DOI: 10.17117/na.2015.05.135

Поступило в редакцию: 07.05.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.05.135.pdf>

Капитонов С.С., Капитонова А.В.
Исследование зависимости прямого
напряжения светодиода от температуры

Kapitonov S.S., Kapitonova A.V.
Research of temperature dependence of forward voltage of LED

В статье представлены результаты исследования температурной зависимости прямого напряжения светодиода. Приведены математические формулы, описывающие температурный коэффициент напряжения, и модель светодиода, реализованная на основе данных зависимостей. Предполагается использование полученных результатов при исследовании различных режимов работы реальных светодиодных источников света

Ключевые слова: светодиод, прямое напряжение, температурный коэффициент напряжения, температура, полупроводниковая структура

The article presents the results of studies of the temperature dependence of the forward voltage of the LED. Mathematical formulas are presented, that describe the temperature coefficient of voltage, and LED model, implemented on the basis of data dependencies. It is supposed to use the results obtained in the study of various modes actual LED light sources

Key words: LED, forward voltage, temperature coefficient of voltage, temperature, semiconductor structure

Капитонов Сергей Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Большевикская, 68

Kapitonov Sergey Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Mordovia state university named N.P. Ogarev
Mordovia Republic, Saransk, Bolshevistskaya st., 68

Капитонова Анастасия Владимировна

Аспирант
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва
г. Саранск, ул. Большевикская, 68

Kapitonova Anastasia Vladimirovna

Postgraduate
Mordovia state university named N.P. Ogarev
Mordovia Republic, Saransk, Bolshevistskaya st., 68

В последнее время в светотехнике наблюдается тенденция перехода к твердотельным источникам света. Светодиоды имеют множество преимуществ, основными из которых являются: энергоэффективность, широкий диапазон рабочих температур, большой срок службы и простота управления [1]. Однако, в силу особенностей свойств полупроводниковых материалов, применяемых при производстве светодиодов, рабочие характеристики светодиодов зависят от величины температуры полупроводниковой структуры (ПС) [2, 3]. Таким образом, для повышения надёжности и энергоэффективности светодиодных источников света (СИС) необходимо исследовать температурные зави-

симости параметров светодиодов и их влияние на режим работы лампы или светильника.

Наиболее важными электрическими параметрами светодиодов в состоянии высокой проводимости являются параметры его вольт-амперной характеристики, такие как пороговое напряжение U_0 и дифференциальное сопротивление r_T . Данные параметры определяются величиной прямого напряжения u_F на приборе при протекании через него прямого тока i_F . Поскольку температура ПС оказывает существенное влияние на прямое напряжение u_F , то, соответственно, изменяются и значения основных электрических параметров. Поэтому представляет интерес исследование зависимости прямого напряжения светодиода от температуры и описание её с помощью математических формул. Предполагается использование полученной зависимости при реализации электрической модели светодиода [4, 5].

Зависимость значения прямого напряжения на светодиоде от температуры его ПС описывает температурный коэффициент напряжения (ТКН), который определяется следующим выражением:

$$TKH = \frac{\Delta U_F}{\Delta T_j}, \quad (1)$$

где ΔU_F – изменение значения прямого напряжения; ΔT_j – изменение температуры ПС.

ТКН зависит от значений параметров ПС светодиода и описывается следующей математической зависимостью [6]:

$$\frac{\Delta U_F}{\Delta T_j} = \frac{k}{e} \cdot \ln \left(\frac{N_D \cdot N_A}{N_C \cdot N_v} \right) - \frac{\alpha T_j \cdot (T_j + 2\beta)}{e \cdot (T_j + \beta)^2} - \frac{3k}{e}, \quad (2)$$

где k – постоянная Больцмана; q – элементарный электрический заряд; N_D – концентрация донорной примеси; N_A – концентрация акцепторной примеси; N_C – эффективная плотность состояний в зоне проводимости; N_v – эффективная плотность состояний в валентной зоне; α и β – параметры Варшни; T_j – температура ПС светодиода;

Рис. 1. Модель светодиода, описывающая зависимость величины ТКН от значений параметров его ПС

На основе существующей электрической модели светодиода [5] и формулы (2) в среде Multisim реализована модель, описывающая зависимость величины ТКН от значений параметров ПС. Внешний вид данной модели представлен на рис. 1.

На рис. 1 введены следующие обозначения:

Т – источник напряжения, задающий значение температуры ПС в °С;

БУ1 – блок управления, предназначенный для расчёта значения ТКН;

БУ2 – блок управления, реализующий температурную зависимость прямого напряжения;

УИН – управляемый источник напряжения;

LED – существующая модель светодиода.

ГЛНТ – генератор линейно нарастающего тока;

XSC – осциллограф.

С помощью разработанной модели (рис. 1) проведено исследование температурной зависимости прямого напряжения светодиода, рассчитанного на максимально допустимый рабочий ток в 1 А. Через светодиод пропускался линейно нарастающий импульс тока амплитудой 1 А длительностью 20 мс. Для моделирования установлены следующие значения параметров ПС: $N_D = N_A = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$; $N_C = N_v = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$; $\alpha = 5,41 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$; $\beta = 204 \text{ К}$. Исследование осуществлялось при следующих значениях температуры ПС:

- при комнатной температуре $T_j = 25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- при рабочей температуре $T_j = 85 \text{ }^\circ\text{C}$;
- при максимально допустимой температуре $T_j = 150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рис. 2. Временные зависимости прямого напряжения на светодиоде при различных значениях температуры его ПС: 1 – $T_j = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $T_j = 85 \text{ }^\circ\text{C}$; 3 – $T_j = 150 \text{ }^\circ\text{C}$

Полученные результаты моделирования температурной зависимости прямого напряжения светодиода представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что при увеличении температуры ПС светодиода прямое напряжение на нём уменьшилось на 142 мВ. При этом рассчитанный в модели ТКН равен: при $T_j = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ – $1,108 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$; при $T_j = 85 \text{ }^\circ\text{C}$ – $1,126 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$; при $T_j = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ – $1,14 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$.

Таким образом, проведено исследование температурной зависимости прямого напряжения светодиода. Предполагается использование представленных математических формул и модели при исследовании различных режимов работы реальных СИС.

Список литературы:

1. Капитонов С.С., Капитонова А.В., Ашрятов А.А. Обзор современных драйверов для светодиодных ламп и светильников // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. Саранск. 2013. С. 137–142.
2. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Попов А.А. Исследование термочувствительных параметров мощных светодиодов // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики. Саранск. 2013. С. 127–130.
3. Капитонова А.В., Капитонов С.С., Ашрятов А.А. Проблемы биновки светодиодов при формировании ламп и светильников на их основе // Материалы XVIII научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и студентов национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. Саранск. 2014. С. 221–224.
4. Капитонов С.С., Беспалов Н.Н., Капитонова А.В., Ашрятов А.А. Исследование стандартной модели светодиода в среде Multisim // Сборник научных трудов SWorld. Вып. 4(37). Т. 1. Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2014. С. 73–75.
5. Капитонов С.С., Беспалов Н.Н., Капитонова А.В., Ашрятов А.А., Денис Р. Кильмямятов, Диас Р. Кильмямятов Разработка электрической модели светодиода в среде Multisim // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. Вып. № 1. С. 99–102.
6. Шуберт Ф. Светодиоды. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.

© 2015, Капитонов С.С., Капитонова А.В.
Исследование зависимости прямого напряжения
светодиода от температуры

© 2015, Kapitonov S.S., Kapitonova A.V.
Research of temperature dependence of forward
voltage of LED