

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное бюджетное общеобразовательное учреждение средняя
образовательная школа №23

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ И
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ**

Выполнил учащийся 11 «А» класса

К. Е. Сарафанников

Руководитель

Т. А. Железная

Санкт-Петербург

2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Пояснительная записка	3
Введение	4
Глава 1. Описание методологии	6
1.1. Классы веществ	6
1.2. Примесные полупроводники	7
1.3. Полупроводниковые устройства	10
1.4. Светодиод	10
1.5. Полупроводниковый лазерный диод	11
Глава 2. Ход работы	14
2.1. Оборудование	14
2.2. Результаты эксперимента	16
Глава 3. Выводы	19
заключение	20
приложения	22
Список литературы	23

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью данной работы являлось сравнительное исследование светимости полупроводниковых лазерных диодов и светодиодов, для того чтобы выявить связь сфер использования этих устройств.

Актуальность работы обусловлена широким применением данных устройств в жизни.

В ходе работы исследовались:

Зависимость светимости от прикладываемого напряжения и сравнение расхождения пучков света и мощности излучения LED и Laser .

1. Лазеры являются перспективными устройствами для использования в сфере медицины, электронной техники и многих других областях.

2. Дальнейшим направлением развития лазерной полупроводниковой техники является существенное увеличение мощности лазерного излучения, возрастание управляемости лазерным лучом (по площади), возможности получения лазеров с различными длинами волн (вся видимая область спектра).

3. Успех светодиодов будет обеспечен в сегменте освещения, благодаря их преимуществам по сравнению с традиционными источниками света, - долгому сроку работы и энергоэффективности.

ВВЕДЕНИЕ

Первые светодиоды (LED) возникли в первом десятилетии двадцатого века, однако они не стали коммерчески жизнеспособными продуктами до 1960-х годов. LED особенно полезны в приложениях, где требуются надежность, скорость, высокая контрастность и широкий угол обзора.

Технология Color LED значительно продвинулась в последние годы. В связи с этим расширился спектр применимости светодиодов. Перечислять их фронт применения можно бесконечно: освещение на промышленных предприятиях, освещение подъездов и коридоров домов, освещение в магазинах прилавков и витрин и многие другие.

Другие полупроводниковые устройства – лазерные диоды (Laser) появились позже первых LED, однако в настоящее время число областей их применения постоянно растет.

Таким образом, для лазеров, равно, как и для светодиодов постоянно расширяются границы области применимости. Это обстоятельство подчеркивает актуальность данной работы.

Данная работа посвящена исследованию основных характеристик, описывающих работу полупроводниковых приборов.

Основной целью работы является изучение полупроводникового лазерного диода на гетеропереходе и светодиода.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

Теория (на основе анализа научных источников)	Практика
Познакомиться с основными литературными источниками по LED и Laser	Освоить: технику измерения люкс-вольтных характеристик, технику пайки, технику лужения, зачистку контактных поверхностей

Установить сходства и принципиальные различия LED и Laser	Провести серию экспериментов по снятию вольт-люксовой характеристики LED
	Установить связь между функциональными особенностями и областями применимости LED и Laser, на основании исследования вольт-люксовой характеристики.

ГЛАВА 1. ОПИСАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ

1.1. Классы веществ

В электронных приборах используются самые разные материалы. Основными элементами, применяемыми для этих устройств, является проводниковая и полупроводниковая продукция. Для более эффективного использования необходимо точно знать, чем отличаются полупроводников от проводников и диэлектриков. Свойства каждого элемента позволяют создавать приборы, обладающие уникальными качествами и характеристиками (рис. 1.1. [1]).

Проводники	Полупроводники	Изоляторы (диэлектрики)
Серебро Медь Алюминий	Германий Кремний Арсенид галлия	Тефлон Кварцевое стекло Оксид алюминия

Рис. 1.1. Классификация проводимости материалов

Многие вещества способны проводить электрический ток. Они могут находиться в твердом, жидком или газообразном состоянии. Основными проводниками, применяемыми в электротехнике, являются различные виды металлов или их сплавов. Они отличаются высокими качествами проводимости и удельным электрическим сопротивлением, характерным для каждого материала.

Основным свойством проводников является наличие в них свободных электронов, обеспечивающих прохождение электрического тока.

К категории полупроводников относятся вещества, занимающие промежуточное место между проводниками и диэлектриками. Эти границы достаточно условны, поскольку под влиянием различных факторов, полупроводники могут иметь свойства и проводников, и изоляторов.

Факторы, влияющие на свойства полупроводников:

1. Температура: под влиянием низких температур, они становятся диэлектриками, а при повышении температуры, в них начинают появляться свободные носители зарядов, в результате чего полупроводник приобретает способность проводить электрический ток, то есть становится проводником.
2. Свет: Фотопроводимость — явление изменения электропроводности вещества при поглощении электромагнитного излучения, такого как видимое, инфракрасное, ультрафиолетовое или рентгеновское излучение.
3. Легирование: также проводимость полупроводников меняется при введении примеси — этот процесс называется «легирование».

1.2. Примесные полупроводники

Кристаллическая решетка наиболее распространенных в электронике полупроводников - германия и кремния - имеет структуру алмазного типа. В такой решетке каждый атом вещества окружен четырьмя такими же атомами, находящимися в вершинах правильного тетраэдра. Каждый атом, находящийся в кристаллической решетке, электрически нейтрален.

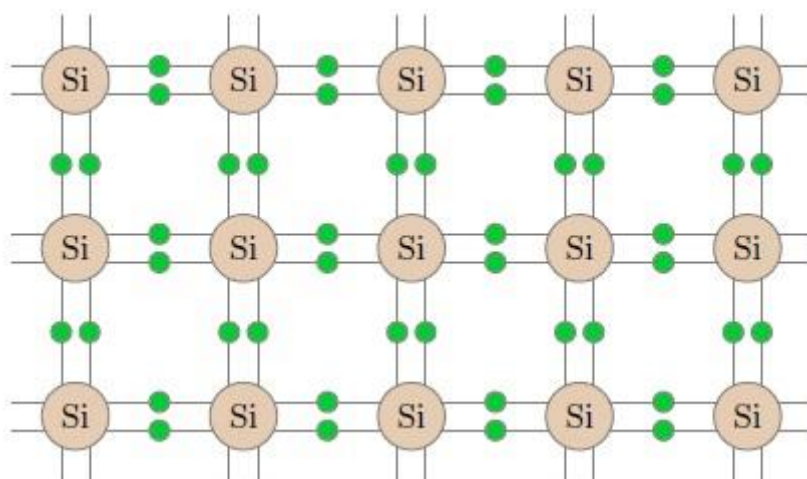


Рис. 1.2. Кристаллическая решетка кремния

По виду проводимости полупроводники подразделяют на n-тип и p-тип.

Полупроводник n-типа имеет примесную природу и проводит электрический ток подобно металлам. Термин «n-тип» происходит от слова «negative»,

обозначающего отрицательный заряд, переносимый свободным электроном (рис. 1.3. [3]). Примесные элементы, которые добавляют в полупроводники для получения полупроводников n-типа, называются донорными. Примерами таких полупроводников являются: графит, кремний, германий, селен и прочие.

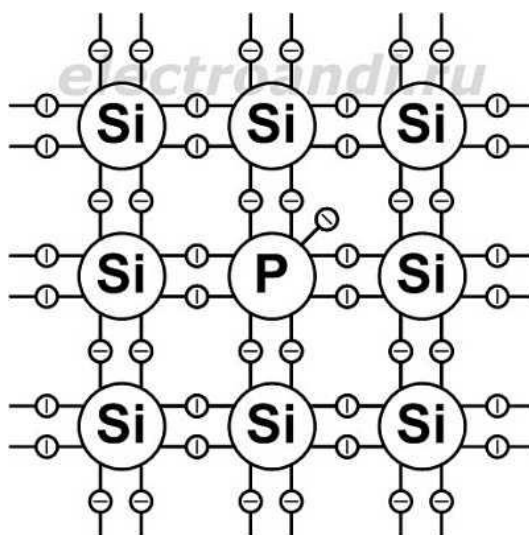


Рис. 1.3. Кристаллическая решетка полупроводника n-типа

Теория процесса переноса заряда описывается следующим образом:

В четырёхвалентный Si кремний добавляют примесный элемент, пятивалентный As мышьяка. В процессе взаимодействия каждый атом мышьяка вступает в ковалентную связь с атомами кремния (рис. 1.4.[4]).

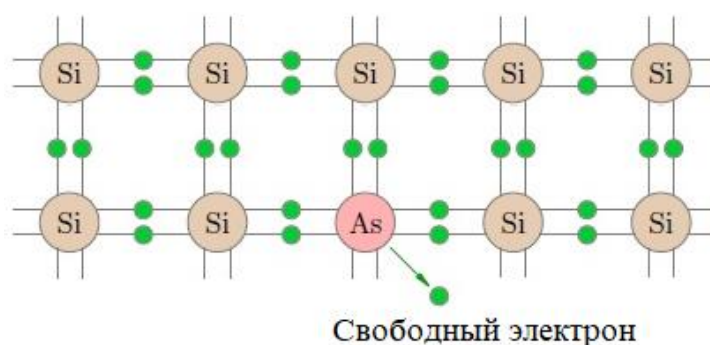


Рис. 1.4. Легирование кремния Si мышьяком As

Но остается пятый свободный атом мышьяка, которому нет места в насыщенных валентных связях, и он переходит на дальнюю электронную орбиту, где для отрыва электрона от атома нужно меньшее количество энергии. Электрон

отрывается и превращается в свободный, способный переносить заряд. Таким образом перенос заряда осуществляется электроном, а не дыркой, то есть данный вид полупроводников проводит электрический ток подобно металлам.

Полупроводник p-типа. Термин «p-тип» происходит от слова «positive», обозначающего положительный заряд основных носителей.

Полупроводник p-типа, кроме примесной основы, характеризуется дырочной природой проводимости (рис. 1.5. [5]). Примеси, которые добавляют в этом случае, называются акцепторными.

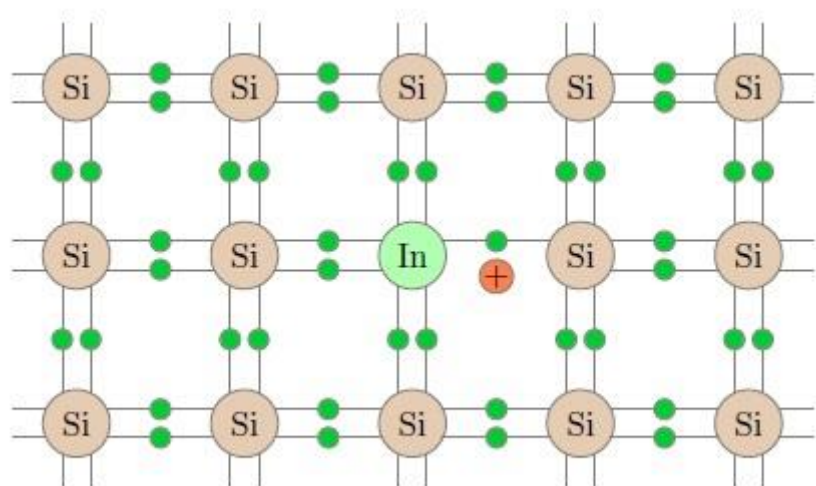


Рисунок 1.5. Кристаллическая решетка полупроводника p-типа

Например, в полупроводник, четырёхвалентный Si кремний, добавляют небольшое количество атомов трехвалентного In индия. Индий в нашем случае будет примесным элементом, атомы которого устанавливает ковалентную связь с тремя соседними атомами кремния. Но у кремния остается одна свободная связь в то время, как у атома индия нет валентного электрона, поэтому он захватывает валентный электрон из ковалентной связи между соседними атомами кремния и становится отрицательно заряженным ионом, образуя так называемую дырку и соответственно дырочный переход.

1.3. Полупроводниковые устройства

В современном мире полупроводники нашли широкое применение в различных областях науки и техники. К числу полупроводниковых устройств относятся:

1. Интегральные схемы (микросхемы);
2. Транзисторы;
3. Детекторы ядерных излучений;
4. Солнечные элементы;
5. Светодиоды;
6. Полупроводниковые лазеры.

В рамках данной работы был проведен сравнительный анализ светодиодов и полупроводниковых лазерных диодов на гетеропереходах.

1.4. Светодиод

Светодиод — это полупроводниковый прибор, преобразующий электрический ток в световое излучение.

Свечение возникает при рекомбинации¹ электронов и дырок в области р-п-перехода — контакта двух полупроводников с разными типами проводимости. Для этого приконтактные (AB и CD) слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными, по другую – донорными (рис. 1.6. [6]).

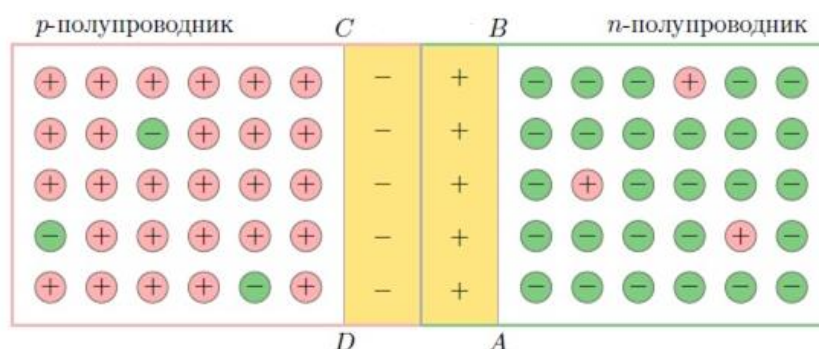


Рисунок 1.6. Область р-п-перехода в светодиоде

¹ Рекомбинация — исчезновение пары свободных носителей противоположного заряда в среде с выделением энергии.

Структурная схема светодиода представлена на рис. 1. 7. [7].

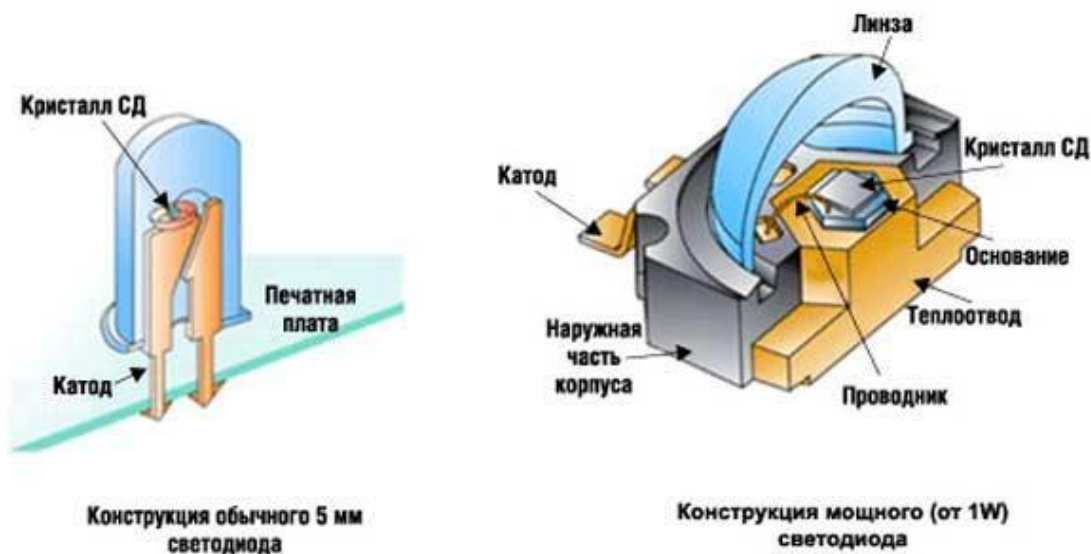


Рис. 1.7. Структурная схема светодиода

Основу устройства составляют два металлических электрода: анод и катод. Анод служит для подачи положительной полуволны постоянного тока на кристалл, катод – для подачи отрицательной полуволны. В качестве излучателя светового потока служит кристалл полупроводника (чип). Излучение происходит за счет «Р-N» перехода. Далее световой поток направляется через отражатель на рассеиватель², который увеличивает угол свечения светодиода.

1.5. Полупроводниковый лазерный диод

Лазер – light amplification by stimulated emission of radiation «усиление света посредством вынужденного излучения». Устройство, излучающее когерентные микроволны (волны сантиметрового диапазона)

Лазерная генерация возможна только в случае наличия чрезмерно большого количества электронных носителей на верхнем энергетическом уровне,

² Рассеиватель играет второстепенную роль в использовании светодиодного освещения, и даже допускается эксплуатация led светильника без рассеивателя.

высвобожденных в результате инжекции – увеличения свободных носителей заряда в полупроводнике посредством внешнего воздействия.

Для этого используют ток накачки такой силы, чтобы вызвать инверсию электронных населённостей. Под этим явлением подразумевают состояние, в котором верхний уровень намного больше заселён электронами, чем нижний.

В результате стимулируется излучение когерентных фотонов. Далее такие фотоны многократно отражаются от граней оптического резонатора, провоцируя запуск положительной обратной связи (положительная обратная связь влияет на систему таким образом, что увеличивает исходный результат ее функционирования. В теории автоматического управления положительная обратная связь реализуется путем передачи на вход системы части выходного сигнала таким образом, что сигнал обратной связи совпадает в фазе с входным сигналом, эквивалентным увеличению входного сигнала). Это явление носит лавинообразный характер, в результате которого рождается лазерный луч.

Таким образом, создание оптического генератора (лазерного диода), требует выполнения двух условий:

1. Наличие когерентных фотонов;
2. Организация положительной оптической обратной связи (ПООС).

В лазерном диоде полупроводниковый кристалл изготавливают в виде очень тонкой прямоугольной пластинки. Такая пластинка по сути является оптическим волноводом³, где излучение ограничено в относительно небольшом пространстве. Верхний слой кристалла легируется для создания n-области, а в нижнем слое создают p-область.

³ Оптические волноводы — это пространственно-неоднородные структуры для направления света. Они служат для ограничения области пространства, в которой может распространяться свет.

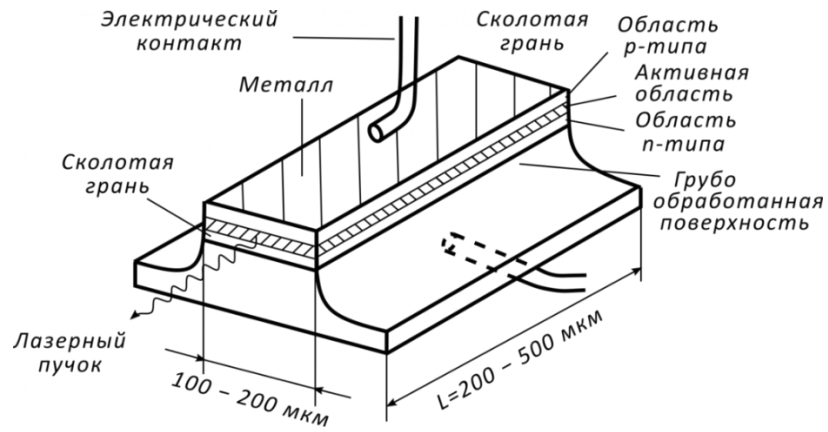


Рис. 1.9 Структура лазера

обратная связь (англ. *feedback*) — влияние результата функционирования любой системы на характер дальнейшего ее функционирования.

Индукированное излучение — это излучение возбужденных атомов под действием, падающих на них света.

Глава 2. Ход работы

2.1. Оборудование

Практическая часть работы осуществлялась в домашних условиях. Питание экспериментальной установки осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В. В качестве источника сигналов используется генератор ГЗ-33. Регистрация входного напряжения проводится при помощи цифрового мультиметра.

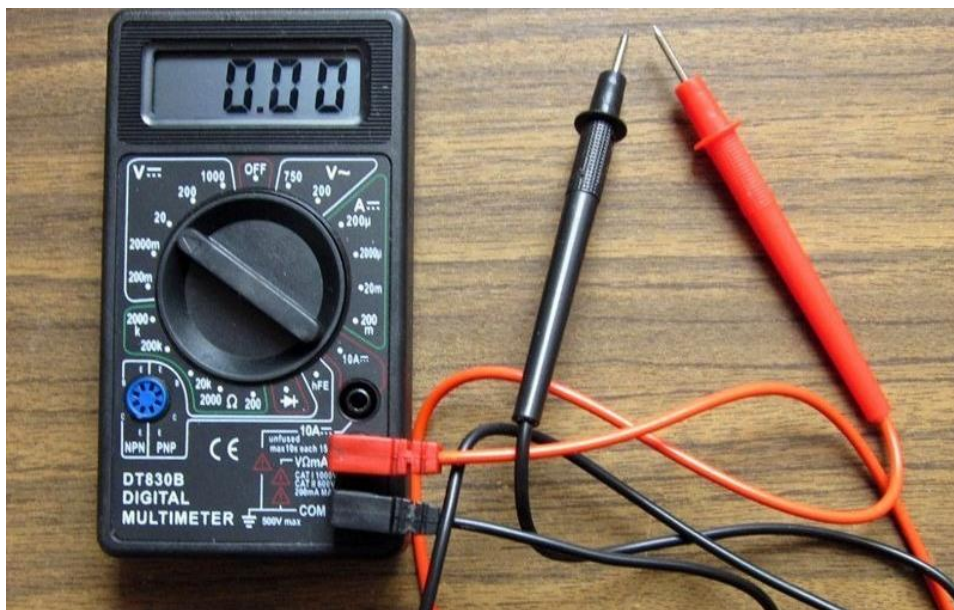


Рис. 2.1 Цифровой мультиметр

Питающее напряжение подается на светодиод типа SMD5050, который используется в качестве опытного образца. Светимость светодиода регистрируется при помощи люксметра UT383 фирмы UNI-T.



Рис. 2.2 люксметр UT383 и образец SMD5050

В ходе практической части работы была снята зависимость светимости светодиода от прикладываемого напряжения. На основании полученных данных был построен график отражающий люкс-вольтную зависимость.

2.2. Результаты эксперимента

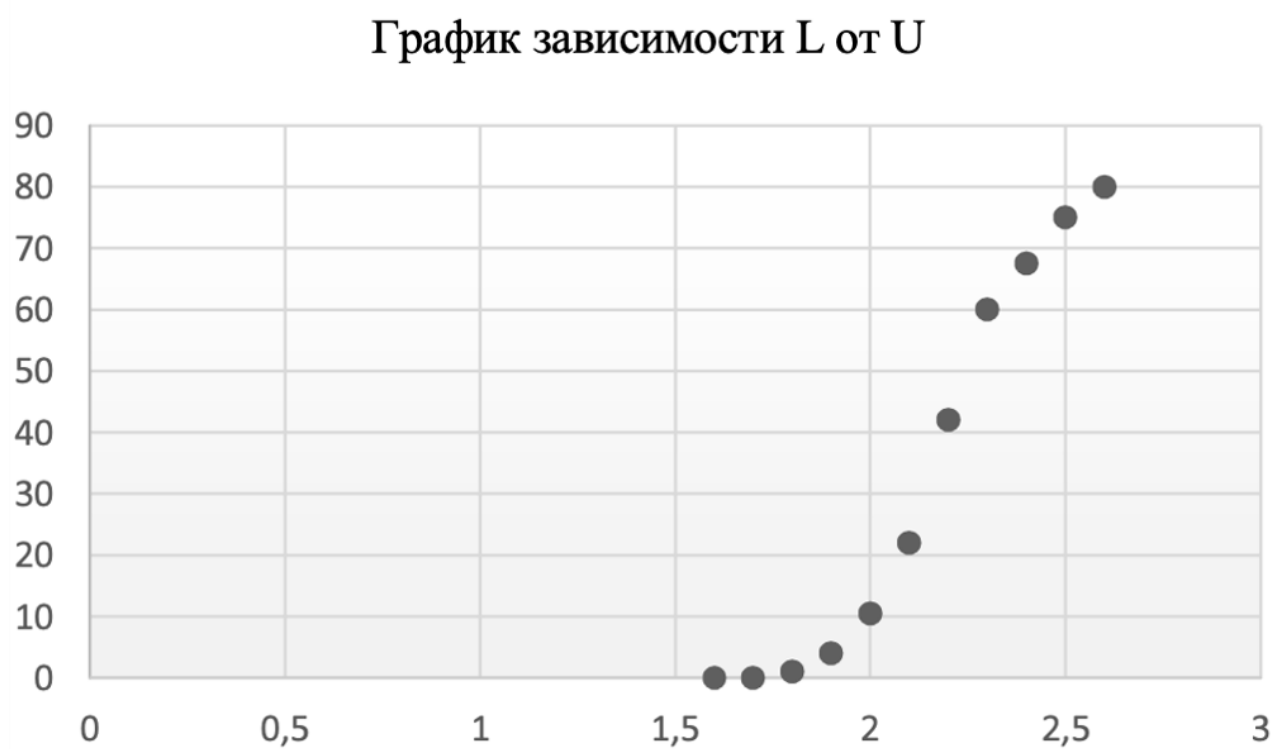


Рис. 2.3 Люкс-вольтная характеристика светодиода

Полученные в ходе опыта результаты соответствуют данным, описанным в литературе.

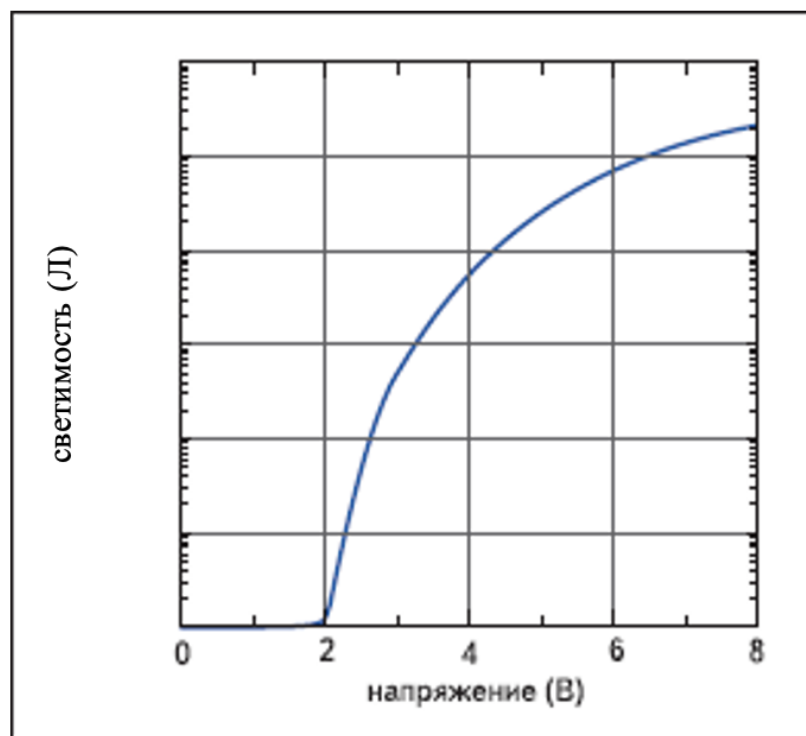


Рис. 2.4 Люкс-вольтная характеристика светодиода от производителя

При проведение подобного эксперимента с Laser полученные результаты оказались недостоверными. Так как график, построенный мною, существенно отличался от графика из научных источников. В этих экспериментах требуется измерительная аппаратура более высокого класса точности. Поэтому в сравнительном анализе LED и Laser опирался на научные источники.



График зависимости L от U

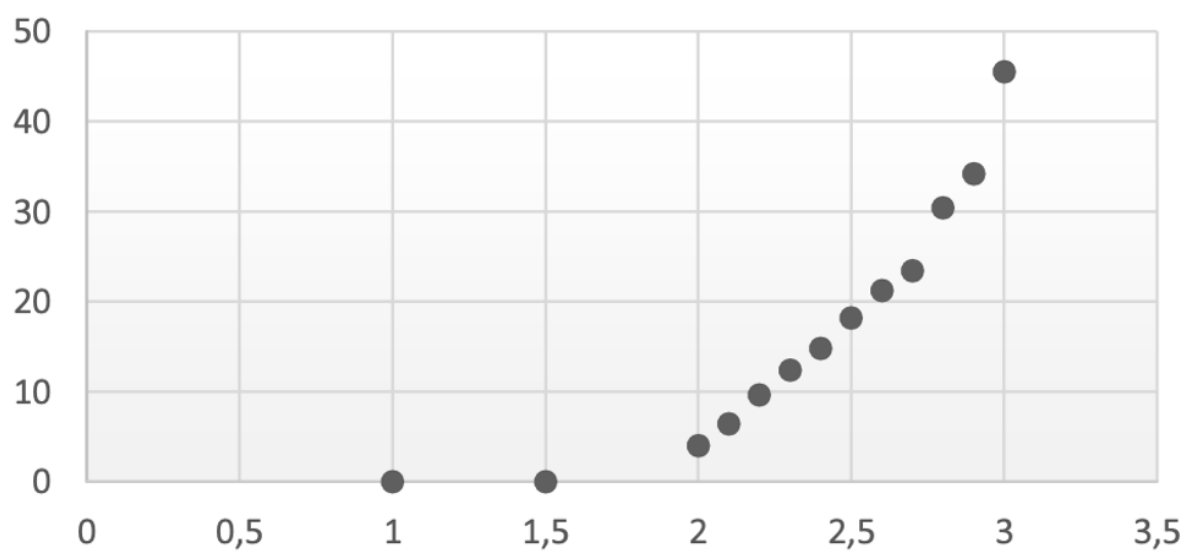


Рис. 2.2 Люкс-вольтная характеристика полупроводникового лазерного диода

Глава 3. Выводы

На основании полученных в ходе работы экспериментальных данных были сделаны следующие суждения:

- Присутствуют сходства в поведении полупроводникового лазерного диода и светодиода при подаче напряжения: существование порога напряжения начала светимости;
- Люкс-вольтные зависимости полупроводникового лазерного диода и светодиода имеют нелинейный характер;
- Светимость светодиода преобладает над светимостью полупроводникового лазерного диода при одинаковом напряжении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особое значение полупроводниковые лазерные диоды получили в области лазерной терапии. Медики спорят, какая терапия более эффективна-импульсная или постоянная. Очевидно, что в импульсной терапии светодиоды не представляют никакой конкуренции лазерам. Безусловно, определяющим для успеха лазеров, является возможность сфокусировать излучение в тонкое волокно, а через иглоку и волокно точно доставить излучение к любому органу внутри тела пациента. Отдельно надо сказать, что лазеры излучают монохроматическое, когерентное, поляризованное излучение, и эти факторы важны в медицине.

Преимущества полупроводникового лазерного диода:

- в полупроводниковой активной среде может достигаться очень большой показатель оптического усиления;
- размеры активного элемента в полупроводниковом лазере исключительно малы (длина резонатора 50 мкм – 1 мм);
- высокий КПД (до 50%);
- возможность спектральной перестройки;
- генерирует в широком спектральном диапазоне от 0,3 мкм до 30 мкм. В результате работы можно сделать следующие выводы:

Полупроводниковые лазерные диоды нашли свое применение в (лазерная хирургия, оптическая передача данных, оптическая запись информации, метрология, спектроскопия, обработка материалов, накачка твердотельных лазеров, т. п.).

Особое значение полупроводниковые лазерные диоды получили в области лазерной терапии.

Светодиоды, широко применяются (архитектурный и ландшафтный дизайн, дорожные сигналы и указатели, информационные табло, светодиодные фары и т. п.

Почему же нельзя сказать, что лазер и светодиод — это принципиально разные устройства? Все очень просто они основываются на одном и том же явление

излучения света. Лазер же в свою очередь обладает некой системой зеркал и фокусирующей линзой, которая позволяет ему точно излучать свет. Так же излучение этого света происходит не спонтанно как в светодиоде. В лазере появляется резонирующий луч заданной частоты, из-за которого все получаемые лучи света будут обладать такими же характеристиками.

ПРИЛОЖЕНИЯ



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борейшо А. С., Иванкин С. В. Лазеры: устройство и действие. – Спб. : Из-вл "Лань", 2016. – 304 с. : ил.
2. Власова, С. В., Петров В. В., Шапочкин П. Ю. Использование полупроводниковых лазерных диодов в области низких температур // Вестн. МГТУ. 2016. Т. 19, № 4. С. 697–703.
3. Елисеев, П. Г. Введение в физику инжекционных лазеров. – М. : Наука, 1983. – 295 с. : ил.

4[<https://press.ocenin.ru/wp-content/uploads/2019/05/2.jpg>]

5 [https://ege-study.ru/wp-content/uploads/2016/04/St23_04.jpg]

6[https://electroandi.ru/images/primesnye-poluprovodniki/primesnye-poluprovodniki-1_opt.jpg]

7[https://ege-study.ru/wp-content/uploads/2016/04/St23_07.jpg]

8[https://ege-study.ru/wp-content/uploads/2016/04/St23_08.jpg]

9 [https://ege-study.ru/wp-content/uploads/2016/04/St23_09.jpg]

10 [<https://lampagid.ru/wp-content/uploads/2017/06/image084.jpg>]

11 [https://laser-portal.ru/content_687]