

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕХОДА В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ СВЕРХЯРКОГО СВЕТОДИОДА

Сокольников А.В., Игошев С.О., Траксова В.В.
ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
Тел. (834-2) 290668; e-mail: sokolnikov-av@yandex.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию температурных параметров светодиодов красного, желтого, синего, зеленого и фиолетового света с целью определения температуры гетероперехода в структуре светодиода. Проведены измерения вольт-амперных характеристик светодиодов и прямого падения напряжения от температуры.

Ключевые слова: Светодиод, термочувствительные параметры, температура перехода, калибровочные кривые.

Постановка задачи

Целью проведения исследования является определение температуры перехода в гетероструктуре сверхяркого светодиода. В последнее время светодиоды все активнее используются для создания светотехнических устройств. Однако в силу особенностей свойств полупроводниковых материалов рабочие характеристики светодиодов существенно термозависимы. Это вынуждает внимательно относиться к вопросам отвода тепла от светодиода при создании светотехнических устройств на их основе.

Температура кристалла зависит от температуры *p-n*-перехода, соответствующей температуре активной области. Важность этой характеристики объясняется следующими причинами. Во-первых, от температуры *p-n*-перехода зависит внутренний квантовый выход излучения светодиода. Во-вторых, работа в режиме высоких температур значительно сокращает время жизни устройства. В-третьих, высокая температура внутри светодиода может явиться причиной разрушения его корпуса. Именно поэтому всегда желательно знать зависимость температуры перехода от протекающего тока.

Местами выделения тепла внутри светодиода являются контакты, внешние слои и активная область. При низких значениях тока нагревом контактов и внешних слоев можно пренебречь из-за незначительного количества джоулевого тепла. Поэтому при малых токах основным тепловым источником является активная область, нагрев которой происходит в результате безызлучательной рекомбинации.

Методика эксперимента

Существуют различные методы определения температуры *p-n*-перехода. Есть методы непосредственного измерения температуры поверхности кристалла. Но с помощью этих методов невозможно измерить температуру активной области, т. к. ее размеры могут составлять всего несколько атомных слоев. И градиент температуры вблизи этой зоны велик, соответственно там велики температурные перепады. Поэтому мы выбрали косвенный метод измерения температуры *p-n*-перехода с помощью термочувствительного параметра. В качестве термочувствительного параметра мы взяли прямое падение напряжения на светодиоде. Преимущество этого параметра в том, что прямое напряжение линейно зависит от температуры в широком интервале изменения.

Вывод теоретической зависимости прямого падения напряжения светодиода от температуры был получен [1] из уравнения для вольт-амперной характеристики идеального *p-n*-перехода (уравнение Шокли)

$$J = J_s [\exp(eV/n_{ideal} \cdot kT) - 1],$$

где J_s – плотность тока насыщения. Все приведенные параметры зависят от температуры p - n -перехода. Учитывая их температурные зависимости, запишем производную и, взяв производную от прямого падения напряжения V_f по температуре находим,

$$\frac{dV_f}{dT} = \frac{eV_f - E_g}{eT} + \frac{1}{e} \cdot \frac{dE_g}{dT} - \frac{3k}{e}$$

Это уравнение и определяет основную зависимость прямого падения напряжения светодиода от температуры. Три слагаемых правой части этого выражения отображают температурные зависимости ширины запрещенной зоны, концентрации собственных носителей и эффективной плотности состояний. Основной вклад дает зависимость ширины запрещенной зоны от температуры.

Проведение эксперимента

Нами проводились исследования на коммерческих светодиодах красного и желтого света на основе структур AlGaInP, и светодиодах зеленого, синего и фиолетового света на основе структур InGaN/AlGaIn/GaN.

Все светодиоды выполнены в одинаковых корпусах диаметром 5 мм.

Для исследуемых светодиодов проводились измерения вольт-амперных характеристик в диапазоне температур от 20 до 70 °С. Для красного светодиода температурные зависимости ВАХ представлены на рис. 1.

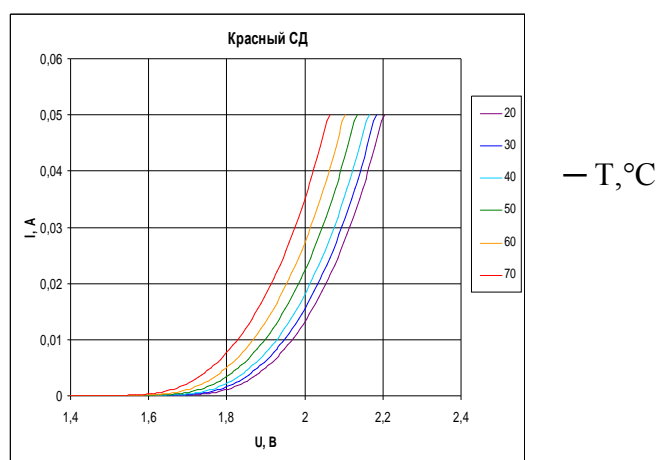


Рис. 1. Температурные зависимости ВАХ исследуемых светодиодов

Из графиков видно, что при увеличении температуры прямое падение напряжения на светодиоде уменьшается. Аналогичные зависимости наблюдаются и для других светодиодов.

Процедура измерения зависимости прямого падения напряжения от температуры состоит из двух этапов: калибровочного измерения прямого напряжения на светодиоде в импульсном режиме и измерения этого напряжения в режиме постоянного тока. Этот принцип положен в основу всех косвенных методов измерения температуры в полупроводниковых приборах. На этапе калибровочных измерений исследуемый светодиод помещался в термостат с регулятором, поэтому температуры светодиода и перехода всегда известны. Температура в термостате изменяется в заданном диапазоне значений: от 20 до 70 °С. В ходе калибровочных измерений на светодиод подаются импульсы напряжения длительностью 1 мс со скважностью 1000, что необходимо для исключения внутреннего разогрева светодиода из-за инжекционного тока. Прямое напряжение измеряем в заданном интервале температур для значений тока от 5 до 50 мА.

Из калибровочных измерений определяем зависимость между прямым напряжением и температурой $p-n$ -перехода в заданном интервале токов. Калибровочные кривые для красного светодиода показаны на рис.2 . Для остальных светодиодов температурные зависимости имеют аналогичный вид и здесь не показаны

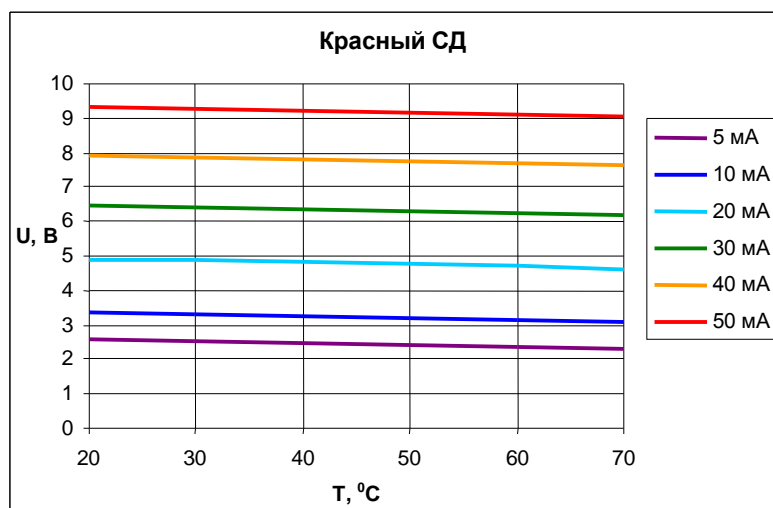


Рис. 2. Зависимость прямого напряжения от температуры в термостате (калибровочные кривые)

На втором этапе при комнатной температуре проводились измерения в режиме постоянного тока, изменяющегося в интервале значений от 5 до 50 мА. В моменты стабилизации температуры измеряем прямое падение на светодиоде. На основе результатов этих измерений и результатов калибровочных измерений находим зависимость температуры $p-n$ -перехода при различных значениях прямого тока.

Для исследуемых светодиодов красного и желтого света, графики зависимости $p-n$ -перехода от тока представлены на рис. 3, а для светодиодов зеленого, синего и фиолетового света на рис. 4.

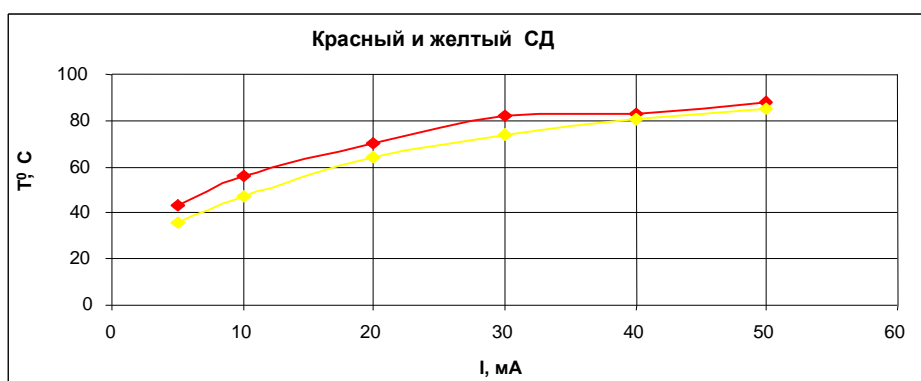


Рис. 3. Зависимость температуры $p-n$ -перехода от тока в режиме постоянного тока

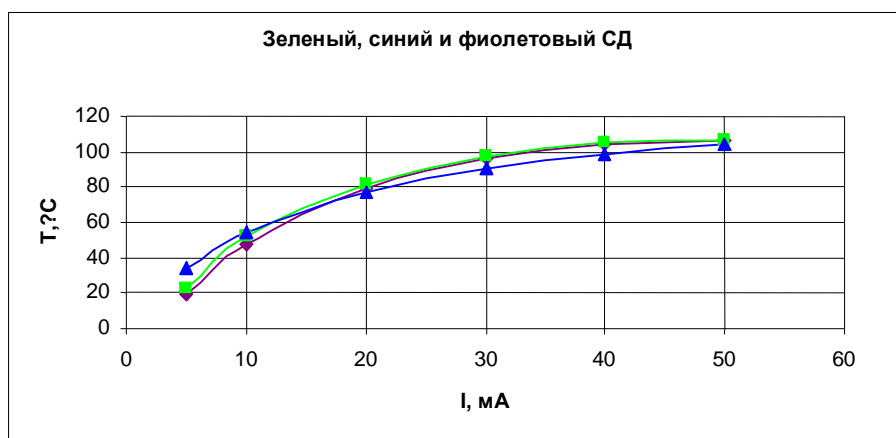


Рис. 4. Зависимость температуры р-n-перехода от тока в режиме постоянного тока

Как видно из графиков для синего, зеленого и фиолетового светодиодов при токе 50 мА температура перехода достигает 105 °С, а для красного и желтого 90 °С. При рекомендуемых прямых токах 20 мА для этих светодиодов температуры переходов для красного и желтого светодиодов равна 70° а для светодиодов синего, зеленого и фиолетового 80°. Точность определения температуры ±3°С.

Вывод

Эти результаты следует учитывать при расчетах электрических режимов работы светодиодов, которые будут работать в устройствах при различных температурах окружающей среды. В таких устройствах следует обратить внимание на режимы оконечных каскадов и ключей, электронных схем, нагрузкой, которых являются светодиоды. Выбор оптимальных режимов не должен сказаться на потере излучаемой мощности светодиодов.

Литература

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича – 2-е издание - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008, - 496 с.