

УДК 621.317: 621.382+538.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДОВ ВИДИМОГО ДИАПАЗОНА

© 2022 А.Ю. Рыбальченко*, Н.В. Ермолаева**, В.И. Ратушный***

Волгодонский инженерно-технический институт НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск,

Ростовская обл., 347360, Россия

*e-mail: payalnik07@yandex.ru

**e-mail: NVErmolayeva@mephi.ru

***e-mail: viratush@mail.ru

Поступила в редакцию: 25.12.2022

После доработки: 26.12.2022

Принята к публикации: 27.12.2022

В работе представлена установка для исследования вольт-амперных характеристик светодиодов, а также определения ширины запрещенной зоны материала и длины волны излучения светодиода. Установка конструктивно представляет собой моноблок с исследуемыми светодиодами, имеющий разъемы для подключения внешнего блока питания и измерителей напряжения и тока. Приведены электронная схема и описан принцип ее работы, измерительная схема, рисунок печатной платы. Описана методика проведения измерений ширины запрещенной зоны и длины волны светодиода по вольт-амперной характеристике. Представленная установка используется в учебном процессе для проведения лабораторных занятий по общей физике при изучении темы «Элементы зонной теории твердых тел». Также установку можно использовать для проведения научных исследований по физике полупроводников.

Ключевые слова: светодиод, ширина запрещенной зоны, длины волны излучения, вольт-амперная характеристика.

DOI: 10.26583/vestnik.2022.240

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России имеется ряд компаний, предлагающих высокотехнологичное учебное лабораторное оборудование по физике для вузов (см., например, [1], [2]). Основным недостатком этого оборудования является его высокая стоимость. Поэтому одним из способов снижения финансовых затрат на модернизацию учебно-лабораторного оборудования является разработка и конструирование простых лабораторных установок силами самих вузов. Кроме того, такие установки могут составить предмет студенческих опытно-конструкторских разработок.

В настоящей работе описана установка для определения ширины запрещенной зоны материала светодиода по прямой ветви вольт-амперной характеристики. Установка конструктивно представляет собой моноблок с исследуемыми светодиодами, разъемом питания и разъемами для подключения измерителей напряжения и тока.

Установка используется в учебном процессе для проведения лабораторных занятий по об-

щей физике при изучении темы «Элементы зонной теории твердых тел». Использование установки в учебном процессе является эффективным практическим методом освоения указанной темы. Студент, освоивший данную тему, сможет разобраться с инновациями, в которые внедрены и используются светодиоды.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Общий вид установки приведен на рис. 1. В левой части установки расположен регулируемый стабилизатор напряжения с ограничением тока, подключаемый к внешнему блоку питания (на рис. 1 не показан) с помощью разъема на левой панели корпуса. В правой части установки расположен радиатор, на котором установлены изучаемые светодиоды, смонтированные на алюминиевые платы типа «звезда» и снабженные светорассеивателями. На правой панели установки закреплен многооборотный потенциометр для регулирования напряжения, подаваемого на светодиод. Там же установлены разъемы для подключения измерителей напряжения и тока.

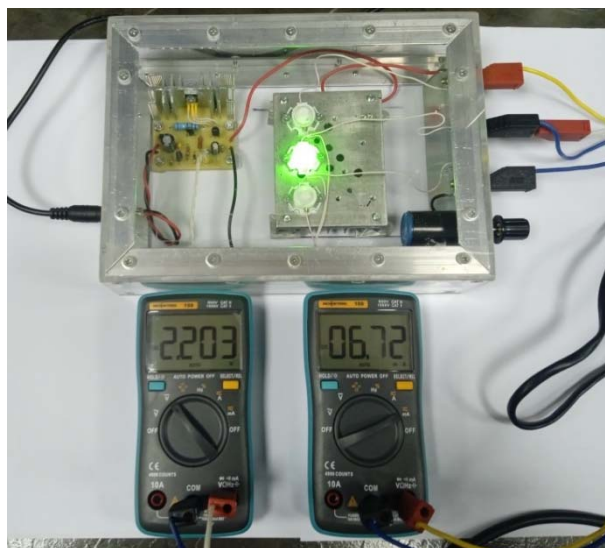


Рис. 1. Общий вид установки

На рис. 2 представлена схема регулируемого стабилизатора напряжения (РСН). К выводам J1 и J2 подключается внешний блок питания с выходным напряжением 9–15 В и током не менее 250 мА. Диод D2 защищает устройство от неправильной полярности питающего напряжения. Конденсаторы C1 и C2 образуют сглаживающий фильтр, причем C2 – электролитический, а C1 – пленочный или керамический, обеспечивающий подавление высокочастотных пульсаций. Стабилитрон D1 с балластным резистором R4 и многооборотным потенциометром RV1 формируют опорное напряжение, которое управляет регулирующим элементом – составным транзистором Q3Q4, включенным по схеме

эмиттерного повторителя. Транзисторы Q3 и Q4 имеют обратную проводимость и соединяются по схеме Дарлингтона для получения большого коэффициента усиления по току. На элементах Q1, Q2, R2, R1, R3 выполнен узел ограничения тока, защищающий светодиод от выхода из строя. Ток нагрузки создает падение напряжения на резисторе R2; когда оно достигает ~0.5–0.6 В, транзистор Q1 открывается и открывает транзистор Q2, который, в свою очередь, шунтирует стабилитрон D1, в результате чего потенциал базы составного транзистора Q3Q4 становится равным нулю и последний закрывается. При $R2 = 2,2$ Ом ток нагрузки РСН не превышает 250 мА. Конденсатор C3 обеспечивает фильтрацию опорного напряжения. Резистор R5 обеспечивает установление на выходе стабилизатора нулевого напряжения при отрыве скользящего контакта потенциометра. К выводам J4 и J3 подключаются исследуемый светодиод и измерительные приборы.

На рис. 3 изображены печатная плата (рис. 3,а) и схема размещения компонентов на плате (рис. 3,б).

На рис. 4 показан вид правой торцевой панели моноблока, на которой находятся выходные разъемы РСН, дополнительные разъемы и потенциометр. К выходным разъемам РСН подключается вольтметр. Дополнительные разъемы соединены с анодами светодиодов (СД) внутри блока. Катоды СД подключены к отрицательному полюсу РСН внутри блока. Амперметр включается в разрыв между положительным полюсом РСН и анодом исследуемого светодиода.

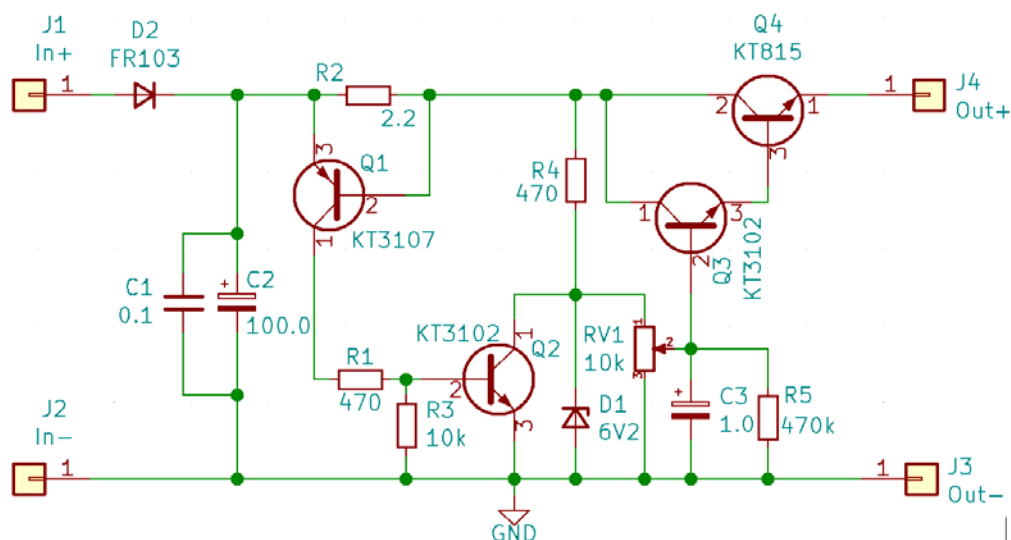
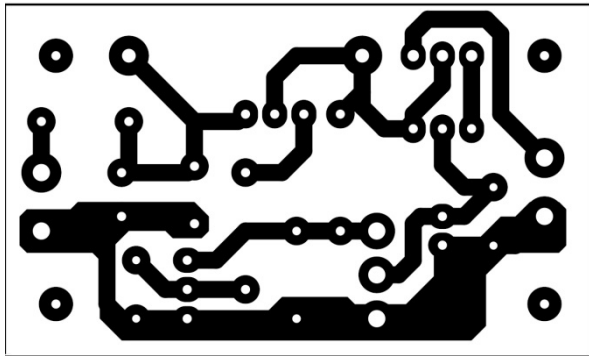


Рис. 2. Электрическая принципиальная схема регулируемого стабилизатора напряжения (РСН)

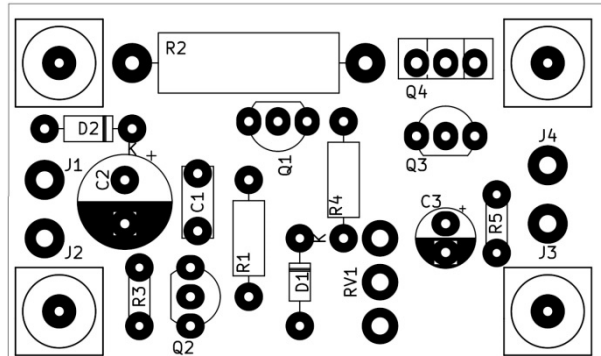
В установке исследуются три светодиода, представляющие собой полупроводниковые гетероструктуры излучающие в синей ($\lambda_{\text{макс}} \approx 480$ нм), зеленой ($\lambda_{\text{макс}} = 530$ нм) и красной ($\lambda_{\text{макс}} = 630$ нм) областях спектра. Подключение анода выбранного СД к положительному полюсу питания производится через измеритель тока. Катоды всех СД соединены между собой и подключены к отрицательному полюсу источника питания и гнезду «минус» установки.

К разъемам на правой панели подключены мультиметры согласно рис. 4: один мультиметр подключен для измерения тока, второй мультиметр – для измерения постоянного напряжения.

Достоинством предлагаемой установки является ее простота, низкая стоимость, безопасность эксплуатации, возможность изготовления силами самой образовательной организации.



а



б

Рис. 3. Рисунок печатной платы и размещение компонентов

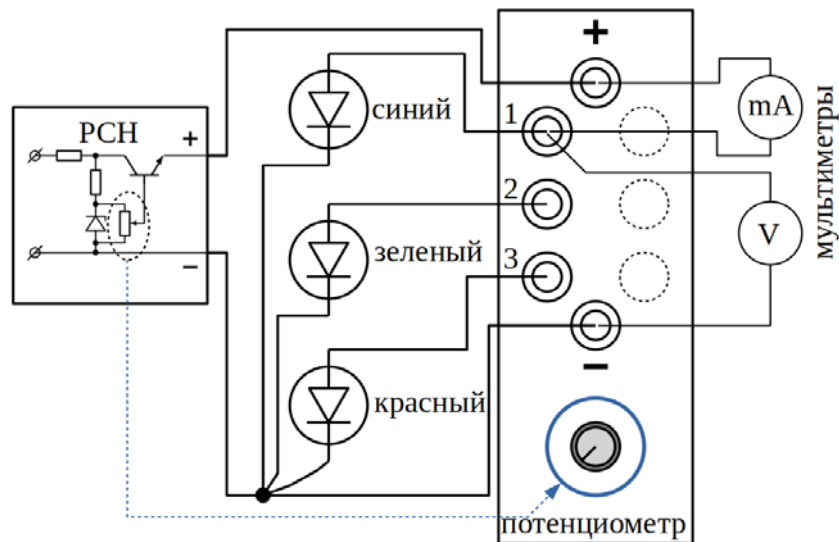


Рис. 4. Измерительная схема установки для измерения ВАХ: РСН – регулируемый стабилизатор напряжения; гнездо 1 – синий светодиод; гнездо 2 – зеленый светодиод; гнездо 3 – красный светодиод

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ И ДЛИНЫ ВОЛНЫ СВЕТОДИОДА

Работа светодиодов (СД) основана на излучательной рекомбинации инжектированных неосновных носителей заряда в p - n переходе [3, 4]. На рис. 5,а показан типичный вид спектра светодиода. Спектральная плотность мощности излучения r_λ и рабочая длина волны λ_0 зависят

от материала СД. Например, для красных СД используют GaP, AlGaAs и им подобные материалы с $E_g \sim 1,6$ – $1,8$ эВ; для синих СД используют InGaN ($E_g \sim 3$ эВ). В белых СД излучение кристалла из InGaN поглощается люминофором, в котором часть энергии исходного «синего» фотона рассеивается в виде теплоты, а остальная часть испускается в виде фотона с меньшей энергией, соответствующей красному, зеленому и т.д. цвету [4].

Исследование вольт-амперных характеристик СИД имеет большое практическое значение, поскольку по виду ВАХ можно определить ряд важных параметров светодиода: напряжение отсечки, напряжение пробоя, дифференциальное сопротивление [5]. В настоящей работе с помощью ВАХ определяется напряжение отсечки.

Напряжение отсечки – напряжение, с которого начинается резкий рост тока и которое по ве-

личине примерно (с погрешностью $\pm kT/e$) равно высоте потенциального барьера, через который происходит инжекция неосновных носителей заряда.

По участку ВАХ, на котором начинается резкий рост тока, можно определить материал полупроводника.

На рис. 5,б показан типичный вид прямой ветви ВАХ СД.

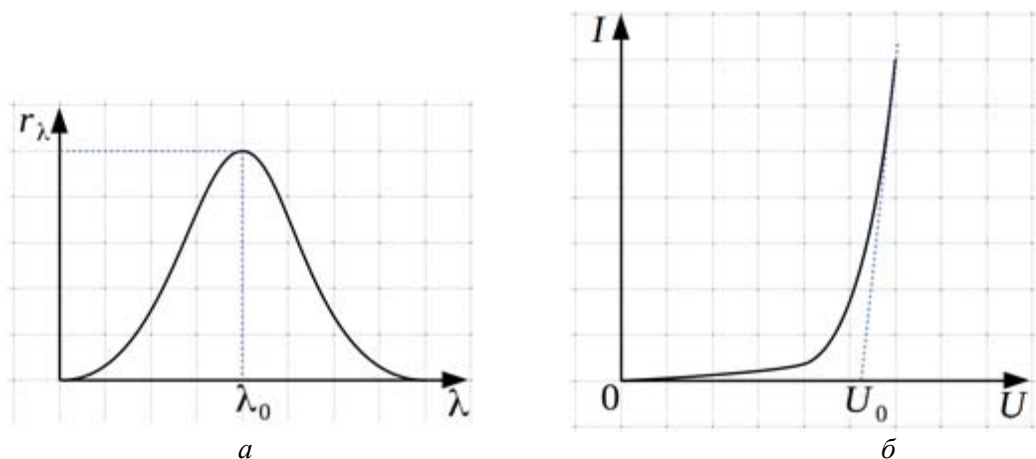


Рис. 5. Спектр излучения светодиода (а) и прямой ветви ВАХ (б)

При большом прямом смещении ВАХ близка к линейной из-за паразитного последовательного сопротивления СД. С помощью аппроксимации линейного участка ВАХ к оси напряжений можно определить падение напряжения на $p-n$ переходе U_0 и рабочую длину волны СД:

$$E_g = \frac{hc}{\lambda_0} = eU_0. \quad (1)$$

При работе с предлагаемой установкой с помощью потенциометра и мультиметров осуществляется измерение прямой ветви ВАХ. Диапазон измерения питающих напряжений представлен в табл. 1. Напряжение задается с шагом 0,05 В.

На рис. 6 представлены измеренные ВАХ для светодиодов, в табл. 1 приведены измеренные значения их параметров.

Таблица 1. Параметры исследованных светодиодов

Цвет свечения	U_0 , В	E_g , эВ	λ_0 , нм
синий	2.65	2.65	469
зеленый	2.38	2.38	522
красный	1.88	1.88	660

Полученные опытные значения рабочих длин волн согласуются с указанными рабочими спектрами светодиодов.

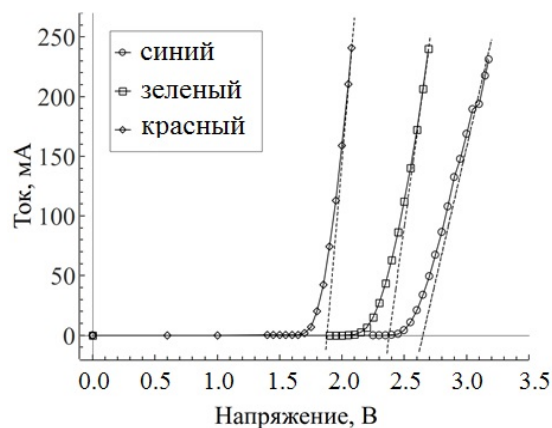


Рис. 6. Измеренные ВАХ для светодиодов

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе представлена установка для измерения вольт-амперных характеристик светодиодов видимого диапазона в пределах измерения напряжений от 0 до 5 В и токов от 0 до 240 мА. Установка может быть использована в лабораторном практикуме по фи-

зике в вузе. Также установку можно использовать для проведения научных исследований по физике полупроводников. В частности, можно исследовать изменение характеристик СД при длительном протекании тока, что приобретает

особый интерес, поскольку СД в настоящее время активно используются в качестве источников света в системах освещения и светотехнических установках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компания Учтех-Профи. [Электронный ресурс]. URL: <https://labstand.ru/> [дата обращения 20.11.2022].
2. Компания «Зарница». [Электронный ресурс]. URL: <https://zarnitza.ru/> [дата обращения 20.11.2022].
3. Шуберт Ф.Е. Светодиоды: Пер. с англ. М.: Физматлит, 2008. 496 с.

4. Бугров В.Е., Виноградова К.А. Оптоэлектроника светодиодов. Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2013. 174 с.
5. Национальный стандарт. ГОСТ Р 55702–2013. Источники света электрические. Методы измерений электрических и световых параметров. М.: Стандартинформ, 2014.
6. Мосс Т., Баррел Г., Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника / Пер. с англ. Под ред. С.А. Медведева. М.: Мир, 1976. 431 с.

Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI», 2022, vol. 11, no. 5, pp. 343–347

INVESTIGATION OF VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF VISIBLE LEDS

A.Yu. Rybalchenko*, N.V. Ermolaeva**, V.I. Ratushny***

¹Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Volgodonsk, 347360, Russia

*e-mail: payalnik07@yandex.ru

**e-mail: NVErmolayeva@mephi.ru

***e-mail: viratush@mail.ru

Received December 25, 2022; revised December 26, 2022; accepted December 27, 2022

This paper presents a setup for studying the current-voltage characteristics of LEDs, as well as determining the band gap of the material and the wavelength of the LED radiation. The installation is structurally a monoblock with LEDs under investigation, which has connectors for connecting an external power supply and voltage and current meters. An electronic circuit is presented and the principle of its operation, a measuring circuit, and a printed circuit board drawing are described. A technique is described for measuring the band gap and wavelength of an LED using the current-voltage characteristic. This installation is used in the educational process when conducting laboratory classes in general physics when studying the topic "Elements of the band theory of solids." Also, the installation can be used for scientific research in semiconductor physics.

Keywords: LED, band gap, radiation wavelength, current-voltage characteristic.

REFERENCES

1. Kompaniya Uchtekh-Profi [Uchtekh-Profi Company]. Available at: <https://labstand.ru/> [accessed 20.11.2022].
2. Kompaniya «Zarnitza». [Zarnitza Company]. Available at: <https://zarnitza.ru/> [accessed 20.11.2022].
3. Shubert F.E. Svetodiody: Per. s angl. [LEDs: Per. from English]. M.: Fizmatlit Publ., 2008. 496 p.
4. Bugrov V.E., Vinogradova K.A. Optoelektronika svetodiodov. Uchebnoe posobie. [Optoelectronics of LEDs. Tutorial]. SPb.: NIU ITMO Publ., 2013. 174 p.

5. Nacional'nyj standart. GOST R 55702–2013. Istochniki sveta elektricheskie. Metody izmerenij elektricheskikh i svetovykh parametrov [National standard GOST R 55702–2013. Electric light sources. Methods for measuring electrical and light parameters]. M.: Standartinform Publ., 2014.
6. Moss T., Barrel G., Ellis B. Poluprovodnikovaya optoelektronika / Per. s angl. Pod red. S.A. Medvedeva. [Semiconductor optoelectronics: Per. from English. Ed. S.A. Medvedev]. M.: Mir Publ., 1976. 431 p.