

Анатолий Вилисов, д. т. н. | Vilisovaa@mail.ru | Кирилл Калугин | Kir315@sibmail.com
Василий Солдаткин | Issledowatel86@mail.ru | Екатерина Перминова

Белые светодиоды

Современный рынок светодиодов развивается с огромной скоростью. Технология, вынашиваемая годами, получила наконец, мощный импульс. Этому способствовало несколько причин и главная из них — общемировой тренд перехода к «зеленым», энергоэффективным технологиям. Свообразную «гонку» мировые производители светодиодов начали еще в 90-х годах прошлого века. Постоянно открывались новые цвета свечения светодиодов, увеличивались показатели светоотдачи, наращивался объем продукции. К 1999 г. ежемесячный выпуск зеленых и голубых светодиодов компаниями Toyota Gosei, Nichia, Cree, Hewlett Packard составил около сотни миллионов штук. А поскольку белого свечения светодиода ученым удалось добиться только в 1997 г., их производство на конец XX в. еще было не налажено [1].

В настоящее время на рынке представлено огромное количество светодиодов. Естественно, возникает проблема выбора. Как определить, какие изделия качественные? Каждая фирма хвалит свою продукцию, но реклама есть реклама. Во многом помощь потребителям и разработчикам светотехнических изделий оказывает журнал «Полупроводниковая светотехника», в каждом номере которого публикуются результаты исследований продукции различных фирм — производителей светодиодов [2–11]. Такие статьи являются хорошим дополнением к большому объему публикаций рекламного характера. Кроме того, есть и обобщенная характеристика современного уровня развития светодиодов [12], а также материалы, указывающие «подводные

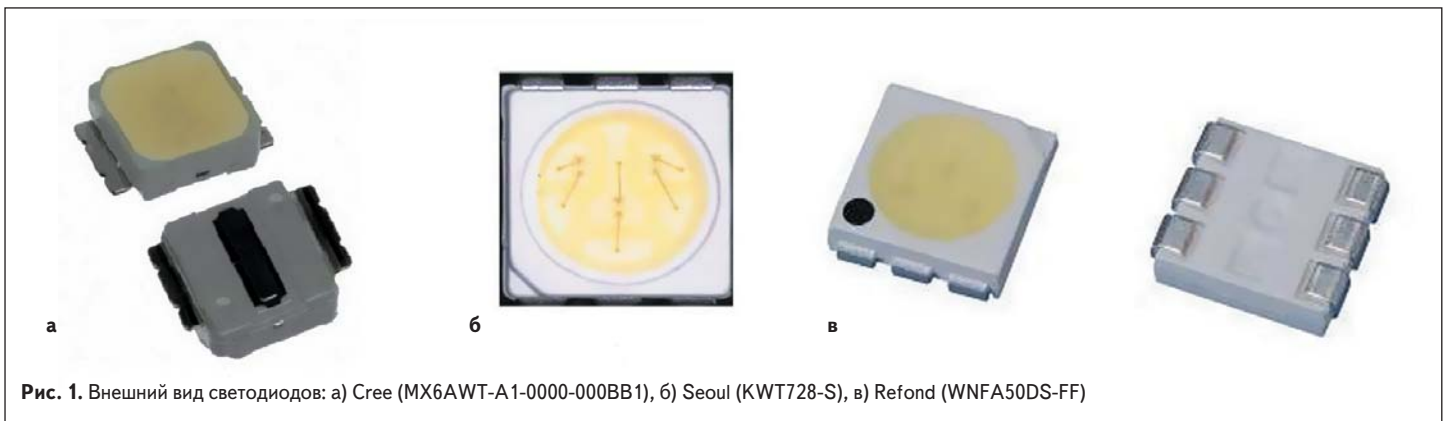
камни», поджидающие разработчиков на пути создания светодиодных осветительных устройств [13].

В данной статье приведен сравнительный анализ, выполненный по результатам экспериментальных исследований светодиодов фирм Cree, Seoul и Refond, проведенных в лаборатории оптоэлектроники ОАО «НИИПП» (г. Томск). В качестве объектов исследования были выбраны по 40 шт. светодиодов:

- MX6AWT-A1-0000-000BB1 (Cree);
- KWT728-S (Seoul);
- WNFA50DS-FF (Refond).

Все образцы (рис. 1) были взяты из одной партии, то есть рассматривалась однобиновая упаковка светодиодов каждого типа. Это коммерческие приборы со средней световой эффективностью около 100 ± 10 лм/Вт. Они удобны для ручной и автоматизированной сборки светильников малой и средней мощности в матричном исполнении. Вообще говоря, перечисленные приборы являются светодиодными модулями из малого количества излучающих чипов. Но, следуя технической документации изготовителей, будем называть их светодиодами (СД).

Кристаллы (излучающие чипы) исследованных СД изготовлены на основе гетероструктур, активная область которых содержит пять квантовых ям InGaN/GaN. Светодиоды Seoul и Refond выполнены в корпусе SMD (Surface Mounted Devices), используемом для поверхностного монтажа, и представляют собой сборки трех параллельно соединенных чипов с номинальным током 20 мА



Т а б л и ц а . Результаты исследований светодиодов

Производитель	Cree	Seoul	Refond	
Модель	MX6AWT-A1-0000-000BB1	KWT728-S	WNFA50DS-FF	
Номинальный прямой ток суммарно, мА	100	60		
Угол излучения по уровню 0,5 ($2\theta_{0,5}$), °	Datasheet	120		
	Измеренные значения	111,7–115,1	108,7–115,4	113,7–116,7
Значение цветовой температуры, К	Datasheet	4300–5300	4700–7000	>5000
	Измеренное	4700–5100	4650–5200	5200–5600
	Среднее	4900	5000	5400
Максимальная сила света, кд	Разброс	19,3–26,7	5,84–6,91	6,72–7,66
	Среднее	23,71	6,43	6,98
Рабочее напряжение на диодах, В	Разброс	3,23–3,33	3,14–3,29 В	3,11–3,49
	Среднее	3,26	3,25	3,21
Цена* за штуку, \$	1,4	1,67	0,3	

Примечание: * — По данным на середину 2011 г.

для каждого. Светодиод Cree выпускается также в корпусе SMD, но является сборкой из пяти чипов с номинальным током 20 мА для каждого. Следует отметить, что для защиты от перегрузок в конструкции светодиодов Cree присутствует параллельно включенный диод Зенера.

Заявленный производителем угол излучения по уровню 0,5 ($2\Theta_{0,5}$) для всех рассматриваемых СД одинаков и составляет 120° , что позво-

ляет сравнивать их по значению максимальной силы света с учетом прямого тока через диод.

Исследования прежде всего «потребительские» параметры СД, необходимые при конструировании матричных светильников. Измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводились на полуавтоматической установке, специально разработанной для исследования электрических характеристик светодиодов и для разбраковки диодов на группы по значениям параметров. Светотехнические характеристики исследовались с помощью гониофотометрической установки (установка измерения силы света, УИСС), изготовленной и откалиброванной фирмой ТКА (Санкт-Петербург). Цветовая температура измерялась спектроколориметром ТКА-ВД № 44179-10 той же фирмы. Результаты выполненных исследований приведены в таблице.

Проведенные измерения свидетельствуют о том, что угол излучения СД не превышает заявленного изготовителями значения.

Как показано на рис. 2, при всех напряжениях значение прямого тока у диодов Cree намного выше, чем у других диодов, что объясняется большим количеством чипов в конструкции. Обратная ветвь ВАХ идеального диода характеризуется резким изломом и на характеристикографе выглядит как прямой угол, горизонтальная прямая которого соответствует участку «тока насыщения», а вертикальная — участку пробоя диода. При наличии токов утечки через дефекты в области пространственного заряда или по поверхности кристалла для обратной ветви характерно постоянное увеличение обратного тока с ростом обратного напряжения. Для такой зависимости в технической литературе часто используется термин «мягкий пробой», «мягкая характеристика» в обратном направлении. Диоды компании Seoul имеют «мягкую» обратную ветвь ВАХ (рис. 3), что может свидетельствовать о дефектности гетероструктуры. Обратная ветвь ВАХ диодов Cree определяется характеристикой диода Зенера (рис. 4).

Для белых СД наиболее важным колориметрическим параметром является цветовая температура (ССТ). Светодиоды производятся сегодня в довольно широком диапазоне оттенков белого цвета с ССТ 2600–10000 К. Однако каждый регион имеет свои собственные понятия о том, какой диапазон белого света более всего пригоден для освещения. Для Cree в технической документации приведен диапазон значений 4300–5300 К, что соответствует нейтрально-белому свету [14]. Согласно информации, предоставляемой компанией Refond, светодиоды WNFA50DS-FF излучают холодный белый свет ($T_c > 5000$ К) [15]. Цветовая температура СД Seoul, как прописано производителем, изменяется в диапазоне 4700–7000 К, что соответствует изменению оттенка свечения от нейтрального до холодного белого [16]. Как можно видеть в таблице, полученные в ходе измерений результаты подтвердили данные производителей.

Для наглядности на рис. 5 приведены гистограммы распределения значений ССТ исследованных партий СД. Диапазоны значений T_c для светодиодов Cree и Seoul практически совпадают, у СД Refond значение T_c немного выше. Измерения проводились под углом 90° к излучающей поверхности СД.

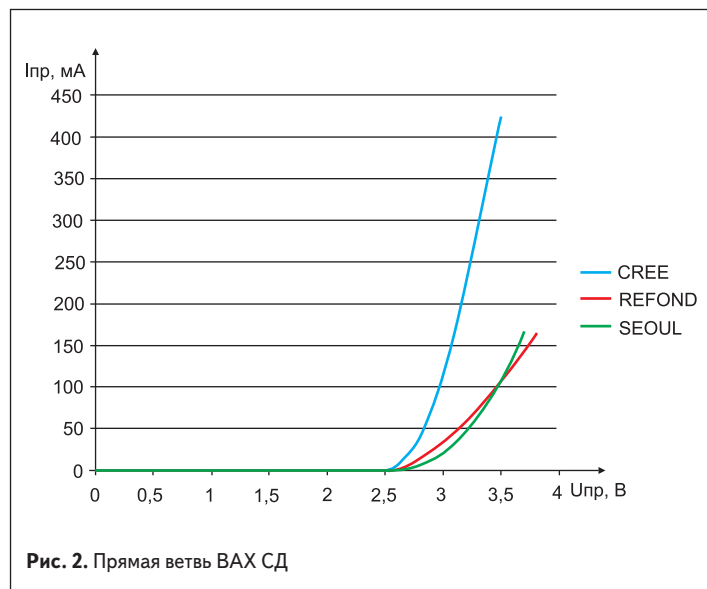


Рис. 2. Прямая ветвь ВАХ СД

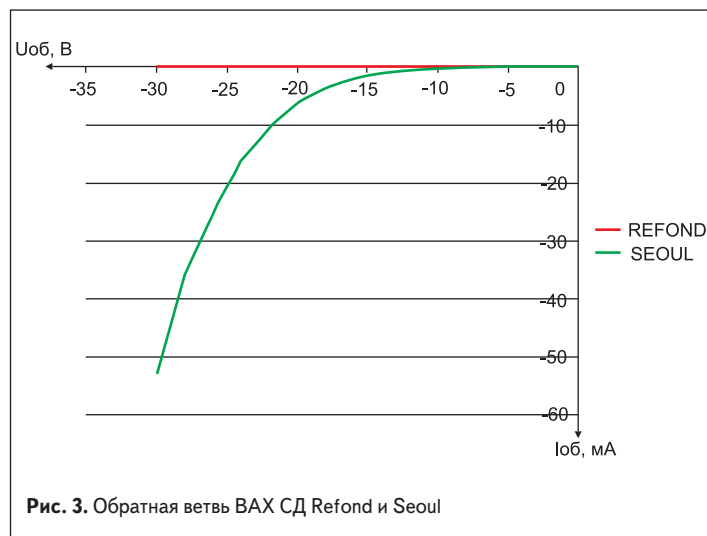


Рис. 3. Обратная ветвь ВАХ СД Refond и Seoul

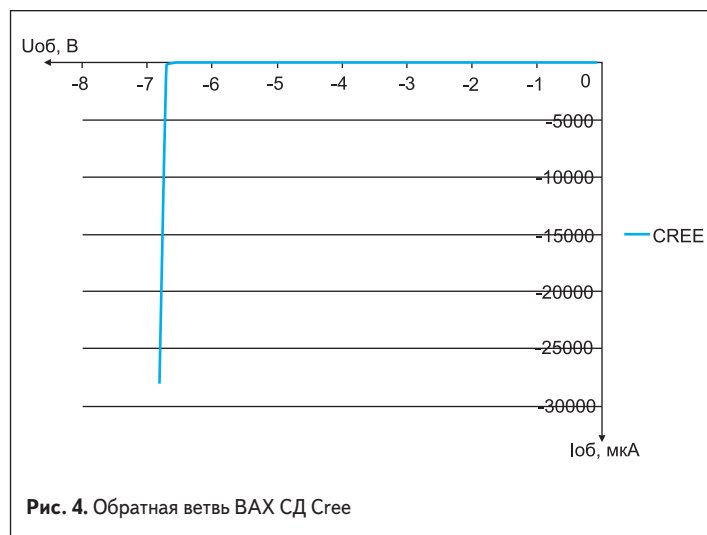


Рис. 4. Обратная ветвь ВАХ СД Cree

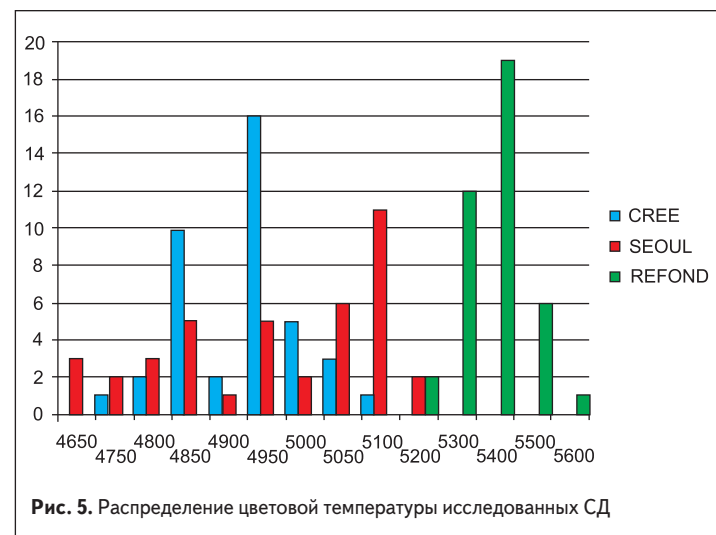
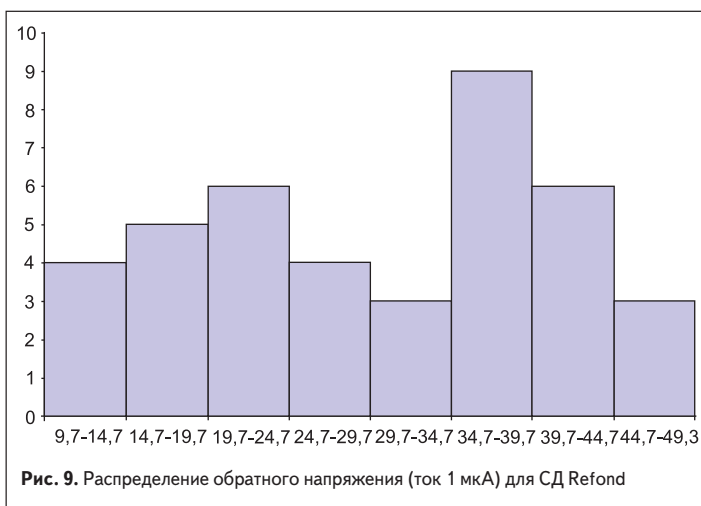
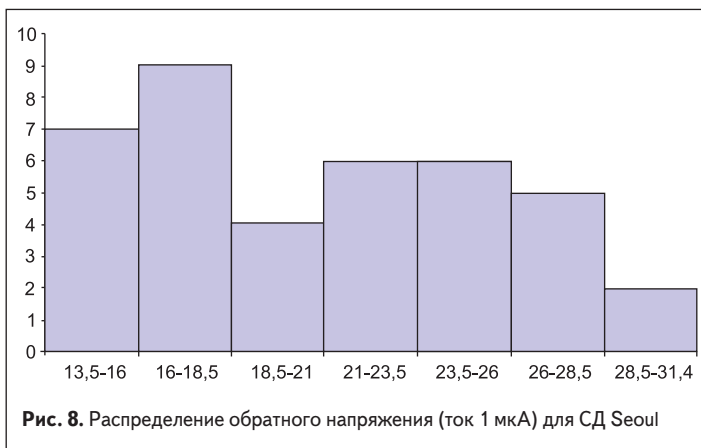
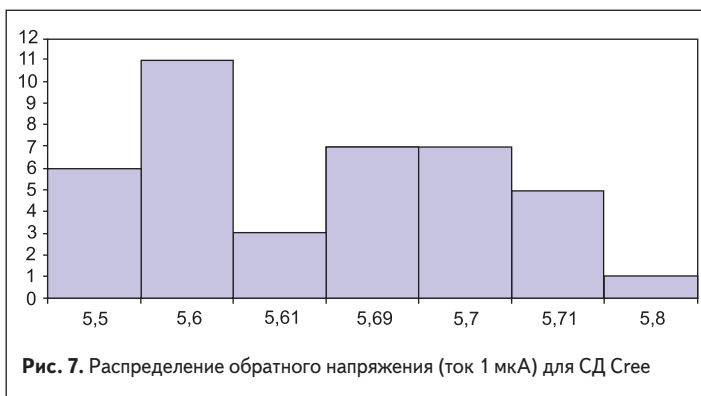
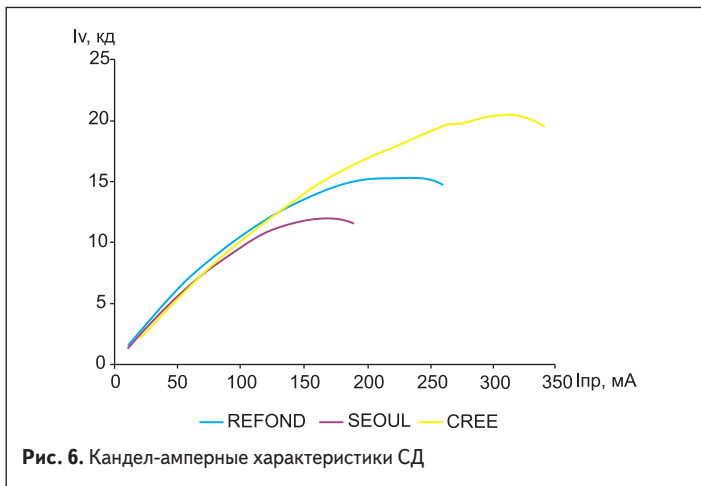


Рис. 5. Распределение цветовой температуры исследованных СД



Кандел-амперные характеристики (зависимость максимальной силы света от прямого тока), приведенные на рис. 6, показывают, что при рабочих токах 60 мА сила света светодиодов Refond больше, чем у СД Seoul. Значение силы света для диодов Cree еще выше, так как в конструкции диода пять излучающих чипов и, соответственно, полный прямой ток составляет 100 мА. Приведенные в таблице данные позволяют говорить, что у СД Cree разброс значения силы света много больше, чем у двух других типов диодов. Очевидно, что можно использовать четыре диода компании Refond для получения значения силы света порядка 24–28 кд, как у одного диода Cree, получив при этом диапазон разброса силы света в два раза меньше, чем у СД Cree.

Исследования показали, что диоды Cree и Seoul имеют примерно одинаковое значение рабочего напряжения и его разброс. Для СД компании Refond разброс значения рабочего напряжения в четыре раза выше, чем у остальных.

Немаловажным параметром СД и относительным показателем их качества является обратная ветвь ВАХ. Гистограммы обратного напряжения при обратном токе 1 мкА представлены на рис. 7–9. Наиболее стабильными оказались образцы Cree, разброс по величине обратного напряжения у них составляет 0,3 В (но это характеристика диода Зенера). Наибольший разброс величины обратного напряжения (40 В) наблюдался для диодов Refond.

Заключение

Таким образом, диоды Cree выигрывают по значениям параметров за счет большего рабочего тока и их повторяемости. Но при этом, как было показано ранее, можно получить при помощи диодов Refond значение силы света, равное силе света СД Cree, с меньшим разбросом этого значения. Этот вариант по стоимости окажется примерно равным стоимости одного диода Cree. Для каждого разработчика ответ на вопрос о том, какой диод лучше, зависит от того, где этот диод будет использоваться, в каком устройстве и какова технология сборки этого устройства.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП,
ГК № 16.516.11.61100*

Литература

- <http://www.magazine-svet.ru>
- Никифоров С. Г. Исследование параметров светодиодов CREE XP-E/XP-G/XM-L // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 2.
- Скрипниченко А. Новые светодиоды ML-E компании CREE // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5.
- Никифоров С. Г. Новые возможности светодиодов Luxeon REBEL // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 2.
- Полищук А. Светодиоды OSLO SSL — новое решение в построении твердотельных источников света // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 2.
- Скрипниченко А. Новое поколение светодиодов CREE: компактнее и дешевле // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 1.
- Петропавловский Ю. Перспективные светодиоды компании Avago Technologies // Полупроводниковая светотехника. 2012. № 1.
- Петропавловский Ю. Современные светодиоды и светодиодная продукция компании Samsung LED // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
- Миронов С. Перспективная продукция CREE — новые возможности // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 5.
- Королев Г. Светодиоды компании CREE для видеодисплеев и информационных табло // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 1.
- Никифоров С. Г. Светодиоды с кристаллами от SemiLEDs «под микроскопом» // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 1.
- Никифоров С. Г. Реальный технический уровень современных светодиодов и осветительных приборов на их основе // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 6.
- Романовский А. Не верь глазам своим, или Технология обмана // Полупроводниковая светотехника. 2011. № 6.
- <http://www.cree.com>
- <http://www.refond.ru>
- <http://www.seoulsemicon.co.kr>