

Радиация — еще не конец света

Требования к светодиодным светильникам в условиях радиации

Светотехнические изделия применяются в самых различных объектах ядерной техники. Небольшие ядерные установки широко используются в качестве двигателей атомных подводных лодок и т. д., а также в качестве исследовательских установок. Усложнение условий эксплуатации таких объектов при одновременном росте требований к их качеству, надежности и увеличению количества выполняемых функций привели к тому, что одной из первоочередных проблем стала разработка осветительных приборов, устойчивых к воздействию проникающей радиации.

Для изготовления светотехнических изделий используются самые разнообразные материалы. Характер и степень воздействия всевозможных излучений на эти материалы и, следовательно, продукцию на их основе зависят от множества физико-технологических факторов, которые, естественно, следует учитывать. Рассмотрим, как решается такая проблема на примере светодиодного светильника, показанного на рис. 1. Его основными компонентами являются:

- корпус, выполняющий роль радиатора;
- источник питания;
- светодиодный модуль;
- вторичная оптика (линза);
- торцевые пластины;
- установочный элемент (скоба).

В данной статье рассмотрена работа осветительного прибора, установленного в том помещении исследовательской лаборатории, где функционирует небольшая ядерная установка. Он используется при следующих условиях:

- влажность воздуха составляет 40–60%;
- отсутствуют механические воздействия;
- температура окружающей среды находится в диапазоне 1–45 °С.
- наличие ионизирующего излучения.

Тяжелые частицы (альфа- и бета-излучение) накапливаются на поверхности материалов и не способны существенно изменить характеристики осветительного прибора, поскольку отличаются очень малой проникающей способностью. Легкие частицы (гамма-, нейтронное,

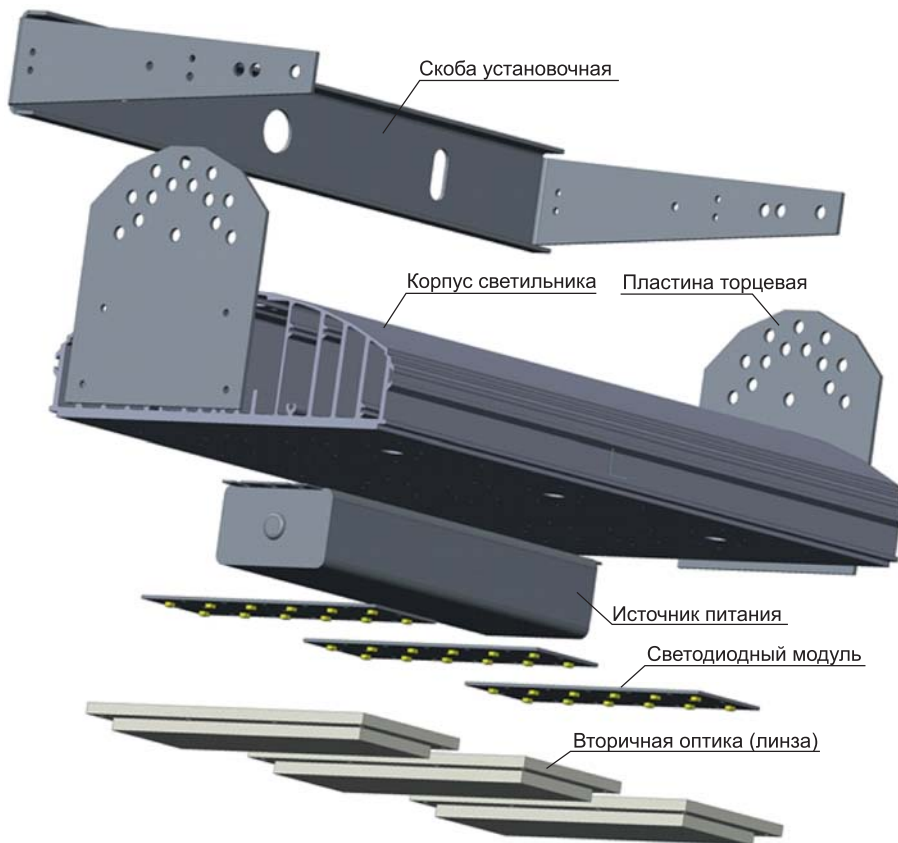


Рис. 1. Светодиодный светильник VARTON Olymp

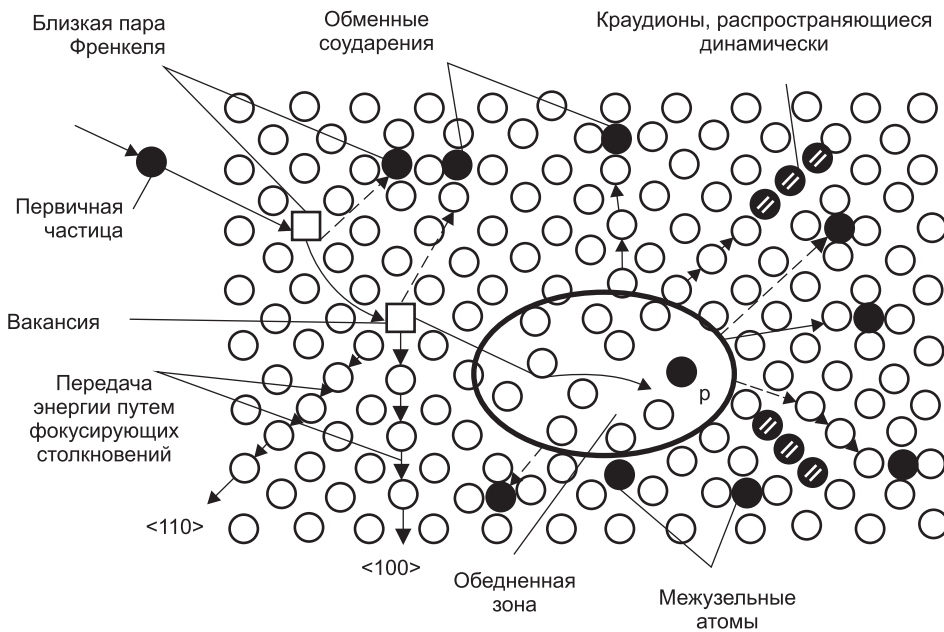


Рис. 2. Модель радиационных повреждений, возникающих при соударении нейтронов с атомами кристаллической решетки

электронное, протонное излучение) обладают высокой проникающей способностью и оказывают влияние на кристаллическую решетку материалов, что приводит к изменению их физико-технологических свойств. Действие ионизирующих излучений на материалы и изделия можно подразделить на импульсное (быстрое) и непрерывное (продолжительное).

Светильник, работающий в таких условиях, должен удовлетворять следующим требованиям:

- у него не должно быть зазоров и несплошностей, а также он должен иметь максимально обтекаемую форму, что предотвращало бы попадание и накопление радиоактивной пыли;
- соответствовать установленной степени защиты оболочки IP65, поскольку при

работе с радиоактивными веществами необходимо проводить влажную уборку помещения с использованием растворов, содержащих щелочь;

- за два часа до начала работы следует очистить помещение до допустимого радиационного уровня; с учетом этого для изготовления корпуса светильника был выбран алюминиевый сплав, поскольку алюминий имеет значительно большую пропускную способность к ионизирующим излучениям, чем сталь, а значит, и меньшую способность к накоплению радиоактивных частиц;
- с точки зрения светотехники нужно отдать предпочтение помещению с нормальными условиями среды: с косинусной кривой силы света (КСС) и с уровнем освещения на рабочей поверхности, равным 500 лк.

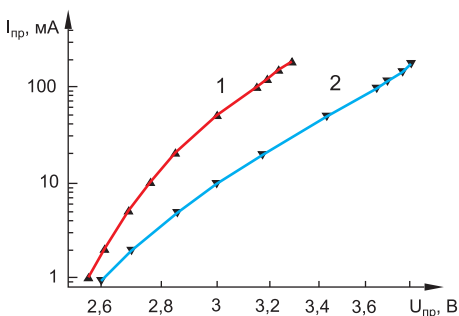


Рис. 3. Типичная прямая ветвь ВАХ исследуемых диодов до облучения (кривая 1 — $\lambda = 530$ нм; кривая 2 — $\lambda = 460$ нм)

Взаимодействие излучений с материалами

Для того чтобы понять, подходит ли осветительный прибор с точки зрения радиационной стойкости для освещения выбранного помещения, необходимо разобраться, каким образом влияет радиоактивное излучение на компоненты светильника. Тяжелые частицы могут быть задержаны даже листом бумаги, и потому они не приводят к структурным разрушениям материалов, в отличие от легких частиц [1].

Нейтроны

Быстрые нейтроны при взаимодействии с веществом образуют структурные радиационные дефекты (например, так называемая пара Френкеля) в основном в результате упругого взаимодействия с ядрами атомов вещества (рис. 2). Хотя нейтрон и обладает магнитным моментом и его взаимодействие с электронами не исключено, сечение такого взаимодействия мало, и потому оно практически не влияет на поведение нейтрона внутри вещества, в отличие от его упругого взаимодействия с ядром. При таком взаимодействии быстрый нейтрон передает ядру атома часть своей кинетической энергии, зависящей от угла упругого соударения, в результате чего ядро увлекает с собой электронную оболочку атома.

Протоны

При взаимодействии с веществом протоны теряют свою кинетическую энергию вследствие упругого рассеяния на атомах и ядрах вещества и неупругого взаимодействия с ядрами и электронными оболочками атомов.

Электроны

При взаимодействии с веществом энергия электронов расходуется главным образом на неупругое рассеяние на атомах, что вызывает их ионизацию. Наряду с этим определяющим процессом, имеет место вероятность упругого рассеяния, связанного с кулоновским взаимодействием электрона с ядром атома. Этот процесс может приводить к смещению атомов в междоузлия.

Гамма-кванты

При прохождении гамма-квантов через вещество наряду с определяющим процессом ионизации материала может происходить смещение атомов при упругих столкновениях с атомами вещества [1].

В светильнике светодиоды и источник питания являются компонентами, от которых напрямую зависят электрические и светотехнические параметры осветительного прибора.

Воздействие радиоактивного излучения на светодиоды

На рис. 3 приведена ВАХ диодов до облучения, данные представлены для светодиодов на основе InGaN/GaN синего ($\lambda = 460$ нм) и зеленого ($\lambda = 530$ нм) цвета.

На рис. 4 показана зависимость светового потока от рабочего тока для исходных светодиодов до облучения.

В результате исследований установлено, что скорость уменьшения светового потока диодов при облучении быстрыми нейтронами зависит от величины рабочего тока, при котором измеряется световой поток (рис. 5).

Пассивный режим работы светодиодов — это режим без приложения внешнего электрического поля. В таком случае сначала на светодиоды подается рабочий ток и измеряются характеристики. Затем ток отключается (пассивный режим), и на светодиоды воздействуют определенными дозами облучения. Потом опять подается рабочий ток и производятся измерения.

Стоит отметить, что, независимо от режима питания диодов при облучении, степень деградации светового потока прямо пропорциональна дозе облучения и обратно пропорциональна величине рабочего тока, при которой измеряется световой поток [2, 3].

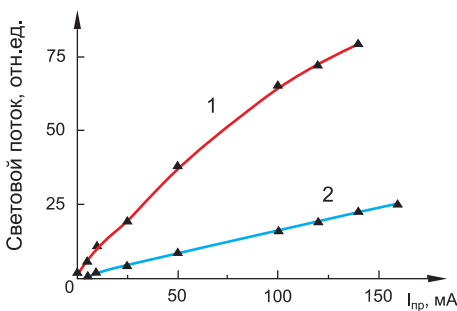


Рис. 4. Типичная ЛюмАХ исследуемых диодов до облучения (кривая 1 — $\lambda = 530$ нм; кривая 2 — $\lambda = 460$ нм)

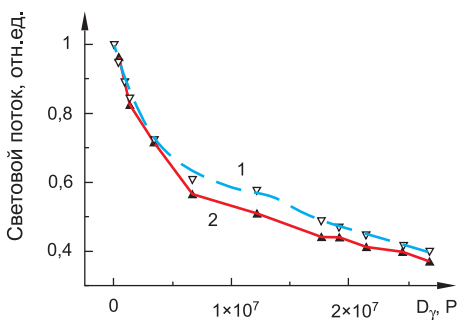


Рис. 5. Изменение светового потока синих диодов при облучении гамма-квантами в пассивном режиме (кривая 1 — $I_{пр} = 100$ мА; кривая 2 — $I_{пр} = 10$ мА)

На рис. 6 показано изменение светового потока исследуемых диодов при облучении гамма-квантами в пассивном режиме питания.

На рис. 7 приведены зависимости светового потока исследуемых диодов от величины дозы облучения, как для пассивного, так и для активного режима питания во время облучения.

Деградация светового потока исследуемых диодов при облучении объясняется введением двух характерных центров безызлучательной рекомбинации [3]:

- первый связан с радиационной перестройкой имеющейся дефектной структуры;
- второй имеет чисто радиационное происхождение.

При облучении дозами до 3×10^7 Р вольтамперные характеристики светодиодов остаются неизменными, что свидетельствует о неизменности электро-физических ха-

рактеристик активных слоев излучающих кристаллов светодиодов при облучении.

Таким образом, при разработке светильников для зон с радиоактивным воздействием необходимо учесть деградацию светового потока светодиодов, связанную с величиной дозы излучения, а также зависимость деградации светового потока от рабочего тока светодиодов.

Воздействие радиации на источник питания

У источника питания наиболее чувствительными к радиационным воздействиям являются его активные компоненты — микропроцессоры, микроконтроллеры, программируемые логические интегральные схемы, преобразователи, усилители, что обусловлено накоплением поглощенной дозы радиации [5]. Пассивные же компоненты, наоборот, считаются относительно радиационно-стойкими.

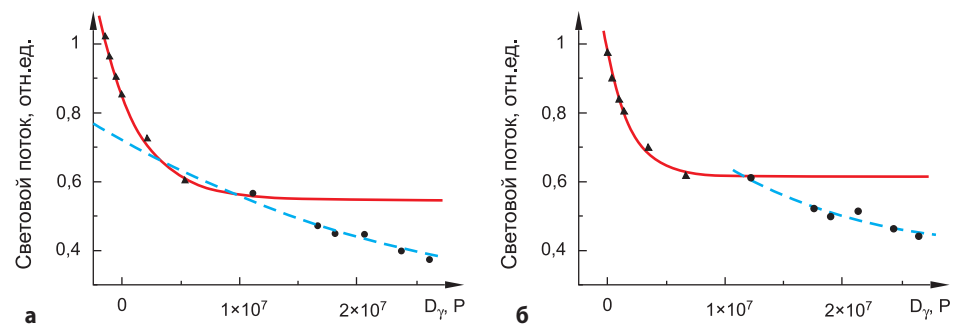


Рис. 6. Изменение светового потока при облучении гамма-квантами в пассивном режиме питания: а) $\lambda = 460$ нм; б) $\lambda = 530$ нм (кривая 1 — уменьшение светового потока за счет первого центра безызлучательной рекомбинации; кривая 2 — уменьшение светового потока за счет второго центра безызлучательной рекомбинации)

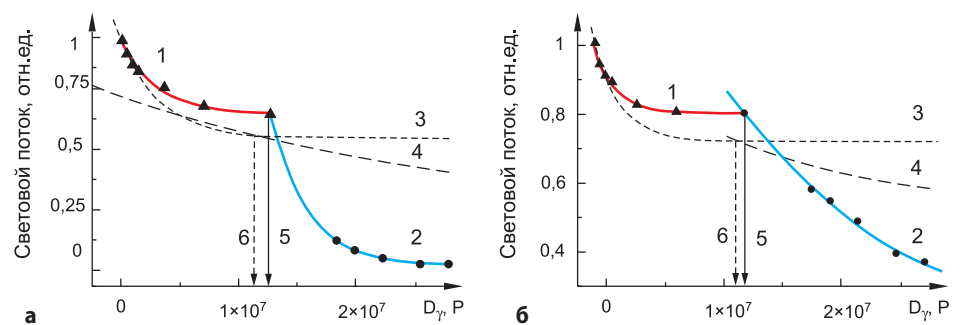


Рис. 7. Изменение светового потока при облучении гамма-квантами в пассивном режиме питания: а) $\lambda = 460$ нм; б) $\lambda = 530$ нм (кривые 1, 3 — уменьшение светового потока за счет первого центра безызлучательной рекомбинации; кривые 2, 4 — уменьшение светового потока за счет второго центра безызлучательной рекомбинации; кривые 1, 2, 5 — активный режим питания при облучении; кривые 3, 4, 6 — пассивный режим питания при облучении; кривые 5, 6 — доза облучения, начиная с которой в явном виде проявляется второй центр безызлучательной рекомбинации)

Самым же чувствительным к радиационному воздействию является источник питания, от которого непосредственно зависит срок службы светильника. Эту особенность следует учитывать при разработке светильника для зон с радиоактивным излучением. Например, можно сделать драйвер легко заменяемым, что позволит ремонтировать светильник при отказе без демонтажа. Также, если понадобится, несложно будет вынести источник питания из зоны радиоактивного воздействия.

Кроме того, есть специальные источники питания, в которых использованы компоненты, стойкие к радиационному воздействию, что, в свою очередь, повысит надежность осветительного прибора, однако увеличит его стоимость. Важно учитывать при проведении светотехнического расчета, что при воздействии радиации происходит деградация светового пото-

ка. Следовательно, необходимо выбрать светильник с более высоким световым потоком, чтобы освещение отвечало всем требованиям и нормам. ●

Литература

1. Кулаков В. М., Ладьгин Е. А., Шаховцов В. И. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники. — М.: Советское радио. 1980.
2. Градобоев А. В., Рубанов П. В. Деградация светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs при облучении электронами // Известия высших учебных заведений. 2011. № 1/2.
3. Градобоев А. В., Рубанов П. В., Скакова И. М. Деградация светодиодов на основе гетероструктур InGaN/GaN при облучении гамма-квантами // Известия высших учебных заведений. 2011. № 1/2.
4. Леготин С. А., Зайцев С. Н., Мурашев В. Н., Рыжиков И. В. Исследование характеристик AlInGaP-светодиодов красного цвета свечения, облученных нейтронами и гамма-квантами // Современные проблемы науки и образования. 2013. №5.
5. Таперо К. И., Улимов В. Н., Членов А. М. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения.
6. Градобоев А. В., Орлова К. Н., Асанов И. А. Исследование деградации мощности излучения гетероструктур AlGaInP красного и желтого цвета свечения при облучении гамма-квантами. // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал / Российская академия наук (РАН), Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова (ИРЭ). 2013. № 4.