

---

---

## ОГЛЯДИ

УДК 621.3.049.771

### ЭВОЛЮЦИЯ СВЕТОДИОДОВ – ОТ «ХОЛОДНОГО СВЕТА» ЛОСЕВА ДО ОСВЕЩЕНИЯ УЛИЦ (Часть II)

*Антипенко Р.В., Руденко Н.Н., Силакова Т.Т.*

В XX веке существовало два основных вида источников света - лампы накаливания и газоразрядные лампы. Среди последних наиболее известны и занимают ведущее положение люминесцентные лампы.

#### **Сравнительный анализ ламп, применяемых для освещения**

В быту традиционно наиболее распространены лампы накаливания (ЛН) мощностью от 15 до 300 Вт. Эффективность ЛН не превышает 5%, т.к. основная электрическая мощность затрачивается на тепло, а срок службы ЛН составляет 1,5 тыс.ч.

Люминесцентные лампы (ЛЛ), хотя и эффективнее ЛН почти в 6 раз, используются в освещении жилых помещений не так широко, в связи с неадекватной восприимчивостью их света человеческим глазом и дороговизны. Галогенные лампы могут составить конкуренцию ЛН, но, тем не менее, массовое их использование ограничено рядом причин, в том числе и высокой ценой.

Люминесцентные лампы применяются для освещения общественных и производственных помещений, таких, как медицинские и образовательные учреждения, вокзалы, учреждения, цеха и т.д. К достоинствам ЛЛ относятся высокая световая отдача (до 80 лм/Вт) и большой срок службы (до 10000 ч.). К недостаткам — относительная громоздкость; необходимость специального пускорегулирующего устройства и чувствительность "пуска" к температуре окружающего воздуха; наличие стробоскопического эффекта, нарушающего правильность восприятия объекта и вызывающего неприятные ощущения; ухудшение экологии и большие средства, которые должны быть затрачены на утилизацию содержащих ртуть баллонов.

Разработанные в 70-80-х гг. светодиоды (СД), цифро-знаковые индикаторы, табло, экраны и элементы шкалы на основе бинарных соединений и твердых растворов  $A^3B^5$  нашли широкое применение в устройствах и приборах индикации, сигнализации, контроля и отображения информации малой мощности как гражданского, так и спецприменения. Помимо «грязного» цвета свечения, не соответствующего стандартам, эти СД имели низкую эффективность и силу излучения — единицы или десятки милликанделл, тогда как в обычных светотехнических устройствах этот параметр должен составлять тысячи и десятки тысяч канделл. Ситуация радикальным образом изменилась в середине 90-х гг., когда за рубежом (в основном в Японии и США) были созданы эффективные полупроводниковые источники излучения, в принципе способные за-

менять ЛН и ЛЛ в светотехнических приборах большого радиуса действия — шоссе́йные и железнодорожные светофоры, бакены и маяки, бортовые сигнальные и осветительные огни, дорожные знаки, информационные табло на основе твердых растворов алюминия, индия, галлия фосфора и нитрида галлия, индия, алюминия [4,5].

Основные преимуществами СД над иными источниками света:

- высокая световая отдача (превышает 50 лм/Вт и постоянно растет);
- надежность и большой срок службы, достигающий 100000 часов;
- близкое к монохроматическому излучение, которое имеет широкий спектр цветов, что позволяет отказаться от применения светофильтров;
- устойчивость к механическим и климатическим воздействиям;
- высокая устойчивость к действию проникающей радиации [6-9].

Анализ преимуществ и недостатков ЛН, ЛЛ и СД, а также областей их применения, позволяет систематизировать результаты по базовым характеристикам, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип лампы	Стоимость	Расходы за период эксплуатации	Срок службы, ч.	Яркость	ИФ-излучение	УФ-излучение
Накаливания	Низкая	Очень высокие	1000	Средняя	Очень высокое	Приемлемое
Люминесцентная	Высокая	Приемлемые	10000	Низкая	Малое	Очень высокое
Светодиодная	Очень высокая	Низкие	Более 100000	Высокая	Отсутствует	Отсутствует

В рейтинге различных источников освещения СД занимают первое место (табл. 2).

Таблица 2

	Начальная стоимость	Расходы за период эксплуатации	Жизненный цикл лампы	Яркость	ИК - излучение	УФ – излучение
Лучшие	ЛН	СД	СД	СД	СД	СД
Средние	ЛЛ	ЛЛ	ЛЛ	ЛН	ЛЛ	ЛН
Худшие	СД	ЛН	ЛН	ЛЛ	ЛН	ЛЛ

Из приведенных таблиц видно, что СД за счет низкого расхода финансовых средств в течение периода эксплуатации, длительного жизненного цикла, высокой яркости, отсутствия инфракрасного (ИК) и ультрафиолетового (УФ) излучений, являются лидерами в рейтинге прочих источников освещения.

Постоянно растущие потребности человечества в освещении требуют

увеличения производства электроэнергии. Для этого необходимы дополнительные капиталовложения на строительство электростанций, выработку месторождений энергоносителей и последующую утилизацию растущих отходов производства. Вопрос об альтернативных высокоэффективных источниках освещения, способных удовлетворить спрос на освещение, не наращивая при этом производства и затрат на электроэнергию стоит очень остро. Главными условиями новых источников являются небольшой размер ламп, долговечность и низкое энергопотребление. Именно СД, отвечающие всем этим требованиям, считаются основным претендентом на замену ЛН и ЛЛ. В то время, как все существующие на сегодняшний день источники освещения достигли своей максимальной световой эффективности, СД приблизились только к 10% своих возможностей.

Проанализировав преимущества и недостатки различных источников света, остановимся на наиболее ключевых моментах. Основными преимуществами СД перед ЛН является долгий срок службы, более высокий световой выход, безопасность, отсутствие нагревания. СД создают чистый белый свет, в то время как ЛН излучают и в ИК спектре. Почти 95% электричества, потребляемого ЛН, уходит в тепло, поэтому для помещений, в которых используется большое количество ЛН, требуется проводить дополнительные работы по кондиционированию и охлаждению воздуха. ЛН потребляют на 80% больше электроэнергии, чем СД, для них требуется высокое напряжение [10-13]. Сравнивая СД с ЛЛ нельзя говорить однозначно о преимуществе первых. На сегодняшний день световая эффективность белых СД вдвое меньше, чем у ЛЛ, а цена - выше. Здесь в первую очередь следует учитывать тот факт, что для большинства случаев, где применяются в настоящее время ЛЛ, по техническим показаниям и условиям эксплуатации выгоднее и безопаснее использовать именно СД. К примеру, в угледобывающих шахтах, если происходит бросок напряжения, ЛЛ гаснет немедленно. Точно так же ведут себя ЛЛ при любом отклонении от норм эксплуатации - при тряске или понижении температуры воздуха. Кроме того, ЛЛ после завершения срока эксплуатации должны быть подвергнуты обязательной утилизации, как ртутьсодержащие отходы (PCO). Для справки: ежегодно в России на 1 млн. населения приходится около 80 000 отработанных ЛЛ (или 16 тонн PCO). Стоимость утилизации 1 т PCO составляет \$300/ Нетрудно подсчитать, что ежегодные расходы только на утилизацию ЛЛ для России должны составлять сумму порядка \$700000. На практике срок службы ЛЛ и, особенно, ЛН оказывается короче срока, указанного изготовителем. Это объясняется тем, что зачастую условия их эксплуатации не соответствуют нормативам - если меняется напряжение в сети или температура окружающего воздуха, либо же осветительные приборы подвергаются неожиданному механическому воздействию, лампы перегорают или бьются гораздо чаще, чем можно предполагать. СД, как твер-

дотельные источники света, невозможно разбить, они не чувствительны к любым изменениям в электросетях.

Для жилого сектора потребителей главным аргументом в пользу выбора источника освещения является его начальная цена. Перспектива будущей экономии средств на обслуживание и электроэнергию является для них мало убедительной. Этим объясняется малый процент наличия ламп с высокой эффективностью в общем освещении жилых объектов. Использование СД освещения в этом секторе может иметь место только при наличии у потребителя таких специфических требований к освещению, как направленность светового потока и чистота цвета - в таких случаях высокая начальная стоимость СД не играет существенной роли. В то же время, промышленный и коммерческий секторы, где в основном применяется люминесцентное освещение, наоборот заинтересованы в приобретении более экономичных и долговечных источников света высокой эффективности. Деятельность этих секторов рассчитана на перспективу и поэтому снижение расходов на обслуживание, безопасность и низкие энергетические затраты имеют первостепенное значение, закладываются в долгосрочные проекты и влияют на прибыль в целом.

### Прогноз развития рынка белых светодиодов и светодиодных устройств

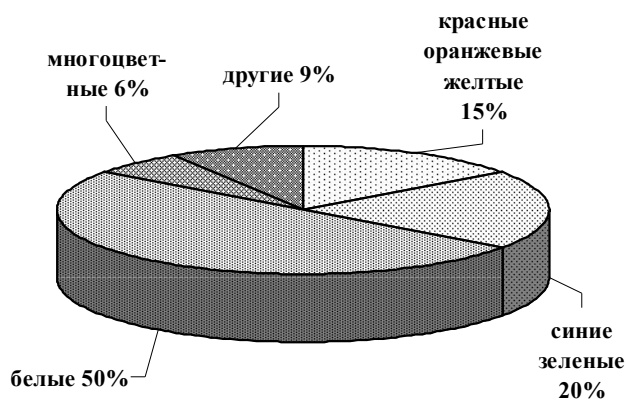


Рис. 1. Относительные объемы выпуска СД различного цвета в 2004 г.

Начиная с 2000 г. темпы роста рынка СД за последние 5 лет превышали 58% в год, а объем выпуска белых СД составил около 50% всего объема выпуска (рис. 1). В табл. 3 приводятся данные по объемам выпуска (млн.штук) СД и светодиодных устройств (СДУ) в промышленно развитых странах в 2003-2007 гг. В табл. 4 приведены мировые показатели объемов выпуска СД и СДУ,

планируемые ежегодные капиталовложения (млн. дол. США), число патентов и основные фирмы-производители в 2003-2007 гг. Из сравнения приведенных таблиц видно, что объемы выпуска более или менее совпадают в 2003 г., а затем резко расходятся, что связано с точностью прогнозов. Предсказанные темпы роста в 2003-2004 гг. оказались несколько завышенными, за исключением Китая, общий объем капиталовложений, которого более чем в три раза превысил капиталовложения остальных стран, при этом, начиная с 2004 г. более половины всех капиталовложений приходится на производство белых СД.

Таблица 3

Страна \ Год	2003	2004	2005	2006	2007
Япония	2468	3032	3790	4548	5757
США	527	654	811	1005	1245
Тайвань	857	1062	1351	1677	2097
Южная Корея	394	472	566	677	815
Европа	461	599	778	1012	1316
Китай	300	350	420	625	656

Таблица 4

	Япония	США	Тайвань	Южная Корея	Европа	Китай
Ежемесячный выпуск СД (млн. шт.)	930	540	1000,6	331	30	24
К-во патентов по технологии «синих» СД	570	324	29	19	29	0
Кап/вложения в производство «белых» СД (в период)	10,7 (1998-2003)	50 (2002-2011)	4,6 (2002-2004)	23,4 (2004-2008)	0,98 (1997-2000)	326 (2003-2005)
Основные производители	Nichia Co., Toshiba Toyota Gosei, Osram Opto Semiconductors,	Limiteds lighting, Gree, Agilent Technologies	R&D, Epistar, Uniroyal, Optoelectronics		Osram Opto Semiconductors	

Обеспечение рынка СД высокой яркости осуществляется несколькими признанными крупными поставщиками, а также рядом недавно появившихся более мелких. Доминирующими поставщиками на рынок голубых, зеленых и белых СД, основанных на нитриде галлия индия (*InGaN*), являются компании *Nichia Corporation*, *Toyoda Gosei*, *Cree* и *Osram Opto Semiconductors*. Основные поставщики желтых, оранжевых и красных СД, основанных на фосфиде галлия индия алюминия (*InGaAlP*) – *Agilent Technologies* и *Lumileds Lighting*, *Osram Opto Semiconductors*, *Toshiba*, поставщики чипов с Тайваня *UEC* и *Epistar*. Появление новых поставщиков, таких как *AXT*, *Uniroyal Optoelectronics* и ряда новых тайваньских фирм сделает в предстоящие годы картину конкуренции еще более непредсказуемой [14-16].

Хотя СД высокой яркости проникают во все сектора рынка, некоторые из областей их применения стоят особняком, поскольку становятся реально возможными только при наличии этой технологии. Например, крупно-размерные полноцветные наружные СД вывески стали реальностью только в середине 90-х годов по мере того, как СД высокой яркости стали воз-

можными во всех трех основных цветах - красном, зеленом и синем. Такие вывески являются яркими и цветными и могут легко принимать полномерное видеоизображение. Использование СД высокой яркости в автомобильных лампах стоп-сигналов получило распространение в США, Европе и Японии. Так, в 2000 году ими были оборудованы уже 32% всех легковых автомобилей и легких грузовиков по всему миру. Начиная с 1997 года, на значительной части европейских автомобилей начали использовать голубые, зеленые, белые и желтые СД высокой яркости для освещения приборных досок, и сегодня более половины сделанных в Европе автомобилей (например, *Audi*, *BMW* и *Mercedes*) оборудованы ими.

Светодиодные транспортные сигналы высокой яркости испытали значительный рыночный взлет в середине 90-х годов. Использование более дорогих СД для замены ЛН в транспортных сигналах основаны на их высокой надежности, а также на том, что СД потребляют электроэнергии на 80% меньше, чем ЛН с фильтрами.

За два последних года использование СД высокой яркости для подсветки жидкокристаллических дисплеев внесло существенный вклад в развитие их рынка. Простое цветное подсвечивание монохромных дисплеев и белое подсвечивание полноцветных дисплеев распространяются в Азии, их использование проникает в Европу и Северную Америку. Однако наиболее капиталоемким остается рынок внутреннего и наружного освещения, где СД и СДУ уверенно вытесняют ЛН и ЛЛ.

### Выводы

1. Обзор литературных источников показывает, что ежегодный выпуск СД и СДУ в промышленно развитых странах в 2006-2007 гг. составлял 9-11 млрд.шт./год. Ежегодный объем капиталовложений составил 30-50%. В 2004 г. и последующие годы объем выпуска «белых» СД и СДУ составил 50%, сине-зеленых - 29%, а красно-желтых - 15%.

2. Получение СД с большой отдачей стало возможным за счет создания новых прямозонных полупроводников *GaAlInP*, излучающих в красной и желтой области спектра со светоотдачей 20 лм/Вт.

3. Нитрид галлия и твердые растворы на его основе, позволяют получить СД, излучающие в зеленой и голубой области спектра с весьма высокой эффективностью.

4. Разработаны белые СД, в которых используют смешение синего цвета гетероперехода и желто-зеленого фотолуминофора на основе алюмогранатов иттрия и гадолиния, активированных  $Cl$  и  $P_2$ .

5. Прогноз показывает, что когда эффективность белых СД достигнет 100-150 лм/Вт, они станут реальной альтернативой ЛН и ЛЛ, займут доминирующее положение на рынке источников освещения.

6. На настоящий момент сравнение СД с ЛН и ЛЛ по базовым характе-

ристикам позволяет считать их лидерами за счет низкой стоимости эксплуатации, длительного жизненного цикла, высокой силы света, отсутствия ИК и УФ излучения и экологической безопасности.

### Литература

1. Берг, Дин. Светодиоды. М., Мир.1972. 450 с.
2. Мешков С.П. Основы светотехники. М. Техническая литература.1960.Т.1,2. 230с.
3. Коган Л.М. Современное состояние полупроводниковых излучающих диодов // Электронные компоненты. — 2000. — №2. — с.22-27.
4. Ермаков О.Н., Сушков В.П. Полупроводниковые знаковосинтезирующие индикаторы. М. Радио и связь. — 1990. — 321 с.
5. Абрамов В.С., Щербаков Н.В. Светодиоды и лазеры. №1-2. 2002. С.25-30
6. Абрамов В.С., Маняхин Ф.И., Рыжиков В.И., Щербаков В.Н. Радиационная деградация светодиодов на основе  $(Al_xGa_{1-x})InP$ . Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах.// Сб. докладов МЭИ. — 2004 — С. 151-159.
7. Рыжиков И.В., Селезнев Д.В., Щербаков В.Н. Влияние нейтронного и гамма облучения на электрические характеристики и силу света  $(Al_xGa_{1-x})InP$  гетероструктур с красным и желтым свечением // Технологии приборостроения — № 4 (16) — С.11-22.
8. Рыжиков В.И. Методы контроля радиационной деградации и оценки радиационной стойкости светодиодов на основе нитрида галлия. В сб. Моделирование и исследование сложных систем. М.: МГАПИ. 2004. Т.1. С. 3-7.
9. Yunovich A.E., Kudryasov V.E., Turkin A.N., Spectra and quantum emitting diodes based on GaN-heterostructures with quantum wells. Physika Status Solidi. Vol. 176 N1. P. 125.
10. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. М. Мир. 1981.
11. LumiLeds. Preliminary. Applikation Note POI /Lumileds custom Luxeon. 2002.№1-2,p.1-20
12. Graford M.G.. Visible light-emitting diodes: past, present and very bright future // MRS bulletin. 2000. N 1. P.27-31.
13. Agilent Technologies / Projected Long term HTOL light Output degradation of precision optikal performance AlInGaP LeDs. — 2004. — P.1-2.
14. Lumileds custom luxeon power light source design. Copiright c 2000 Lumileds Lighting Publiction. 2001.P.1-20.
15. Long term regiability data for AlInGaP technjlogy T-1 / LED lamps / Application brief. I-021. 2001. P. 1-9.
16. Волков В., Закгейм А., Иткинсон Г. Мощные полупроводниковые источники излучения. Электроника. Наука, технология, бизнес. 1999. №3, с. 16-31.

*Антипенко Р.В., Руденко Н.М., Силакова Т.Т. Еволюція світлодіодів – від "холодного світла" Лосева до освітлення вулиць (частина II). В огляді розглянута історія розвитку напівпровідникових світлодіодів, проведено аналіз стану сучасного ринку світлодіодів, нових матеріалів та технологій, світових тенденцій та перспектив.*

**Ключові слова:** світлодіоди, напівпровідники, світловипромінюючі пристрої

*Антипенко Р.В., Руденко Н.Н., Силакова Т. Эволюция светодиодов – от "холодного света" Лосева до освещения улиц (часть II). В обзоре рассмотрена история развития полупроводниковых светодиодов, проведен анализ состояния современного рынка светодиодов, новых материалов и технологий, тенденций и перспектив.*

**Ключевые слова:** светодиоды, полупроводники, светоизлучающие устройства

*Antipenko R.V., Rudenko N.M., Silakova T. Evolution of a lumileds – from "cool light" Loseva to lighting of streets (part II). In review are considered history development of semiconductor lumileds, done analysis up-to-date market lumileds, a new material and technology, are showed world tendencies and perspectives.*

**Key words:** lumileds, semiconductors, light-radiation devices