

ОГЛЯДИ

УДК 621.3.049.771

**ЭВОЛЮЦИЯ СВЕТОДИОДОВ – ОТ "ХОЛОДНОГО СВЕТА"
ЛОСЕВА ДО ОСВЕЩЕНИЯ УЛИЦ (Часть I)***Антипенко Р.В., Руденко Н.Н., Силакова Т.Т.*

Разработанные в 70-80-х гг. прошлого столетия светодиоды (СД), цифро-знаковые индикаторы, элементы шкал и экранов на основе бинарных соединений и твердых растворов A^3B^5 нашли широкое применение в устройствах индикации, 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 милликандел, тогда как в обычных светотехнических устройствах этот параметр должен составлять тысячи и десятки тысяч кандел. Комплексные исследования по влиянию проникающей радиации (нейтронов, протонов, электронов и гамма квантов) проводились в ограниченном масштабе.

В 90-х гг. за рубежом, в основном в Японии и США, были созданы эффективные полупроводниковые источники излучения второго поколения на основе $AlInGaP$, способные заменить лампы накаливания (ЛН) и люминесцентные лампы (ЛЛ) в светотехнических приборах большого радиуса действия, таких, как шоссежные и железнодорожные светофоры, бакены и маяки, бортовые сигнальные и осветительные огни, дополнительные сигналы торможения, дорожные знаки, информационные табло, лампочки для шахтеров и т.д. Если в СД первого поколения лишь гетероструктуры на основе $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$, излучающие в красной области спектра, обладали высоким внешним квантовым выходом (5-8%) при светоотдаче до 5 лм/Вт, то у СД на основе твердых растворов алюминия индия галлия фосфора, излучающих в красной и желтой области спектра, квантовая эффективность составила 12-18%. У лабораторных образцов внешняя эффективность достигала 65%.

В 1989 г. Ш. Накамура из фирмы *Nichia* начал исследование пленок нитридов галлия и так сумел подобрать легирование (*Mg* или *Zn*) и термоэлектронную обработку, что смог получить эффективную инжекцию гетеро перехода в активную $Ga_{1-x}In_xN$ область, легированную цинком. Спектральные максимумы голубых и зеленых СД лежали около 460 и 520 нм. В 1993 г. фирма *Nichia* начала выпуск синих СД.

Дальнейшее использование «синих» СД и желтого люминофора позволило создать источник белого света по светоотдаче превосходящий ЛН. Разработаны мощные СД (ток до 350 мА), способные заменить ЛН, ЛЛ и другие источники освещения при напряжении питания не более 5 В и существенной экономии электроэнергии.

В настоящее время данное направление оптоэлектроники бурно развивается. Начиная с 2000 г. ежегодный прирост капиталовложений в эту область составил 58% и к 2006 г. достиг 3 млрд. долларов США. В 2007 г. объем выпуска "сверхярких" мощных СД достигнет 12 млрд. шт. Число патентов превышает 1000 наименований в год. По оценкам специалистов внедрение СД в светотехнику сейчас происходит быстрее, чем в свое время внедрение транзисторов в радиоэлектронику. Сложившееся положение называют промышленной революцией в оптоэлектронике и светотехнике.

Начиная с 2004 г. 50% общего объема выпуска составляют белые СД. По рейтингу они являются лидерами среди альтернативных источников освещения: ламп накаливания и люминесцентных ламп.

В настоящее время мощные СД и светоизлучающие устройства (СДУ) белого цвета являются наиболее быстро развивающимися направлениями оптоэлектроники и светотехники. По эффективности они превзошли ЛН и вплотную подошли к уровню ЛЛ по основному параметру - светоотдаче (60 лм/Вт). Вследствие малой потребляемой энергии, большого срока службы, превышающего 100000 ч., высокой эффективности преобразования электрической энергии в излучение, отсутствия ИК и УФ подсветки, экологической безопасности они прочно занимают первое место в рейтинге источников освещения. $(0,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-16} \text{ см}^2$

Впервые холодный свет точечного контакта с карборундом наблюдал в 1927 году О. Лосев в Нижегородской радиотехнической лаборатории, впоследствии этот эффект был идентифицирован как инжекционная люминесценция *p-n*-перехода [1]. Первые СД появились в 1962 г. (Н. Холоньяк «General Electric», США), а первые серийные СД появились в 1967-68 гг. на основе твердых растворов A^3B^5 (Monsanto и Hewlett-Packard) и на карбиде кремния в НИИ 311 [2]. Световой поток составлял всего 0,001 лм, цвет - красный и желтый [1]. К 1976 г. были получены оранжевые, желтые и желто-зеленые СД, яркие настолько, что их можно было разглядеть при солнечном свете. До 1985 г. они использовались исключительно в качестве индикаторов, со световым потоком всего лишь 0,1 лм. С 1985 г. их световой поток увеличился на 1-100 лм, и они стали применяться в качестве отдельных световых элементов, таких, например, как лампы в автомобиле [3].

Конец 20-го века ознаменовался революционными изменениями в технологии освещения. Светодиоды прочно заняли свое место в секторе монохромного освещения, найдя применение в автомобильных фарах, световых приборах, дорожных знаках, вывесках и указателях. Последние достижения базовой полупроводниковой технологии позволят СД в скором времени составить серьезную конкуренцию существующим источникам белого света. Вдобавок к долговечности и низкому энергопотреблению, они обладают целым рядом преимуществ перед существующими на сегодняшний день и широко используемыми источниками света. Небольшие размеры

делают спектр их применения необычайно широким. Несколько светодиодов, объединенных в один корпус, способны заменить обычную лампу накаливания. Как источники света для наружного и декоративного освещения, они обладают рядом уникальных достоинств, среди которых точная направленность света, возможность управления цветом и интенсивностью излучения. Все это позволяет предположить, что наступившее третье тысячелетие станут по праву называть эрой светодиодной техники.

Получение СД все большей световой эффективности стало возможным за счет поиска и использования новых материалов с большей светоотдачей и цветовым спектром. Первыми появились СД (*GaAlInP*) с цветами от красного до желто-зеленого и светоотдачей 20лм/Вт. В 1993 году японская корпорация *Nichia* объявила об открытии высокоэффективного материала голубого цвета - нитрида галлия (*GaN*) [4]. Это означало, что СД освоили практически весь видимый цветовой спектр. Это существенно расширяло области их применения и делало возможным создание белого света путем комбинирования красных, зеленых и голубых СД. Для того чтобы осуществить прорыв на рынок общего освещения, требующего от источников световой поток порядка 1000 лм и выше, необходимо добиться дополнительного увеличения световой эффективности зеленых и синих СД.

Строить прогноз роста эффективности белых СД сложно. Однако, т.к. в настоящее время эффективность зеленых и синих чипов составляет в среднем 30%, то это открывает определенные перспективы роста эффективности. Когда она достигнет уровня 100-150 лм/Вт, то они явятся реальной альтернативой ЛЛ. Такой оптимистический прогноз базируется на примере красных СД, чья эффективность еще в конце 80-х была лишь 5 лм/Вт, а сегодня – почти 75 лм/Вт.

На долю освещения приходится около 16% всей производимой в мире электроэнергии. Можно выделить 3 основных сектора потребителей электроэнергии для освещения - промышленный, коммерческий (общественный) и жилой. Потребности каждого из секторов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Потребление электроэнергии на освещение

Сектор	Доля освещения в потребляемой электроэнергии, %	Ежегодное увеличение потребления электроэнергии на освещение, %
Промышленный	6,3	0,9
Коммерческий	28,6	0,1
Жилой	11,4	1,5

Увеличение световой эффективности существующих ресурсов освещения позволит производить необходимое количество света, уменьшая при этом потребность в электроэнергии. Каковы тенденции рынка освещения сегодня? Из приведённого ниже графика, видно, что они имеют стойкую тенденцию к дальнейшему развитию.

Характерно, что низкоэффективные ЛН затрачивают электричество для нагревания вольфрамовой нити. Люминесцентные лампы, хотя и эффективнее ЛН почти в 6 раз, используются в освещении жилых помещений не так широко, как ЛН по причине неадекватной восприимчивости света человеческим глазом и дороговизны. Галогенные лампы могут составить конкуренцию ЛН, но, тем не менее, массовое их использование ограничено рядом причин, в том числе высокой ценой. Что касается СД, максимальная эффективность которых еще не достигнута, потенциально они могут претендовать на значительную долю рынка освещения в течение следующих 5-10 лет (см. рис.1)

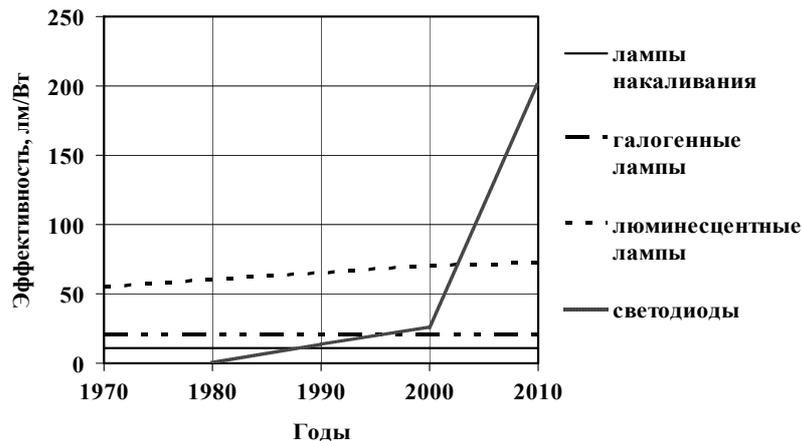


Рис. 1. Сравнение эффективности развития различных видов освещения

Однако, использование различных по эффективности источников света неоднородно в зависимости от групп потребителей. Коммерческий и промышленный секторы используют большее количество высокоэффективных источников освещения, нежели жилой.

Например, в количестве света, потребляемом коммерческим сектором, доля ламп накаливания составляет 5,2%, люминесцентных - 79,8% и высоко интенсивных (HID) - 15,1%. Суммарно, доля высокоэффективных источников составляет 94,8% потребляемого коммерческим сектором освещения. Для сравнения, жилой сектор гораздо больше света получает от низкоэффективных ламп накаливания, а доля люминесцентного и других высокоэффективных источников света составляет всего 13%.

(Продолжение следует)

Литература

1. Берг Д. Светодиоды. М., Мир. — 1972. — 450 с.
2. Мешков С.П. Основы светотехники. М.Техническая литература.1960.Т.1,2. 230 с.
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 де-

градация светодиодов на основе $(Al_xGa_{1-x})InP$. Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах. М. МЭИ. с. 151-159.

7. Рыжиков И.В., Селезнев Д.В., Щербаков В.Н. Исследование влияния нейтронного и гамма облучения на электрические характеристики и силу света гетероструктур с красным и желтым цветом свечения. // Технологии приборостроения. № 4, с. 11-22.

8. Рыжиков В.И. Методы контроля радиационной деградации и оценка радиационной стойкости светодиодов на основе нитрида галлия. 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. *Physic Status Solid.* V. 176. N1. P. 125.

10. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах. М. Мир. 1981.

11. Lumileds. Application Note POI. Lumileds custom Luxeon. 2002. № 1-2. P.1-20

12. M. George Graford. 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 optical performance $AllnGaP$ LeDs. 2004. P.1-2.

14. Lumileds custom luxeon power light source design. Copyright c 2000 Lumileds Lighting Publication. 2001. P.1-20.

15. Long term reliability data for $AllnGaP$ technology 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" Лосєва до освітлення вулиць (частина I). 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 I). 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 I). 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, lighting devices