочего тока составляет 1 А. Тепловое сопротивление данных светодиодов — 2 °С/Вт. Видимый угол равен примерно 150°.



Рис. 9. Мощный светодиод серии Luxeon Flip Chip UV компании Lumileds

Мощность излучения светодиодов Luxeon Flip Chip UV при номинальном токе в диапазоне длин волн 380–390 нм составляет 250–450 мВт, в диапазоне длин волн 390–400 нм — 450–650 мВт, в диапазоне длин волн 400–410 нм — 550–750 мВт.

Можно сделать вывод, что коротковолновые светодиоды обеих серий имеют достаточно высокий внешний квантовый выход для данной области длин волн, что делает их эффективными для разработки изделий на их основе.

Заключение

Подводя итог приведенному выше обзору новинок в линейке мощных и сверх-

ярких светодиодов компании Lumileds, можно сказать, что специалисты компании расширяют диапазон своих разработок, основываясь как на собственном опыте, так и на актуальных трендах, наблюдающихся на рынке. Они совершенствуют линейку светодиодной продукции, выпуская новые интересные модели, а также осваивают новые диапазоны длин волн в уже существующих сериях светодиодов. Полагаю, можно утверждать, что это позволяет компании Lumileds оставаться в лидерах светодиодного рынка, а наблюдающаяся сегментация светодиодной линейки под определенные направления применения, ставшая уже ее визитной карточкой, делает компанию весьма привлекательной для разработчиков светодиодных изделий. ●

Литература

1. Юнович А. Э. Светодиоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твердых растворов // Светотехника. 1996. Вып. 5/6.
2. Юнович А. Э. Ключ к синему лучу, или О светодиодах и лазерах, голубых и зеленых // Химия и жизнь. 1999. № 5–6.
3. Туркин А. Н. Нитрид галлия как один из перспективных материалов в современной оптоэлектронике // Компоненты и технологии. 2011. № 5.
4. Туркин А. Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
5. Туркин А. Н. Обзор развития технологии полупроводниковых гетероструктур на основе нитрида галлия (GaN) // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 6.
6. Туркин А. Н., Юнович А. Э. Лауреаты Нобелевской премии 2014 года: по физике — И. Акасаки, Х. Аmano, С. Накамура // Природа. 2015. № 1.
7. Тринчук Б. Ф. Светосигнальная аппаратура на светодиодах // Светотехника. 1997. № 5.
8. Светодиоды и их применение для освещения / Под общ. редакцией академика АЭН РФ Ю. Б. Айзенберга // Московский Дом света. М.: Знак, 2012.
9. Туркин А. Н. Светодиоды Lumileds: прошлое, настоящее, будущее. Полупроводниковая светотехника // 2012. № 2.
10. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Мощные светодиоды Philips

- Lumileds — от истоков до новинок рынка // Современная электроника. 2013. № 6.
11. Маркова С., Туркин А. Актуальные направления применения мощных светодиодов // Полупроводниковая светотехника. 2016. № 3.
 12. Коган Л. М., Колесников А. А., Туркин А. Н. Новые мощные ультрафиолетовые и фиолетовые излучающие диоды // Светотехника. 2016. № 2.
 13. Туркин А. Новые продукты в линейке компании Philips Lumileds: сверхъяркие светодиоды // Современная электроника. 2015. № 6.
 14. Туркин А. Новинки светодиодной продукции Lumileds // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 4.
 15. Туркин А. Новинки светодиодной продукции Lumileds — расширение линейки сверхъярких и мощных светодиодов // Современная электроника. 2016. № 6.
 16. И. Бахарев, А. Прокофьев, А. Туркин, А. Яковлев. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы // СТА. 2010. № 2.
 17. Прокофьев А. Ю., Туркин А. Н., Яковлев А. А. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5.
 18. Сарычев Г., Гаврилкина Г., Туркин А., Репин Ю. Светодиоды и интенсивная светокультура растений // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 1.
 19. Туркин А. Мощные светодиоды и изделия на их основе в свете актуальных областей их применения // Современная электроника. 2016. № 3.
 20. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Обзор новых светодиодных продуктов компании Philips Lumileds // Полупроводниковая светотехника. 2013. № 5.
 21. Матешев И., Муленкова А., Туркин А., Шамков К. Новинки светодиодной продукции компании Philips Lumileds // Современная электроника. 2014. № 6.
 22. Туркин А. Новые продукты в светодиодной линейке компании Philips Lumileds // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 5.
 23. Туркин А. Н. Светодиодные источники света на основе технологии удаленного люминофора: теория и реальность // СТА. 2012. № 4.