

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ BRIEF REPORTS

УДК 681.518.3

Оценка качества гетеропереходных светодиодов по уровню порогового тока

В.А. Сергеев^{1,2}, О.А. Радаев^{1,2}, И.В. Фролов¹, А.А. Черторийский^{1,2}

¹Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Ульяновск, Россия

²Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск,
Россия

Estimation of Quality of Heterojunction LEDs by Threshold Current Level

V.A. Sergeev^{1,2}, O.A. Radaev^{1,2}, I.V. Frolov¹, A.A. Chertoriyskiy^{1,2}

¹Ulyanovsk Branch of Kotel'nikov Institute of Radio Engineering
and Electronics of Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk, Russia

²Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

Рассмотрена возможность оценки качества гетеропереходных светодиодов по уровню порогового тока (тока начала свечения). Представлена структурная схема экспериментальной установки для измерения порогового тока светодиодов. Принцип работы установки заключается в задании прецизионным источником линейно нарастающего тока через светодиод, регистрации сигнала, пропорционального мощности излучения светодиода, высокочувствительным фотоприемником на основе быстродействующего фотодиода и малошумящего трансимпедансного усилителя, а также в вычислении значения порогового тока в программной среде Mathcad. Приведены результаты выборочных измерений порогового тока коммерческих светодиодов различных типов, иллюстрирующие широкий разброс параметров распределений светодиодов по уровню порогового тока.

Ключевые слова: светоизлучающие диоды; пороговый ток; оценка качества.

The possibility of evaluating the quality of heterojunction LEDs by the level of the threshold current (glow current start) has been considered. The block diagram of the setup operation of measuring the LEDs threshold current has been presented. The principle of the setup operation is to specify the linearly increasing current through the LED by the precision source, to measure the signal proportional to the LED optical radiation power by the highly sensitive photodetector based on the high-speed photodiode and low-noise transimpedance amplifier and to compute the value of the threshold current in the Mathcad program. The results of the sample measurements of the threshold current of various types of LEDs, illustrating a wide variation of parameters of the sampling distribution of LEDs by the level of the threshold current, have been presented.

Keywords: light emitting diodes; threshold current; quality estimation.

Пороговый ток, или ток начала свечения, характеризует потери на безызлучательную рекомбинацию в системе дефектов, понизывающих активную область светодиода [1, 2]. При этом характеристики выборочных распределений светодиодов по значениям порогового тока могут использоваться для оценки их качества [3, 4]. Так, в работе [4] показано, что светодиоды, значения порогового тока которых меньше среднего значения в выборке, характеризуются меньшими концентрациями дефектов в активной области.

Для измерения порогового тока светодиодов разработана установка, позволяющая определять минимальный прямой ток, при котором удается зарегистрировать излучение светодиодов современными коммерческими фотоприемниками. Принцип работы установки состоит в автоматизированном измерении токовой зависимости мощности излучения светодиода $P(I)$ с последующей аппроксимацией кривой $P(I)$ степенной функцией вида $P_0(I/I_0)^a$ (рис. 1) и определении значения тока I_{th} , при котором аппроксимирующая функция пересекает уровень темнового сигнала фотоприемника. Это значение тока принимается за пороговое.

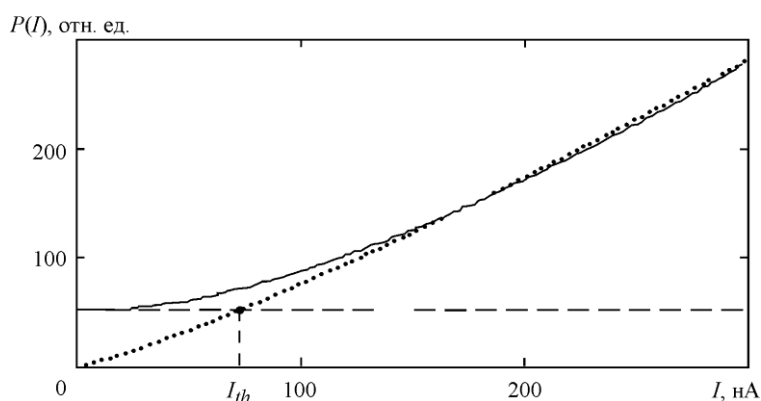


Рис.1. Графики, поясняющие принцип определения значения порогового тока светодиода: — сигнал фотоприемника; --- темновой сигнал фотоприемника; ···· аппроксимирующая функция

Структурная схема установки представлена на рис. 2. Управление аппаратной частью осуществляется компьютером через Ethernet интерфейс. При запуске цикла измерения микроконтроллер AT91SAM7X256 начинает передавать на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) AD5542 линейно нарастающий цифровой код. В результате ЦАП формирует на управляющем входе источника тока, реализованного на буферном усилителе AD820, ступенчатое линейно нарастающее управляющее напряжение, изменяющееся в диапазоне 0–3 В. Источник тока устанавливает такое значение выходного тока, при котором падение напряжения на токосъемном резисторе, включенном последовательно с исследуемым светодиодом, равно управляемому напряжению. Мультиплексор предназначен для переключения токосъемных прецизионных резисторов, благодаря чему возможен выбор диапазона тока, в пределах которого изменяется ток через исследуемый светодиод.

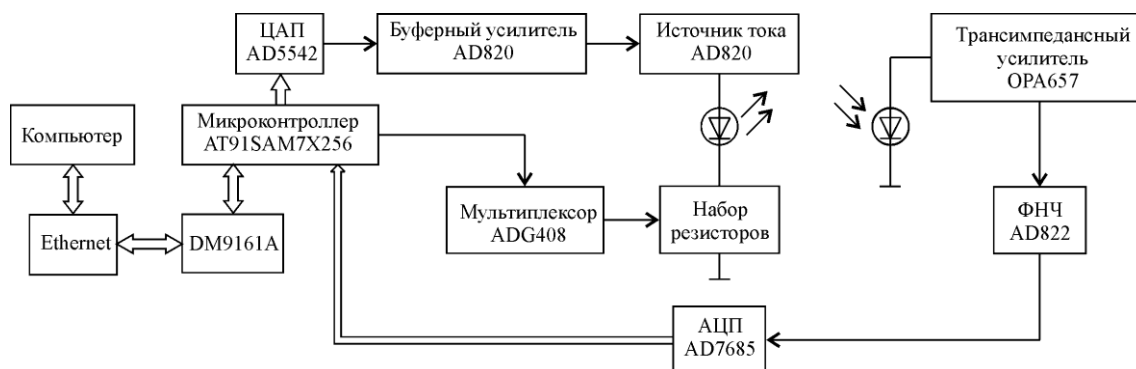


Рис.2. Структурная схема установки для измерения порогового тока светодиода

Интенсивность излучения контролируемого светодиода измеряется с помощью трансимпедансного фотоприемника на основе малошумящего операционного усилителя ОРА657 и светодиода ВРW24. Электрический сигнал с выхода фотоприемника, прошедший через фильтр нижних частот (ФНЧ) на операционном усилителе AD822, измеряется аналого-цифровым преобразователем (АЦП) AD7685. Результат измерения через микроконтроллер передается в компьютер. Ток через светодиод изменяется до тех пор, пока сигнал фотоприемника не достигнет значения, превышающего уровень темнового сигнала как минимум в пять раз, что является достаточным для корректного вычисления аппроксимирующей функции $P(I)$. Результаты измерения обрабатываются компьютерной программой в среде Mathcad.

Исследуемый светодиод и измерительный фотодиод фиксируются с помощью специально изготовленного адаптера, позволяющего точно направлять излучение на поверхность фотоприемника и обеспечивающего защиту от внешней засветки.

Основные технические характеристики установки: диапазоны изменения тока через светодиод 0–60 мкА, 0–300 мкА, 0–3 мА; минимальный шаг изменения тока определяется разрядностью ЦАП и для 16-битного AD5542 составляет 1 нА для диапазона тока 0–60 мкА; скорость нарастания тока светодиода зависит от шага изменения тока и находится в диапазоне 3 мкА/с–10 А/с; погрешность установки тока $\pm (0,1 \% + 2 \text{ нА})$ для первого диапазона. По величине минимального шага и погрешности изменения тока установка не уступает прецизионным источникам тока [5].

В таблице представлены результаты выборочных измерений порогового тока I_{th} светодиодов фирм Arlight (Китай), Cree (США) и АО «Протон» (Россия).

Характеристики коммерческих светодиодов

Тип светодиода	Цвет свечения	Производитель	Объем выборки, шт.	Среднее значение I_{th} по выборке, нА	СКО I_{th} , нА
ARL-5215PGC	Зеленый	Arlight (Китай)	100	110	113
ARL-5215UBC	Синий		20	124	63
ARL-5215URC	Красный		20	106	11
C503B-GAN-SB0F0791	Зеленый	Cree (США)	50	21	16
ИПД156Б9-Л	Зеленый	АО «Протон», (Россия)	10	18	4

Из таблицы видно, что параметры распределения заметно различаются для разных типов светодиодов. Отметим, что примерное равенство среднего значения и среднеквадратического отклонения (СКО) порогового тока у некоторых типов исследованных светодиодов указывает на экспоненциальный характер распределения. Это в свою очередь свидетельствует о связи порогового тока с плотностью дефектов в активной области светодиодов [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-32-60051 мол_а_дж и № 16-47-732159р_офи_м.

Литература

1. Особенности рекомбинационных процессов в светодиодах на основе InGaN/GaN при больших плотностях инжекционного тока / *Н.С. Аверкиев, М.Е. Левинштейн, П.В. Петров и др.* // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35. – Вып. 19. – С. 97.
2. *Шуберт Ф.* Светодиоды: пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
3. *Сергеев В.А., Фролов И.В., Широков А.А., Радаев О.А.* Связь между значением порогового тока и внешней квантовой эффективностью зеленых InGaN светодиодов // Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. X Всерос. конф. молодых ученых. – Саратов: Техно-Декор, 2015. – С. 178–179.
4. *Radaev O.A., Sergeev V.A., Frolov I.V.* Evaluation of the quality of green InGaN LEDs by values of the threshold current // J. of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 741. – P. 012087.
5. http://www.tek.com/sites/tek.com/files/media/media/resources/2280S%20DataSheet_0.pdf (дата обращения: 15.06.2016).

6. Гурвич А.К., Ермолов И.Н., Сажин С.Г. Неразрушающий контроль / Под ред. В.В. Сухорукова. Кн. 1. Общие вопросы. Контроль проникающими веществами. – М.: Высшая школа, 1992. – 242 с.

Поступило 3 августа 2016 г.

Сергеев Вячеслав Андреевич – доктор технических наук, доцент, директор Ульяновского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Ульяновск, Россия), заведующий базовой кафедрой радиотехники, опто- и наноэлектроники Ульяновского государственного технического университета при УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Ульяновск, Россия. *Область научных интересов:* токораспределение и теплофизические процессы в твердотельных структурах, полупроводниковых приборах и интегральных микросхемах, методы и средства измерения тепловых характеристик изделий электронной техники. **E-mail: sva@ulstu.ru**

Радаев Олег Александрович – аспирант кафедры радиотехники, опто- и наноэлектроники Ульяновского государственного технического университета, г. Ульяновск, Россия. *Область научных интересов:* автоматизация методов и средств измерения параметров изделий электронной техники, методы неразрушающего контроля качества и оценки надежности изделий электронной техники.

Фролов Илья Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Ульяновск, Россия. *Область научных интересов:* шумовые и деградационные процессы в гетеропереходных светодиодах, автоматизация методов и средств измерения параметров изделий электронной техники.

Черторийский Алексей Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Ульяновск, Россия. *Область научных интересов:* автоматизированные измерительные системы, системы обработки сигналов волоконно-оптических датчиков.