

## 1. Введение

В вашем доме все еще обычные лампы накаливания или люминесцентные энергосберегающие лампочки? Мы расскажем вам, почему за светодиодами (или LED-лампами) будущее!

Светодиоды излучают не только уникальный по своим характеристикам свет, но и завидный оптимизм по поводу своего места на рынке светотехники. По-английски светодиод называется light emitting diode, или LED. Особенно активно экспансия LED разворачивается в области интерьерного оформления и светодизайна.

Интерес к светодиодам растет быстрее, чем территория их применения в светотехнике. Производители и потребители, продавцы и покупатели — все как будто замерли на старте, боясь отстать от других. И только дизайнеры уже всю пользуются уникальными возможностями светодиодов. Давно прошло то время, когда светодиоды были интересны одним лишь ученым. Теперь светодиодная тема у всех на слуху. Говорят, за ними будущее!

**Цель работы:** проанализировать преимущества светодиодного освещения и показать на практике применение светодиодов.

### **Задачи:**

1. Изучить информацию о светодиодах;
2. Проанализировать их достоинства и недостатки;
3. Ознакомиться с ассортиментом светодиодов в магазинах города Арсеньева;
4. Изготовить из светодиодов фонарик, ночник и USB – светильник.

**Проблема:** изделия из светодиодов - выгодно, но дорого!

**Гипотеза:** изделия из светодиодов купить нельзя сделать самим?!

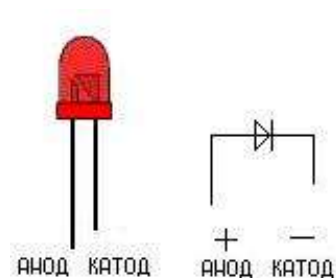
## 2.Основная часть работы

Каждый вечер город освещают сотни тысяч огней, если бы не уличные фонари, витрины магазинов, фасады домов, светофоры и даже автомобильные фары, город немедленно погрузился бы во мрак. Какие искусственные источники света мы знаем? Начнём со свечи, она известна человечеству со времён средневековья, источник света пламя. Лампа накаливания была изобретена в 19 веке и излучала свет благодаря вольфрамовой нити, примерно в это же время придумали первую люминесцентную лампу, свет внутри являлся благодаря газу. В 21 веке источником света стало твёрдое тело - кристалл, помещённый внутри крошечного светодиода. На заводе РОСНАНО светящийся кристалл выращивают искусственно с помощью nano технологий. Весь процесс происходит в так называемой «чистой комнате», она настолько чистая, что даже вместо воздуха здесь особые газы. Толщина каждого слоя полупроводника настолько мала, что обыкновенная пылинка может полностью его разрушить. Растят светоизлучающие элементы на круглых сапфировых пластинах. Пластина помещается в камеру, куда подаются газы, содержащие полупроводник. Под воздействием температуры они разлагаются на составляющие. Атомы полупроводника оседают на сапфировой пластине, и на ней вырастает слой толщиной в несколько nano метров. Он настолько тонок, что на сапфировой подложке почти незаметен. Затем, с помощью трафарета на кристалл напыляют контакты, и разрезают его на чипы, фрагменты толщиной в человеческий волос. После этого чипы, то есть кусочки кристаллов вставляют в металл керамический корпус. К сожалению, чипы, сделанные с помощью nano технологий, такие маленькие, что даже камера не может их рассмотреть. Всё что мы видим, это оболочка будущего светодиода. Его корпус выполняет ту же функцию, что стекло для лампы накаливания. После того как чип соединят с корпусом с помощью золотых пластин и контактов, нанокристалл начинает излучать мощный синий цвет. Чтобы изменить спектр излучения и сделать цвет белым, похожим на дневной, на кристалл наносят каплю люминофора. Если вы думаете что крошечный светодиод не слишком мощный источник света, вы глубоко заблуждаетесь, яркость светодиодов не меньше чем у обычных ламп, зато энергии они потребляют в 10 раз меньше и светят в 10 раз дольше. Следующий этап, который предстоит пройти светодиодам на заводе РОСНАНО, это сортировка, оказывается нанокристаллы внутри светодиодов неодинаковые, ведь растят их почти как живые организмы. В итоге каждый кристалл внутри светодиода немного отличается от собрата мощностью излучения, формой и температурой света. Робот сортировщик за 0,4 секунды определяет характеристики диода и сортирует их по 250 категориям. Каждая категория в своей колбе, затем на заводе РОСНАНО диоды упаковывают в ленту. Вакуумный захватчик ловко подцепляет крохотные диоды и аккуратно вставляет их в отверстия на ленте. В итоге сотни современных

источников света умещаются на компактной катушке. С помощью диодов помещённых на этой ленте, можно осветить огромную территорию. Чтобы диоды излучали свет их необходимо разместить на плате. Этот процесс на заводе РОСНАНО тоже полностью автоматизирован. Плату из гитенакса помещают в автоматы, которые самостоятельно наносят на её поверхность паяльную пасту на основе олова, затем манипулятор размещает на плате светодиоды. Рука манипулятора движется со скоростью 400 м/с. И за 1 час наносит на пластины 100 тысяч элементов. Спустя несколько минут автомат выдаёт готовые платы с прочно припаянными к плате светодиодами. Теперь их осталось проверить, для этого сотрудники завода надевают браслет и перчатки, которые снимают электростатическое напряжение. Это необходимо для того чтобы не повредить светодиоды. Их свет настолько мощный, что работоспособность светодиодных плат приходится проверять сквозь плотное тёмное стекло. Вот они, технологии 21 века. Теперь готовые светодиоды, созданные при помощи нанотехнологий можно помещать куда угодно: в офисную лампу, карманный фонарик, или промышленный прожектор. Огни, что мы видим на улицах, витринах, фонарях и светофорах тоже горят с помощью крошечных кристаллов, помещённых в светодиоды. Кстати благодаря им город экономит тысячи киловатт электричества.

Светодиод-это полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток непосредственно в световое излучение. Так как светодиод является полупроводниковым прибором, то при включении в цепь необходимо соблюдать полярность. Светодиод имеет два вывода, один из которых катод ("минус"), а другой - анод ("плюс").

Светодиод состоит из полупроводникового кристалла на подложке, корпуса с контактными выводами и оптической системы. Принцип работы светодиода заключается в следующем: свечение возникает при рекомбинации электронов и дырок в области р-n-перехода. Значит, прежде всего нужен р-n-переход, то есть контакт двух полупроводников с разными типами проводимости. Для этого приконтактные слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными, по другую — донорскими.



Но не всякий р-n-переход излучает свет. Почему? Во-первых, ширина запрещенной зоны в активной области светодиода должна быть близка к энергии квантов света видимого диапазона. Во-вторых, вероятность излучения при рекомбинации электронно-дырочных пар должна быть высокой, для чего полупроводниковый кристалл должен содержать мало дефектов, из-за которых рекомбинация происходит без излучения. Эти условия в той или иной степени противоречат друг другу.

Реально, чтобы соблюсти оба условия, одного р-п-перехода в кристалле оказывается недостаточно, и приходится изготавливать многослойные полупроводниковые структуры, так называемые гетероструктуры, за изучение которых российский физик академик Жорес Алферов получил Нобелевскую премию 2000 года. Чем больший ток проходит через светодиод, тем он светит ярче. Ведь чем больше ток, тем больше электронов и дырок поступают в зону рекомбинации в единицу времени. Но ток нельзя увеличивать до бесконечности. Из-за внутреннего сопротивления полупроводника и р-п-перехода диод перегреется и выйдет из строя.

Светодиод хорош тем, что в нём, в отличие от лампы накаливания или люминесцентной лампы, электрический ток преобразуется непосредственно в световое излучение, и теоретически это можно сделать почти без потерь. Действительно, светодиод (при должном теплоотводе) мало нагревается, что делает его незаменимым для некоторых приложений. Далее, светодиод излучает в узкой части спектра, его цвет чист, что особенно ценят дизайнеры, а УФ- и ИК-излучения, как правило, отсутствуют. Светодиод механически прочен и исключительно надежен, его срок службы может достигать 100 тысяч часов, что почти в 100 раз больше, чем у лампочки накаливания, и в 5 — 10 раз больше, чем у люминесцентной лампы. Наконец, светодиод — низковольтный электроприбор, а стало быть, безопасный.

Первоначально светодиоды применялись исключительно для индикации. Чтобы сделать их пригодными для освещения, необходимо было прежде всего научиться изготавливать белые светодиоды, а также увеличить их яркость, а точнее светоотдачу, то есть отношение светового потока к потребляемой энергии.

В 60-х и 70-х годах были созданы светодиоды на основе фосфида и арсенида галлия, излучающие в желто-зеленой, желтой и красной областях спектра. Их применяли в световых индикаторах, табло, приборных панелях автомобилей и самолетов, рекламных экранах, различных системах визуализации информации. По светоотдаче светодиоды обогнали обычные лампы накаливания. По долговечности, надежности, безопасности они тоже их превзошли. Одно было плохо — не существовало светодиодов синего, сине-зеленого и белого цвета. К концу 80-х годов в СССР выпускалось более 100 млн светодиодов в год, а мировое производство составляло несколько десятков миллиардов. Цвет светодиода зависит исключительно от ширины запрещенной зоны, в которой рекомбинируют электроны и дырки, то есть от материала полупроводника, и от легирующих примесей. Чем «синее» светодиод, тем выше энергия квантов, а значит, тем больше должна быть ширина запрещенной зоны. Голубые светодиоды можно сделать на основе полупроводников с большой шириной запрещенной зоны — карбида кремния, соединений элементов II и IV группы или нитридов элементов III группы. У светодиодов на основе SiC оказался слишком мал КПД и низок квантовый выход излучения (то есть число излученных квантов на одну рекомбинирующую пару). У светодиодов на

основе твердых растворов селенида цинка ZnSe квантовый выход был выше, но они перегревались из-за большого сопротивления и служили недолго. Оставалась надежда на нитриды. Нитрид галлия GaN плавится при 2000 °С, при этом равновесное давление паров азота составляет 40 атмосфер; ясно, что растить такие кристаллы непросто. Аналогичные соединения — нитрилы алюминия и индия — тоже полупроводники. Их соединения образуют тройные твердые растворы с шириной запрещенной зоны, зависящей от состава, который можно подобрать так, чтобы генерировать свет нужной длины волны, в том числе и синий. Но... проблему не удавалось решить до конца 80-х годов. Первым, еще в 70-х, голубой светодиод на основе пленок нитрида галлия на сапфировой подложке удалось получить профессору Жаку Панкову (Якову Исаевичу Панчечникову) из фирмы IBM (США). Квантовый выход был достаточен для практических применений, но работы Панкова не поддержали. Между тем группа Сапарина и Чукичева из МГУ обнаружила, что под действием электронного пучка GaN с примесью цинка становится ярким люминофором, и даже запатентовала устройство оптической памяти. Но тогда загадочное явление объяснить не удалось. Это сделали японцы — профессор И. Акасаки и доктор Х. Аmano из университета Нагоя. Обработав пленку GaN с примесью магния электронным пучком со сканированием, они получили ярко люминесцирующий слой р-типа с высокой концентрацией дырок. Однако разработчики светодиодов не обратили должного внимания на их публикации. Лишь в 1989 году доктор Ш. Накамура из фирмы Nichia Chemical, исследуя пленки нитридов элементов III группы, сумел воспользоваться результатами профессора Акасаки. Он так подобрал легирование (Mд, Zn) и термообработку, заменив ею электронное сканирование, что смог получить эффективно инжектирующие слои р-типа в GaN-гетероструктурах. Вот как был получен голубой светодиод. Фирма Nichia запатентовала ключевые этапы технологии и к концу 1997 года выпускала уже 10 — 20 млн. голубых и зеленых светодиодов в месяц, а в январе 1998 года приступила к выпуску белых светодиодов.

Квантовый выход — это число излученных квантов света на одну рекомбинировавшую электронно-дырочную пару. Различают внутренний и внешний квантовый выход. Внутренний — в самом р-п-переходе, внешний — для прибора в целом (ведь свет может теряться «по дороге» — поглощаться, рассеиваться). Внутренний квантовый выход для хороших кристаллов с хорошим тепло-отводом достигает почти 100%, рекорд внешнего квантового выхода для красных светодиодов составляет 55%, а для синих — 35%.

Внешний квантовый выход — одна из основных характеристик эффективности светодиода. Изобретение синих светодиодов замкнуло «RGB-круг» и сделало возможным получение светодиодов белого свечения. Существует четыре способа создания белых СД,

каждый со своими достоинствами и недостатками. Один из них – смешение излучения СД трёх или более цветов.

В принципе такой способ должен быть наиболее эффективным. Для каждого из СД – красного, зелёного или голубого – можно выбрать значения тока, соответствующие максимуму его внешнего квантового выхода излучения. Но при этих токах и напряжениях интенсивности каждого цвета не будут соответствовать значениям, необходимым для синтеза белого цвета. Этого можно достигнуть, изменяя число диодов каждого цвета и составляя источник из многих диодов. Для практических применений этот способ неудобен, поскольку нужно иметь несколько источников различного напряжения, много контактных вводов и устройства, смешивающие и фокусирующие свет от нескольких СД. Второй и третий способы – смешение голубого излучения СД с излучением либо жёлто-зелёного люминофора, либо зелёного и красного люминофоров, возбуждаемых этим голубым излучением.

Эти способы наиболее просты и в настоящее время наиболее экономичны. Состав кристалла с гетероструктурами на основе InGaN/GaN подбирается так, чтобы его спектр излучения соответствовал спектрам возбуждения люминофоров. Кристалл покрывается слоем геля с порошком люминофора таким образом, чтобы часть голубого излучения возбуждала люминофор, а часть – проходила без поглощения. Форма держателя, толщина слоя геля и форма пластикового купола рассчитываются и подбираются так, чтобы излучение имело белый цвет в нужном телесном угле. Сейчас исследуется около десятка различных люминофоров для белых СД. На рис. 4 показано строение 5мм светодиода, излучающего белый свет. Четвертый способ – смешение излучения трёх люминофоров (красного, зелёного и голубого), возбуждаемых ультрафиолетовым светодиодом. На рис. 5 показано получение белого света с помощью ультрафиолетового светодиода и RGB-люминофора. Этот способ использует технологии и материалы, которые разрабатывались в течение многих лет для люминесцентных ламп. Он требует только два контактных ввода на один излучатель. Но этот способ связан с принципиальными потерями энергии при преобразовании света от диода в люминофорах. Кроме того, эффективность источника излучения уменьшается, т.к. разные люминофоры имеют разные спектры возбуждения люминесценции, не точно соответствующие УФ-спектру излучения кристалла СД. Светоотдача белых СД ниже, чем светоотдача СД с узким спектром, поскольку в них происходит двойное преобразование энергии, часть её теряется в люминофоре. В настоящее время светоотдача лучших белых СД 25...30 лм/Вт.

## **Плюсы и минусы светодиодной лампы.**

Достоинства:

### **1. Экономия денег за электроэнергию**

С постоянно растущими тарифами на электроэнергию лампочки, которые ее экономят, — просто спасение. Светодиоду нужно 8-10 Вт, чтобы произвести столько же света, сколько произведет лампа накаливания на 100 Вт или энергосберегающая на 30-50 Вт.

### **2. Экологичность**

В состав светодиодной лампочки не входят ртуть или опасные для атмосферы газы. Такую лампочку можно просто выбросить, обойдясь без специальной утилизации. Да и пониженные затраты электроэнергии помогают заботиться об окружающей среде.

### **3. Долговечность**

Светодиоды работают долго. Очень долго. Например, продолжительность непрерывной работы одних из самых доступных и качественных в России светодиодов ИКЕА — 25 000 часов (около трех лет), есть лампочки и на 40 000—50 000 часов. Получается, если пользоваться светодиодной лампочкой по 5 часов в день, она может прослужить около 10 лет.

При этом светодиодные лампочки прочные сами по себе: их сложно разбить, уронив. Постоянное включение-выключение, длительную работу и перепады электричества они тоже переносят очень стойко, без неожиданных взрывов и перегораний.

### **4. Отсутствие нагрева**

Светодиоды не нагреваются — это означает, что электроэнергия не уходит с теплом (у ламп накаливания такая потеря составляет около 30%). О светодиодные лампочки невозможно обжечься, что очень важно, особенно для безопасности детей. Это также расширяет возможности абажуров, которые могут быть сделаны из разных материалов и расположены близко к лампочке без риска расплавиться или загореться.

### **5. Разнообразие размеров и форм**

Некоторые виды лампочек привязаны к типу цоколя в светильнике, но не светодиоды. Их выпускают с цоколями разных размеров и даже форм, например с штырьковым цоколем, чтобы можно было заменить светодиодами галогенные лампочки. Разнообразие форм и вовсе умопомрачительно: от привычной грушевидной до светящихся лент.

### **6. Разнообразие тона и яркости света**

Светодиодные лампы могут быть нескольких цветовых температур: холодной, нейтральной и теплой. Такой выбор помогает в создании желаемой атмосферы или позволяет сделать цвет объектов, освещаемых лампочкой, максимально естественным. Для создания особого настроения существуют цветные светодиоды, они даже дешевле белых.

Яркость лампочки тоже можно выбирать, она обозначается на упаковке в люменах. На картинке ниже — сравнение яркости ламп накаливания (в ваттах) и светодиодных ламп (в люменах).



Еще одно преимущество светодиодных ламп (не всех, уточняйте при покупке) — возможность регулировки яркости диммером. Тогда одна лампочка может стать и полноценным освещением, и ночником.

#### 7. Окупаемость высокой стоимости

Светодиодные бытовые лампочки сейчас самые дорогие на рынке, и это часто отпугивает покупателей. Однако при учете срока действия одной лампочки и стоимости сэкономленной электроэнергии, цена будет сравнима даже с обычными энергосберегающими лампочками. Не стоит забывать и о все более широком распространении технологии, с которым приходит снижение цены: чем дальше в будущее, тем дешевле светодиоды.

Недостатки:

Безусловно, минусов у таких ламп немного. Светодиодные лампы нет возможности устанавливать в закрытые светильники (так как свет может приглушаться). К минусам можно отнести стоимость. Она намного выше, чем у обычной лампочки. Другим недостатком LED-ламп является, то, что мощные светодиоды греются в процессе работы. Этот нагрев конечно несравним с нагревом ламп накаливания, но полупроводники и светодиоды, в частности, не любят высоких температур - даже 70 градусов Цельсия для них проблема. При перегреве у светодиода снижается интенсивность излучения света. Поэтому некоторые мощные светодиодные лампы имеют специальные пассивные охладители в виде набора металлических пластин - радиатор, что увеличивает габариты лампы в целом.

#### Использование светодиодных ламп.

Благодаря очень ярким светодиодам такие лампы можно использовать практически где угодно. Например, густо разместив их на потолке, можно получить достаточно яркое освещение, которое можно регулировать в большом световом диапазоне. Также светодиод можно использовать не только в качестве основного, а и вспомогательного освещения (подсветка



внутри шкафа или ящика). В общем, использовать светодиодную лампу можно практически где угодно. В перспективе светодиоды, по-видимому, в основном будут не заменять другие источники света, а дополнять их. Само собой разумеется, что, пока не появятся новые области применения, определяемые свойствами светодиодов, они будут использоваться аналогично обычным источникам света.

В магазинах города Арсеньева большой выбор светодиодов. Можно купить и готовые светодиодные лампы, но изучив физические свойства светодиодов, мы решили сами изготовить из них фонарик, ночник, USB – светильник и пришли к выводу, что можно изготовить приборы из светодиодов своими руками. (приложение 1)

### **Фонарик**

Нам понадобится: два крупных светодиода, футляр для зубной щетки, кусочек стекла, провода, кнопка включения, паяльник с оловом и канифолью, изолента, батарейки, суперклей.

- 1) Вырезаем в футляре отверстие под кнопку и убираем стенку с которой будут светить светодиоды.
- 2) Соединяем светодиоды последовательно проводами и выводим + и –.
- 3) Припаиваем + к кнопке, а от нее к батарейке, минус паяем к батарейке (Паять напрямую к батарейке может быть опасно!!!).
- 4) Вставляем все в корпус, если что-то шатается, приклеиваем к корпусу изолентой.
- 5) Вырезаем стекло в размер отверстия, где стоят светодиоды и приклеиваем его туда с помощью суперклея.
- 6) Перематываем корпус изолентой для прочности.

Фонарик готов.

### **Ночник**

Нам понадобится: четыре крупных или шесть маленьких светодиода, провода, кнопка, батарейка, две крышки от крема, старая губка для обуви, паяльник с оловом и канифолью, изолента.

- 1) Припаиваем светодиоды к проводам.
- 2) + паяем через кнопку к батарейке, - паяем к батарейке
- 3) Убираем губку, оставляя только футляр, делаем в нём отверстие под выключатель.
- 4) Из крышек из под крема делаем футляр для батарейки, скрепляем его изолентой
- 5) Вставляем всё в футляр, получившийся из губки, скрепляем его сбоку изолентой.

Ночник готов.

## USB-светильник

Нам понадобится: ненужный USB кабель, светодиоды, провода, плоская гофра, круглая гофра, оргстекло или фанера, паяльник с оловом и канифолью, изолента.

- 1) Делаем отверстия в плоской гофре под светодиоды.
- 2) Светодиоды паяем к проводам и вставляем в плоскую гофру.
- 3) USB кабель очищаем от изоляции, спаиваем его с проводами, к которым припаяны светодиоды.
- 4) Изолентой заматываем места паяк и вставляем все в круглую гофру.
- 5) В оргстекле высверливаем отверстие под круглую гофру.
- 6) Вставляем гофру в получившееся отверстие и скрепляем всё изолентой.

USB-светильник готов.

Использованные материалы:

Л. М. Коган "Светодиоды нового поколения для светосигнальных и осветительных приборов"  
(брошюра из серии "Новости светотехники" под ред. Ю. Б. Айзенберга)

Материалы сайтов:

[www.osram-os.com](http://www.osram-os.com)

[www.lumileds.com](http://www.lumileds.com)

[www.messefrankfurt.com](http://www.messefrankfurt.com)

[www.colorkinetics.com](http://www.colorkinetics.com)

## Процесс изготовления



## Наш первый опыт работы со светодиодами



**Купить нельзя, сделать самим!**