

Министерство образования и науки Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

В.С. Солдаткин

**НАДЁЖНОСТЬ СВЕТОДИОДОВ И
СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

Учебное пособие

Томск 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»
(ТУСУР)

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий каф. РЭТЭМ
_____ В.И. Туев
« ____ » _____ 2017 г.

НАДЁЖНОСТЬ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ
Учебное пособие

Разработал:

Доцент каф. РЭТЭМ
_____ В.С. Солдаткин

Томск 2017

Солдаткин В.С. Надежность светодиодов и светотехнических устройств: Учебное пособие – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2017. – 39с.

Настоящие учебное пособие составлено с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) для магистров, обучающихся по направлению подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» содержит описание основных разделов лекционного курса дисциплины «Надежность светодиодов и светотехнических устройств» и направлено на формирования у студентов следующих компетенций:

ОПК-1 – способностью понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения;

ОПК-5 – готовностью оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы;

ПК-4 – способностью планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать основные механизмы деградации светодиодов и светотехнических устройств; методики исследования надёжности светодиодов и светотехнических устройств; основами разработки программы и методик испытаний, оформления анализа и защиты результатов испытаний.

Уметь проводить испытания, анализировать результаты испытаний светодиодов и светотехнических устройств; разрабатывать и оформлять программу и методик испытаний и результаты испытаний светодиодов и светотехнических устройств.

Владеть навыками проведения испытаний, анализа результатов испытаний светодиодов и светотехнических устройств; навыками разработки и оформления программы и методик испытаний и результатов испытаний светодиодов и светотехнических устройств.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Механизмы деградации светодиодов и светотехнических устройств.....	4
1.1 Физико-химические процесс деградации светодиодов.....	4
1.2 Деградация омических контактов.....	5
1.3 Деградация люминофорной композиции.....	6
2. Прогнозирование срока службы светодиодов и светодиодных излучающих элементов расчётным методом.....	7
2.1 Отечественные и зарубежные стандарты по прогнозированию срока службы светодиодов и светотехнических устройств.....	7
2.2 Определение энергии активации отказов светодиодов.....	9
2.3 Надёжность устройств питания светодиодов.....	11
3. Рекомендации к составлению программ и методик испытаний светодиодных излучающих элементов и разработке технических условий.....	12
3.1 Основы составления программы и методик испытаний.....	12
3.2 Методики измерения светотехнических, колориметрических и электрических характеристик светодиодов и светотехнических устройств..	17
3.2.1 Методики измерения электрических характеристик светодиодов и светотехнических устройств.....	20
3.2.2 Методики измерения светотехнических характеристик светодиодов и светотехнических устройств.....	21
3.2.3 Методики измерения колориметрических характеристик светодиодов и светотехнических устройств.....	23
3.3 Требования к испытательному и измерительному оборудованию.....	24
Список литературы.....	28

1. МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

1.1 Физико-химические процесс деградации светодиодов

Известно, что в современных нитридных кристаллах плотность дислокаций достигает 10^8 см^{-2} , но влияние дислокаций в системе дефектов неоднозначно, дислокации и их скопления могут быть электрически заряженными и за счёт кулоновских сил притягивать и отталкивать свободные носители заряда [1].

Известны также основные механизмы деградации светодиодов:

1. Деградация светодиодов связана с изменением сопротивления p -контактной области структуры полупроводника в связи с процессами диффузии и межфазными химическими реакциями [2].

Диффузия металлов омических контактов в слои проводника связана с перегревом контакта. Перегрев омических контактов происходит из-за эффекта стягивания тока при больших электрических нагрузках на светодиод. При перегреве атомы металлов омических контактов по дислокациям в структуре полупроводника проникают в активную область и приводят к шунтированию, короткому замыканию светодиода.

2. Механические напряжения в структуре светодиода [3].

Механические напряжения в полупроводнике вызываются смещение положения атомов кристаллической решетки, и может привести к смещению длины волны излучения и снижению срока службы, аналогично механическое повреждение может привести к трещинам и скола и разрушению светодиодного кристалла. Механические напряжения и микротрещины могут возникнуть по ряду факторов: нарушение технологического процесса изготовления полупроводниковой структуры, повышенной температурой эксплуатации, механическим воздействием на кристалл при присоединении проволоки к омическому контакту.

3. Перераспределение профиля водорода в структуре полупроводника

[4].

4. Образование вакансий азота вследствие разрыва связей Ga-N в активной области кристалла СД [5, 6].

5. Миграция индия и магния в активной области полупроводника светодиода [7, 8].

6. Эффект стягивания тока под омическими контактами «Current crowding» кристалла светодиода [9].

7. Распад активатора люминофора (Ce) при температурах выше 120°C в светодиодах.

1.2 Деградация омических контактов

Деградация омических контактов светодиодного кристалла преимущественно связана с эффектом стягивания тока под омическими контактами. Как известно из законов физики, электрический ток течёт по наименьшему сопротивлению. При протекании электрического тока через светодиодный кристалл максимально задействуется участок объёма между омическими контактами, вследствие чего происходит локальный перегрев данной области, что ускоряет деградацию светодиодного кристалла. Для снижения данного эффекта используют на поверхности кристалла ITO покрытие для растекания тока, а так же ряд разработчиков работают над эффективной конфигурацией омических контактов.

Для снижения влияния эффекта стягивания тока производители применяют достаточно сложную топологию омических контактов (рис. 1).

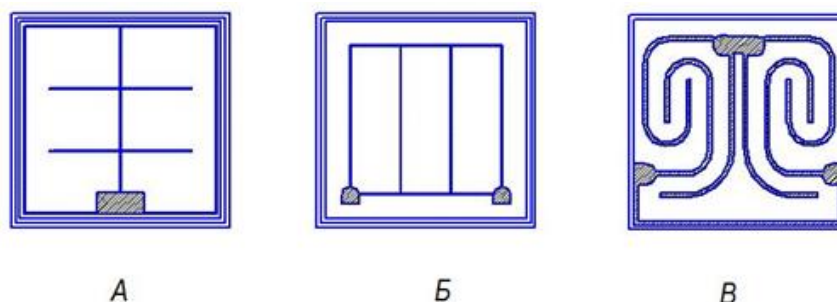


Рисунок 1. Типы топологии омических контактов кристаллов:

А – SemiLEDs, Б – Cree, Г – Epistar

1.3 Деградация люминофорной композиции

Как правило, квантовый выход из композиции люминофора и связующего компонента, в котором он растворён, выше в твёрдых растворах, чем в жидких, так как с повышением вязкости уменьшается вероятность безызлучательных процессов возбуждения через внутреннюю конверсию. Но в твёрдых растворах возможен эффект поляризации так как частицы люминофора «зажаты» между упорядоченными молекулами растворителя.

Для люминофора характерно температурное тушение и концентрационное.

У люминофоров YGG (YAG) ширина запрещенной зоны достигает более 3.8эВ, а основа люминофора имеет показатель преломления $1,50 \leq n_{fl} \leq 1,85$. Люминофоры, удовлетворяющие таким условиям, предпочтительно использовать для изготовления СД белого свечения.

Деградация люминофорной композиции может происходить по следующим причинам:

1. Высокая температура окружающей среды – Распад активатора люминофора (Ce) при температурах выше 120° С в светодиодах.
2. Внутренний нагрев за счёт излучения кристаллов и собственного излучения и поглощения.

Так же при высоких температурах происходит разрушение связующего компаунда.

2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ СВЕТОДИОДОВ И СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСЧЁТНЫМ МЕТОДОМ

2.1 Отечественные и зарубежные стандарты по прогнозированию срока службы светодиодов и светотехнических устройств

Важной отличительной особенностью СД от других источников света является его срок службы, производители гарантируют 80 тыс. часов и более. Зарубежные производители СД фирмы Cree, Philips Lumileds, Nichia, Osram применяют для определения срока службы светодиодов стандарт LM-80. В процессе испытания партии СД строят зависимость светового потока от времени испытаний.

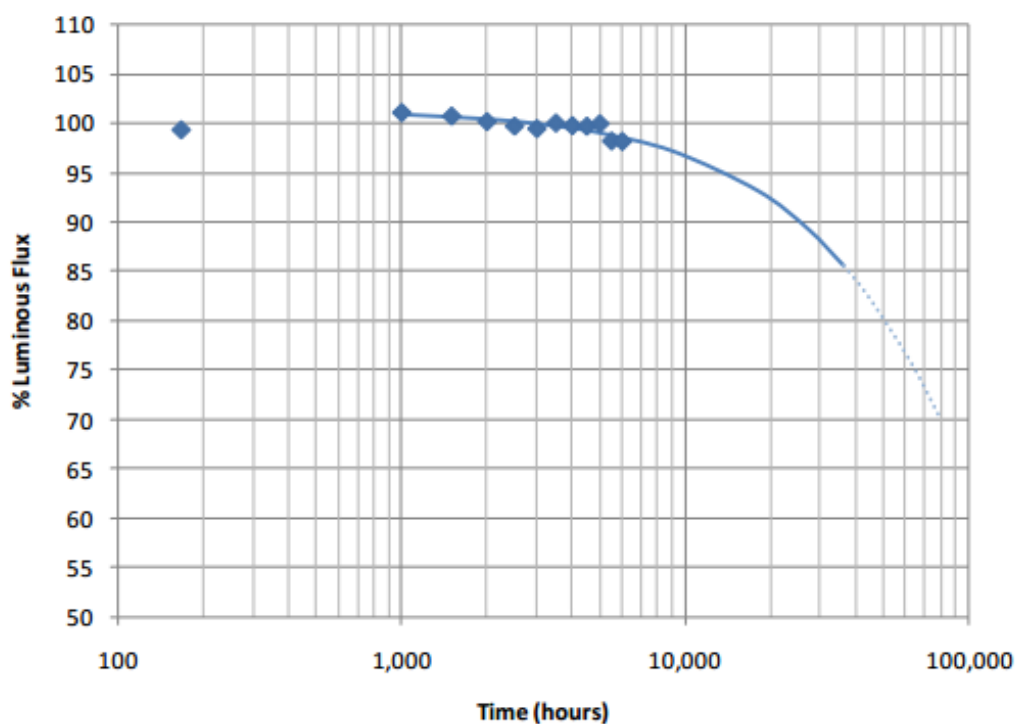


Рисунок 2. Прогнозируемый срок службы СД и результаты испытаний

На срок службы СД влияет ряд факторов, как эксплуатационных, так и технологических. К эксплуатационным факторам можно отнести режимы эксплуатации светодиода: электрические, климатические и воздействие на СД

специальных факторов и сред. К технологическим относятся: технология выращивания эпитаксиальной структуры, материал подложки, методы и материалы омических контактов, метод монтажа кристалла в корпус (посадки на клей или пайка), метод монтажа электрических соединений (воздействием давления и температурой или ультразвуком), метод герметизации СД. При этом наиболее уязвимым технологическим фактором является технология монтажа электрических соединений.

В отечественной промышленности для определения срока службы полупроводниковых приборов используют стандарт ОСТ11-336.938-83, данный стандарт описывает методику проведения ускоренных испытаний, методику выбора режимов и методику определения энергии активации отказов. Согласно методике, ускоренные испытания для определения срока службы светодиодов предусматривают форсирование, приводящее к интенсификации физико-химических процессов деградации СД без изменения основных механизмов отказов.

Коэффициент ускорения определяется энергией активации отказов (E_a).

$$K_y = \exp(E_a / k) \times (1 / (Q_{pn} + 273) - (1 / (Q_{pny} + 273)), \quad (1)$$

где K_y – коэффициент форсирования ускоренных испытаний; E_a – энергия активации отказов, эВ; k – постоянная Больцмана; Q_{pn} – температура р-п перехода в нормальных условиях эксплуатации (в рабочем режиме), °С; Q_{pny} – температура р-п перехода в ускоренном режиме испытаний, °С.

Номинальное время наработки $t_{ном}$ (срок службы СД) определяют по уравнению, задав коэффициент форсирования K_y исходя из режимов ускоренных испытаний:

$$t_{ном} = t_y \times K_y \quad (2)$$

где t_y – время испытаний в ускоренном режиме. Значение времени наработки в ускоренном режиме не должно быть меньше 1000 часов.

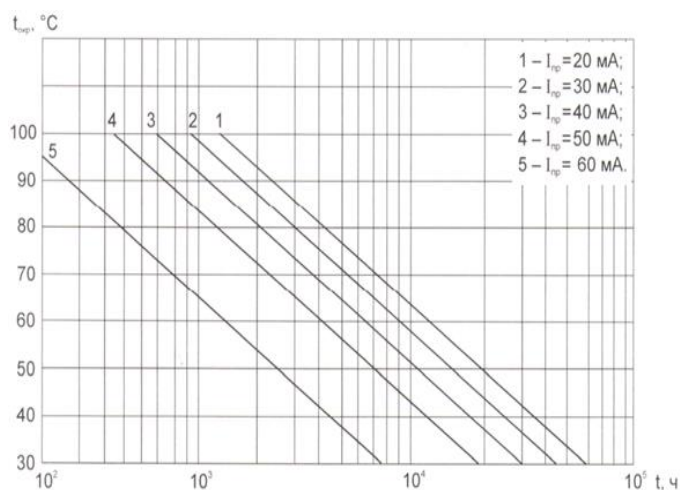


Рисунок 3. Расчётная зависимость срока службы светодиода от температуры активной области кристалла

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 20 июля 2011 г. N 602 г. Москва «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения» светодиодные источники света должны обеспечивать продолжительность горения не менее 25000 часов.

2.2 Определение энергии активации отказов светодиодов

Для оценки срока службы светодиодов в Российской Федерации принято использовать ОСТ11-336.938-83 «Приборы полупроводниковые. Методы ускоренных испытаний на безотказность и долговечность». Но так как в табличных данных стандарта значение энергии активации деградации не указано, необходимо проводить исследовательские испытания по определению этого значения. Рассмотрим способ определения энергии активации отказов на примере индикаторных светодиодов. Для этого проводятся ступенчатые испытания. Из партии выбраны по 20 шт. две группы светодиодов. Измерены значения прямого напряжения и значения максимальной силы света на экспериментальных образцах светодиодов. Последовательно проведены ступенчатые испытания с ежесуточным повышением термо-электрической нагрузки до момента появления отказов.

Испытана первая группа из 20 светодиодов, затем на том же оборудовании и при тех же режимах вторая группа светодиодов. По результатам проведённых испытаний построен график зависимости времени наработки до отказа от температуры испытаний.

Таблица 1. Результаты ступенчатых испытаний образцов светодиодов

Количество образцов, шт	Режимы испытаний	Температура р-п перехода в Q(C), T(K)	Время наработки на отказ t (час)	Функция режима испытаний $10^3/T$	Функция времени испытаний $\ln t$	Количество отказов, шт.
1	2	3	4	5	6	7
20	$I_{пр}=55\text{mA};$ $U_{пр}=3,2\text{В};$ $T_{окр}=85^{\circ}\text{C}$	$111,4^{\circ}\text{C};$	24	2,6014	3,178	4
20	$I_{пр}=30\text{mA}$ $U_{пр}=3,2\text{В}$ $T_{окр}=52^{\circ}\text{C}$	$66,417^{\circ}\text{C};$	500	2,9462	6,214	1

Из таблицы 1 видно, что в процессе испытаний зафиксированы 5 отказов образцов светодиодов. 4 отказа при испытаниях в одинаковых режимах наработки через 24 часа и один после наработки в течение 500 часов.

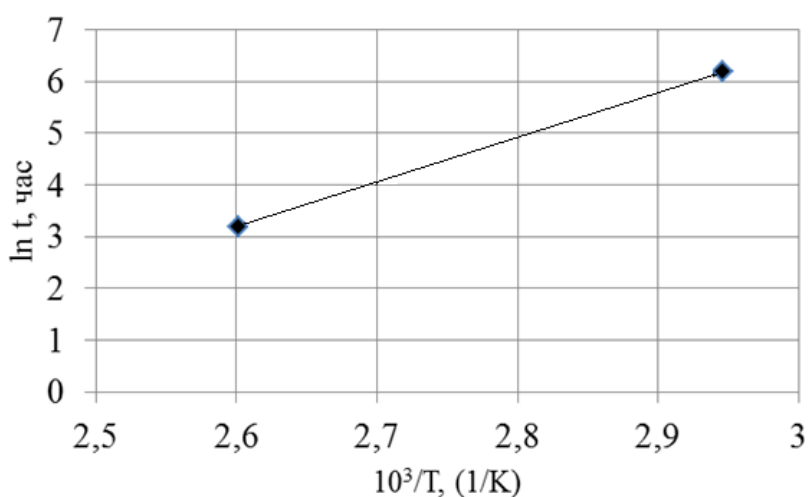


Рисунок 4. График зависимости времени наработки до отказа от температуры испытаний

По результатам ступенчатых испытаний светодиодов, приведённых в таблице 1, построен график рис. 2.

Энергия активации отказов определяется из данных таблицы 1 и рис. 2:

$$E_a = 8,62 \times 10^{-2} \times ((\ln t_a - \ln t_b) / ((10^3 / T_A) - (10^3 / T_b)), \quad (3)$$

$$E_a = 8,62 \times 10^{-2} \times ((6,2 - 3,2) / (2,9462 - 2,6014)), \quad (4)$$

отсюда $E_a = 0.75$ эВ – энергия активации отказов для индикаторных светодиодов.

2.3 Надёжность устройств питания светодиодов

Светодиодная лампа со встроенным устройством управления (драйвером) для напряжения питания от сети 220 В должна быть испытана при циклическом изменении температуры и при переключении питающего напряжения:

Испытание при циклическом изменении температуры
выдерживать светодиодную лампу без подачи напряжения при температуре минус 10 °С в течение одного часа. Затем аналогично выдержать в камере тепла при температуре 40 °С в течение часа. Повторить пять раз.

Испытание и при переключении питающего напряжения.

Включить лампу при рабочем напряжении на 30 секунд, затем выключить на 30 секунд, затем опять включить. Число переключений соответствует половине номинального срока службы лампы в часах (пример: 10000 циклов при нормируемом сроке службы 20000 ч).

После проведения испытаний лампа должна работать и оставаться светящейся в течение 15 минут.

После этих испытаний лампа должна работать при рабочем напряжении и температуре окружающей среды 45 °С до 25% нормируемого срока службы лампы (с максимумом 6000 ч). После испытаний лампу выдержать при комнатной температуре и включить, она должна оставаться светящейся в течение 15 минут.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ К СОСТАВЛЕНИЮ ПРОГРАММ И

МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАЗРАБОТКЕ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

3.1 Основы составления программы и методик испытаний

Программа и методики испытаний содержат основные разделы:

Титульный лист.

Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте.

1. Общие положения.

2. Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний.

3. Требования безопасности.

4. Программа испытаний.

5. Режимы испытаний.

6. Методы испытаний.

7. Отчётность.

Приложения:

Приложение ПМ. А – Перечень ссылочных документов.

Приложение ПМ. Б – Перечень средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения испытаний.

Приложение ПМ. В – Типовая форма протокола испытаний.

Иногда добавляют типовые формы акта изготовления образцов и акта испытаний.

Испытания на климатические и механические факторы светодиодов и светотехнических устройств проводятся по следующим критериям.

По степени защиты от воздействия окружающей среды ГОСТ 14254

Таблица 2. Элементы кода IP и их обозначения:

Элемент	Обозначение	Значение для защиты оборудования	Значение для защиты людей
Первая характеристическая цифра		От проникновения внешних твердых предметов:	От доступа к опасным частям:
	0	нет защиты	нет защиты
	1	диаметром ≥ 50 мм	тыльной стороной руки
	2	диаметром $\geq 12,5$ мм	пальцем
	3	диаметром $\geq 2,5$ мм	инструментом
	4	диаметром ≥ 1 мм	проволокой
	5	пылезащищенное	проволокой
	6	пыленепроницаемое	проволокой
Вторая характеристическая цифра		От вредного воздействия в результате проникновения воды:	-
	0	нет защиты	-
	1	вертикальное каплепадение	-
	2	каплепадение (номинальный угол 15°)	-
	3	дождевание	-
	4	сплошное обрызгивание	-
	5	действие струи	-
	6	сильное действие струй	-
	7	временное непродолжительное погружение	-
	8	длительное погружение	-

Распространенные примеры кода IP:

IP21 - Защита от прикосновения рукой (пальцем) со способностью выдерживать вертикальные брызги воды (технически это обычный распределительный шкаф, например навесного исполнения); IP44 - Защита от прикосновения инструментом/проволокой более 1мм со способностью выдерживать брызги воды со всех направлений (технически это можно

представить как уличный выключатель); IP65 - полная защита от попадания пыли со стойкостью к направленному воздействию струей воды (Фара автомобиля, уличный бокс для узла учета).

По климатическому исполнению и категории размещения ГОСТ 15150:
Светильники, предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озёрах:

Для макроклиматического района с умеренным климатом (У), (0)

Для макроклиматического района с умеренным и холодным климатом (УХЛ) (1).

Для макроклиматического района с влажным тропическим климатом (ТВ), (2).

Для макроклиматического района с сухим и тропическим климатом (ТС), (3).

Для макроклиматического районов как с сухим, так и с влажным тропическим климатом (Т), (4).

Для макроклиматического района как с умеренным, так и с тропическим климатом (УТ), (0).

Для всех макроклиматического района на суше, кроме климатического района с антарктическим холодным климатом (общее климатическое исполнение) (О), (5).

В зависимости от места размещения:

Для эксплуатации на открытом воздухе (1).

Для эксплуатации под навесом или в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе (отсутствие прямого воздействия солнечных лучей и атмосферных осадков)(2).

Для эксплуатации в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственного регулируемых климатических условий, где воздействие колебаний температуры и влажности воздуха и воздействия песка, пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе (отсутствие воздействия

атмосферных осадков, прямого солнечного излучения, существенное уменьшение ветра, существенное уменьшение или отсутствие рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги) (3).

Для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями (4).

Для эксплуатации в помещениях с повышенной влажностью (5).

Значения температуры окружающего воздуха:

У, ТУ, 1, 1.1, 2, 2.1, 3: +40, -45 – рабочее значение, +45, -50 – предельное значение;

ХЛ 1, 1.1, 2, 2.1, 3: +40, -60 – рабочее значение, +45, -70 – предельное значение;

УХЛ 1, 1.1, 2, 2.1, 3: +40, -60 – рабочее значение, +45, -70 – предельное значение;

УХЛ 4: +35, +1 – рабочее значение, +40, +1 – предельное значение;

УХЛ 4: +25, +10 – рабочее значение, +40, +1 – предельное значение; (для эксплуатации в лабораторных, капитальных жилых и других подобного типа помещениях).

Испытание на вибропрочность проводят методом 103-1.6 ГОСТ 20.57.406. Установку и крепление светодиодов при испытаниях на вибропрочность производят с помощью кассеты. Кассета со светодиодами жестко крепится на платформе вибрационного стенда. Допускается для проведения испытания светодиоды распаивать на печатную плату, которая затем жестко крепится к стенду.

Направления воздействия ускорения – перпендикулярно основанию светодиода. Контрольная точка для проверки режима испытаний – в центре платформы стенда или на приспособлении, установленном на стенде.

Испытания проводят без электрической нагрузки.

Параметры воздействия:

- степень жесткости – XI;

- частота вибрации – 2 000 Гц;

- амплитуда ускорения – 20 g;
- продолжительность воздействия – 3 ч 18 мин.

После окончания воздействия проводят визуальный осмотр светодиодов. Светодиоды включают и производят проверку светимости и контроль постоянного прямого напряжения Упр.

Испытание на воздействие ударов одиночного действия проводят методом 106-1 ГОСТ 20.57.406.

Параметры воздействия:

- пиковое ударное ускорение – 1 500 (150) м/с² (g);
- длительность действия ударного ускорения – (0,10±0,05) мс;
- форма импульса ударного ускорения – полусинусоидальная.

Направления воздействия ускорения – перпендикулярно основанию светодиода.

После окончания воздействия проводят визуальный осмотр светодиодов. Светодиоды включают и производят проверку светимости и контроль постоянного прямого напряжения Упр.

3.2 Методики измерения светотехнических, колориметрических и электрических характеристик светодиодов и светотехнических устройств

Основные энергетические и световые величины

В таблице 5 и 6 приведены характеристики, значения которых характеризуют СД.

Таблица 3. Энергетические величины

Наименование	Символ	Единица измерения		
		Россия	Система СИ	Квантовый аналог
Поток излучения	Φ_e	Вт	W	N_{ph}/s (кол-во фотонов в секунду)
Энергия излучения	Q_e	Дж	J	N_{ph} (кол-во фотонов)
Энергетическая сила излучения (сила излучения)	I_e	Вт/ср	W/sr	$N_{ph}/sr \cdot s$ (кол-во фотонов в телесном угле 1ср в секунду)
Поверхностная плотность потока излучения	M_e	Вт/м ²	W/m^2	$N_{ph}/m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов излучаемых с 1м ² в секунду)
Энергетическая освещенность (облученность)	E_e	Вт/м ²	W/m^2	$N_{ph}/m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов на 1м ² в секунду)
Энергетическая яркость	L_e	Вт/ср*м ²	$W/sr \cdot m^2$	$N_{ph}/sr \cdot m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов в телесном угле в 1ср на 1м ² в секунду)

Мощность излучения или *поток излучения* это величина энергии, переносимой полем в единицу времени через известную площадь

$$\Phi_e (P_e) = dQ_e/dt \quad (5)$$

где Φ_e – поток излучения (Вт), P_e – мощность излучения (Вт);

Q_e – энергия излучения (Дж);

t – время (с).

Сила излучения – поток излучения, приходящийся на единицу телесного угла в котором он распространяется.

$$I_e = \Phi_e/\Omega \quad (6)$$

где I_e – сила излучения (Вт/ср);

Φ_e – поток излучения (Вт);

Ω - телесный угол (ср).

Телесный угол расположен в конусе с вершиной в центре сферы (место расположения источника излучения) и равен отношению площади, вырезанной в сфере этим конусом к квадрату радиуса сферы, измеряется в стерadianах.

$$\Omega = S/r^2 \quad (7)$$

где Ω – телесный угол (ср),

S – площадь основания конуса ограниченного сферой в которой распространяется излучение,

r – радиус сферы в которой распространяется излучение.

Поверхностная плотность потока излучения – поток излучения, проходящий через единицу поверхности по всевозможным направлениям в пределах полусферического телесного угла.

Если площадка освещается потоком, то поверхностная плотность потока энергии будет иметь смысл энергетической освещенности или облученности:

$$E_e = d\Phi_e/dS \quad (8)$$

где E_e – энергетической освещенности или облученности (Вт/м²);

Φ_e – поток излучения (Вт);

S – единица площади (м²).

Если поток излучается площадкой, то поверхностная плотность потока энергии будет иметь смысл энергетической светимости:

$$E_e = d\Phi_e/dS \quad (9)$$

где M_e – энергетической освещенности или облученности (Вт/м²);

Φ_e – поток излучения (Вт);

S – площадь поверхности источника (м²).

Энергетическая яркость – величина потока, излучаемого единицей площади в единицу телесного угла в данном направлении:

$$L_e = d^2\Phi_e/d\Omega dS \cos\theta \quad (10)$$

где L_e – энергетическая яркость (Вт/ср·м²);

Φ_e – поток излучения (Вт);

S – площадь поверхности источника (m^2);

Θ – угол между направлением излучения и нормалью к площадке.

Свет – электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом (380 – 780) нм.

Переход от энергетических величин к световым осуществляется по формуле (26):

$$\Phi(\text{Лм}) = 683(\text{Лм/Вт}) \times K \times P(\text{Вт}) \quad (11)$$

где, K – уровень спектральной световой чувствительности для данной длины волны излучения

Таблица 4. Фотопическая функция человеческого глаза

λ , нм	K	λ , нм	K	λ , нм	K	λ , нм	K
380	0,00004	480	0,139	580	0,870	690	0,0082
390	0,00012	490	0,208	590	0,757	700	0,0041
400	0,00040	500	0,323	600	0,631	710	0,0021
410	0,0012	510	0,503	610	0,503	720	0,00105
420	0,0040	520	0,710	620	0,381	730	0,00052
430	0,0116	530	0,862	630	0,265	740	0,00025
440	0,023	540	0,954	640	0,175	750	0,00012
450	0,038	550	0,995	650	0,107	760	0,00006
460	0,060	555	1,0000	660	0,061	770	0,00003
470	0,091	560	0,995	670	0,032		
		570	0,952	680	0,017		

Световые величины являются аналогами энергетических с учётом фотопической функции человеческого глаза.

Таблица 5. Световые величины

Наименование	Символ	Единица измерения	
		Россия	Система СИ
Световой поток	Φ_v	лм	lm
Световая энергия	Q_v	лм*с	$lm*s$
Сила света	I_v	лм/ср =кд	$lm/sr=cd$
Поверхностная плотность светового потока	M_v	лм/м ²	lm/m^2
Освещенность	E_v	лк	$lm/m^2 = lx$
Яркость	L_v	лм/ср*м ² = кд/м ² = нит	$lm/sr*m^2 = cd/m^2 = nit$

3.2.1 Методы измерения электрических характеристик

Методика основана на, где погрешность измерений не должна выходить за пределы $\pm 5\%$ с доверительной вероятностью $P^*=0,99$. На поверенном оборудовании проводятся измерения. В качестве оборудования используется источник питания со стабилизацией по току, амперметр, который включается последовательно в цепь с измеряемым СД, и вольтметр, который включается в цепь параллельно СД. При измерениях прямого тока и напряжения их значения должны иметь следующие порядки: для прямого тока измерения от 1 мА до 1000 мА, для напряжения от 1,000 В до 5,000 В. Измерения проводятся в условиях, соответствующих требованиям. Для обеспечения контактов светодиода и источника питания используются специальные держатели, т.к. корпус для поверхностного монтажа не имеет штыревых выводов и паять его в процессе неразрушающих исследований нельзя.

В случае, если на СД подаётся высокий прямой постоянный ток, используют держатели, обеспечивающие отвод тепла, или измерение напряжения проводят в импульсном режиме. В случае измерения значения напряжения СД при малых тока, где не требуется специальный отвод тепла, СД выдерживают при электрической нагрузке в течение пяти минут и лишь, затем записывают показание вольтметра.

3.2.2 Методы измерения световых характеристик

На рис. 5 приведена функциональная схема установки измерения силы света, состоящей из скорректированного фотоприёмного устройства, персонального компьютера (ПК) и угломера – гониометра с установленным на него СД.

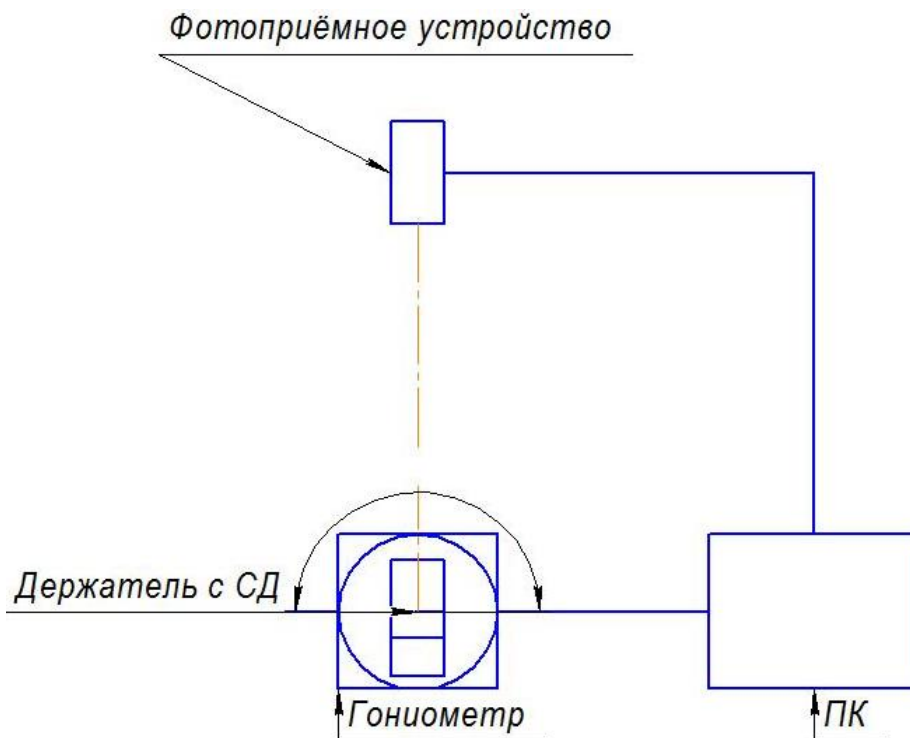


Рисунок 5. Функциональная схема установки для измерения зависимости значения силы света светодиода от угла излучения

Методика основана на, где принцип измерений основан на измерении светового потока, излучаемого СД в направлении его геометрической оси, фотоприёмным устройством, скорректированным под кривую относительной спектральной световой эффективности для дневного зрения по. Измерения проводят в условиях в соответствии с при окружающей температуре $(25\pm 5)^{\circ}\text{C}$.

Держатель с СД устанавливают на гониометр (угломер), выравнивая по геометрической оси к фотоприёмному устройству, на СД подают питание и записывают данные с фотоприёмного устройства. Поворачивая держатель с СД в гониометре определяют кривую распределения силы света, находят максимум силы света на кривой и угол излучения по уровню 0,5 от максимума силы света. Обработывают данные и записывают в виде таблицы или графика.

Сила света измеряется в канделах (кд), угол излучения в градусах. Аналогично, как и при измерении значения прямого напряжения, СД либо выдерживают при электрической нагрузке в течение пяти минут, либо используют специальные теплоотводящие держатели.

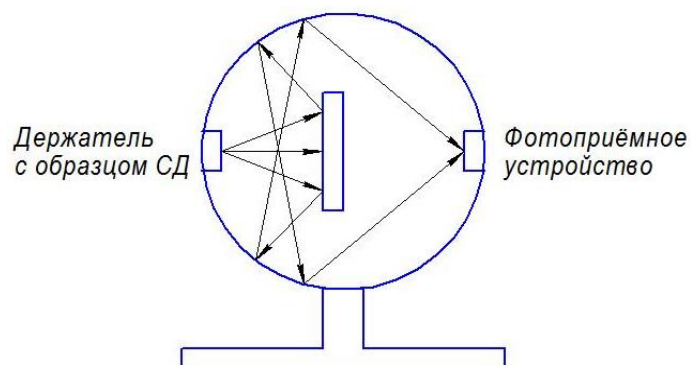


Рисунок 6. Схема фотометрического шара

Световой поток измеряют в фотометрическом шаре. В шар на край сферы помещают держатель с СД. С противоположной стороны установлен корригированный фотоприёмник, а между ними рассеивающий экран. Внутри сфера покрашена белой рассеивающей краской. На СД подают электропитание и записывают показания фотоприёмника, затем данные обрабатывают. Световой поток измеряется в люменах (лм), его можно рассчитать, зная значения силы света на кривой силы света.

Световая отдача определяется по формуле:

$$n = \Phi/P, \quad (5)$$

где n – значение световой отдачи, лм/Вт;

Φ – значение светового потока, лм;

P – значение потребляемой мощности, Вт.

3.2.3 Методы измерения колориметрических характеристик

В соответствии с проводится измерение спектра излучения СД.

Современное оборудование – спектроколориметр, состоит из фокусной линзы, через которую вводится излучение в прибор, дифракционной решётки и линейки фотодиодов, откалиброванных на разные длины волн. Как правило, семь фотодиодов откалиброваны на семь основных цветов. Из спектральной характеристики СД рассчитывают цветовые координаты и цветовую температуру в соответствии с требованиями Международной комиссии по освещению. Так же можно определить и индекс цветопередачи. Для определения индекса цветопередачи используют спектральные характеристики эталонных поверхностей и спектральную характеристику идеального (эталонного) источника света.

3.3 Требования к испытательному и измерительному оборудованию

Перечень средств испытаний приводится в Приложении Б ПМ.

Средства измерений, указанные в Приложении Б, могут быть заменены другими, обеспечивающими требуемую точность измерений.

Средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, должны быть поверены по ПР 50.2.006, а не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору – калиброваны по ПР 50.2.016 или поверены.

Испытательное оборудование должно быть аттестовано по ГОСТ Р 8.568.

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

температура окружающего воздуха, °С	20 ± 10,
относительная влажность воздуха, %	от 45 до 80,
атмосферное давление, мм рт. ст.	от 630 до 800.

Испытательное и измерительное оборудование выбирается таким образом, чтобы его диапазон и точность измерений соответствовали требованиям ТЗ и обеспечивали проведение измерений и испытаний с необходимой точностью.

Основные понятия в метрологии

Градуировка – измерение значений S для ряда точек известных значений t , что позволяет построить градуировочную кривую.

Градуировка средств измерений (от лат. *gradus* — шаг, ступень, степень), метрологическая операция, при помощи которой средство измерений (меру или измерительный прибор) снабжают шкалой или градуировочной таблицей (кривой). Отметки шкалы должны с требуемой точностью соответствовать значениям измеряемой величины, а таблица (кривая) с требуемой точностью отражать связь эффекта на выходе прибора с

величиной, подводимой к входу (например, зависимость ЭДС термопары пирометра от температуры её рабочего спая).

На практике целесообразно использовать датчики, у которых существует линейная зависимость между малыми приращениями входной S и выходной m величиной.

$$S = s \times m \quad (1.2)$$

где s – чувствительность датчика.

Чувствительность – способность объекта реагировать определённым образом на определённое малое воздействие, а также количественная характеристика этой способности.

Важнейшей проблемой при проектировании датчика и использовании датчиков является обеспечение постоянства чувствительности датчика, которая должна как можно меньше зависеть от входной величины, частоты измерений, времени и воздействия других физических величин, характеризующих окружающие объекты.

Мера – средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Погрешность(Δ) – это разность между показаниями СИ и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины (Q) $\Delta = X - Q$

Случайная – неизбежна и неустранима

Систематическая – постоянная погрешность результата измерений

Погрешность является показателем точности.

Эталон – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее другим средствам измерений данной величины.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в РФ единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

Таблица 6. Классификация физических величин

Величины		
Реальные		Идеальные
Физические	Нефизические	Математические
Измеряемые		
Оцениваемые		

	Величины		
Энергетические (активные)	Вещественные (пассивные)	Характеризующие процессы	

Энергетические (активные) – т.е. величины, описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии.

Вещественные (пассивные) – описывающие физические и физико-химические свойства вещества, материалов и изделий из них.

Характеризующие протекание процессов во времени- различного вида спектральные характеристики, корреляционные функции и др.

Измерения бывают прямые и косвенные: прямые – искомое значение – непосредственно из опытных данных; косвенные – на основании зависимости между искомой и полученной при прямом измерении величинами.

Средства измерения бывают механические, пневматические, оптические, электрические.

Классы точности присваивают средствам измерений с учетом результатов государственных приемочных испытаний (I,II,III и т.д. или M,C и т.д.).

Примерный перечень и характеристики оборудования для проведения испытаний

Примерный перечень и характеристики оборудования для проведения испытаний представлены в таблице 6.

Таблица 6. Примерный перечень средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для проведения испытаний

Наименование, тип и марка	Кол-во	ГОСТ, ТУ или обозначение	Основные характеристики																								
Штангенциркуль	1	ГОСТ 166-89	Класс точности 2																								
Источник питания	1	Mastech DC Power supply NY6003E-3	Выход регулируется напряжение: 0 ~ 60V 2) Выход регулируется ток: 0 ~ 3А один выход, светодиодный дисплей. Технические характеристики: 1) Модель (выходное напряжение, выходной ток, дисплей) 2) Входное напряжение: 104 ~ 127V AC (60 Гц), 207 ~ 253В переменного тока (50 Гц). 3) пульсации и шум: CV≤0.5 mVrms. 4) Защита: текущее ограничен, или защита от короткого замыкания. 5) Тип выхода: один output. 6) Размеры: 291 × 158 × 136 мм.																								
Мультиметр	1	АРА-103N №21010403537	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Параметр</th> <th>Значения</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ</td> </tr> <tr> <td>Пределы измерений</td> <td>400 мВ; 4; 40; 400; 1000 В</td> </tr> <tr> <td>Погрешность</td> <td>± (0,25 % + 2 ед. сч.)</td> </tr> <tr> <td>Максимальное разрешение</td> <td>0,1 мВ</td> </tr> <tr> <td>Входное сопротивление</td> <td>10 МОм</td> </tr> <tr> <td>Защита входа</td> <td>1000 В</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ПОСТОЯННЫЙ ТОК</td> </tr> <tr> <td>Пределы измерений</td> <td>20; 200 мА; 2; 10 А</td> </tr> <tr> <td>Погрешность</td> <td>± (0,6 % + 2 ед. сч.)</td> </tr> <tr> <td>Максимальное разрешение</td> <td>10 мкА</td> </tr> <tr> <td>Защита входа</td> <td>Предохранитель 15 А/600 В (вход «А»); 1 А/600 В (вход «мА»)</td> </tr> </tbody> </table>	Параметр	Значения	ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ		Пределы измерений	400 мВ; 4; 40; 400; 1000 В	Погрешность	± (0,25 % + 2 ед. сч.)	Максимальное разрешение	0,1 мВ	Входное сопротивление	10 МОм	Защита входа	1000 В	ПОСТОЯННЫЙ ТОК		Пределы измерений	20; 200 мА; 2; 10 А	Погрешность	± (0,6 % + 2 ед. сч.)	Максимальное разрешение	10 мкА	Защита входа	Предохранитель 15 А/600 В (вход «А»); 1 А/600 В (вход «мА»)
			Параметр	Значения																							
			ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ																								
			Пределы измерений	400 мВ; 4; 40; 400; 1000 В																							
			Погрешность	± (0,25 % + 2 ед. сч.)																							
			Максимальное разрешение	0,1 мВ																							
			Входное сопротивление	10 МОм																							
			Защита входа	1000 В																							
			ПОСТОЯННЫЙ ТОК																								
			Пределы измерений	20; 200 мА; 2; 10 А																							
Погрешность	± (0,6 % + 2 ед. сч.)																										
Максимальное разрешение	10 мкА																										
Защита входа	Предохранитель 15 А/600 В (вход «А»); 1 А/600 В (вход «мА»)																										
Фотометрический шар	1	«ТКА-КК1»	Световой поток мкм 1 – 200000, погрешность измерений 10 %																								
Спектроколориметр	1	«ТКА – ВД»	Диапазоны измерения: освещенности, лк 10 - 20 000. Яркости, кд/м2 10 - 20 000. Цветовой температуры, К 1600 - 16 000. Координат цветности x = 0,004 - 0,734; y = 0,005-0,834; u' = 0,007-0,623; v' = 0,005-0,595.																								
Камера тепла	1	Электропечь «SNOL»	(50-350) °C ±3°C																								

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуберт Ф. Светодиоды / пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 496 с.
2. Nakamura S., Fasol G. The Blue Laser Diod (Springer, Berlin). – 1997. – С. 335.
3. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках / пер с англ. Ж. Панков; под ред. Ж.И. Алфёрова и В.С. Вавилова – М.: Мир, 1973. – 456 с.
4. Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
5. Берг А., Дин П. Светодиоды // Пер с англ. А. Э. Юнович. – М.: Мир, 1979. –687 с.
6. Социн Н.П. Новые люминофоры для эффективных приборов твердотельного освещения. Круглый стол производство светодиодов в россии – дорожная карта. Материалы доклада. Москва 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nprpss.ru/sobytiya/vystavki-i-konferencii/kruglyj-stol-proizvodstvo-svetodiodov-v-rossii-dorozhnaya-karta.html>, свободный (дата обращения: 08.04.2013).
7. Шмидт Н.М., Аверкиев Н.С., Бауман Д.А., Закгейм А.Л., Левинштейн М.Е., Петров П.В., Черняков А.Е., Шабунина Е.И. Причины неоднозначного развития деградационного процесса в синих InGaN/GaN светодиодах // 8-я Всероссийская конференция «Нитриды галлия, индия и алюминия – структуры и приборы» . – 2011. – С. 109-110.
8. ОСТ11-336.938-83 Приборы полупроводниковые. Методы ускоренных испытаний на безотказность и долговечность. – 1983.
9. РД II 0216-85. Приборы полупроводниковые. Методы испытаний по определению конструкторско-технологического запаса.
10. Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 20 июля 2011 г. N 602 г. Москва «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях

переменного тока в целях освещения».

11. Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р.

12. ГОСТ 27299-87 Приборы полупроводниковые оптоэлектронные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.

13. ГОСТ 7601-78 Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин.

14. Крутик М.И., Майоров В.П. Люмены, канделы, ватты и фотоны. Различные единицы - различные результаты измерения чувствительности телевизионных камер на основе ЭОП и ПЗС // Специальная техника. – 2002. – №5.

15. ГОСТ 18986.3-73 Приборы полупроводниковые. Метод измерения постоянного прямого напряжения и постоянного прямого тока. – 1973. – 3 стр.

16. ПР 50.2.006 Правила по метрологии. Порядок проведения поверки СИ. – 1994. – 10 стр.

17. ГОСТ 20.57.406 – 81 Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – 1981. – 132 стр.

18. ГОСТ 25024.4-85 Индикаторы знаков синтезирующие. Методы измерения яркости, силы света, неравномерности яркости и неравномерности силы света. – 1985. – 33 стр.

19. ГОСТ 8.332 - 78 Государственная система обеспечения единства измерений. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. – 1978. – 8 стр.

20. ГОСТ 20.57.406 – 81 Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний. – 1981. – 132 стр.

21. ГОСТ 19834.3-76. Излучатели полупроводниковые. Метод измерения распределения энергии излучения и ширины спектра излучения. –

1976. – 7 стр.

22. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова и др.; под. ред. Л.П. Варфоломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 288 стр.

23. Мешков В.В. Основы светотехники, ч.1 – М.: Энергия, 1979.

24. Мешков В.В., Матвеев А.Б, Основы светотехники, Ч-2. – М.: Энергоатомиздат, 1989

25. В.Е. Бугров, К.А. Виноградова. Оптоэлектроника светодиодов. Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174 с.

26. Солдаткин В.С. Модернизация и исследование характеристик светодиода белого свечения для поверхностного монтажа. Автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.11.07 / гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники (ТУСУР) РАН. Томск, 2013

27. Полупроводниковая светотехника: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 211000.62 – Конструирование и технология электронных средств / Туев В.И., Солдаткин В.С., Вилисов А.А. – 2015. 46 с.