

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

2012

Квасница Мирон Степанович

Определение энергетических характеристик светодиода: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства») / М.С. Квасница; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 11 с.

Использование светодиодов при решении различных задач оптоэлектроники предполагает изучение физико-технических свойств данного класса приборов. Изучению этих свойств светодиодов и экспериментальному определению их энергетических характеристик и посвящена данная лабораторная работа

Пособие предназначено для студентов очной формы и заочной формы обучения, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства») по дисциплине «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства»

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2012 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик
_____ М.С. Квасница
_____ 2012 г

Содержание

1	Введение.....	5
2	Теоретическая часть.....	5
2.1	Принцип действия светодиода.....	5
2.2	Конструкция светодиода и его характеристика	6
2.3	Контрольные вопросы.....	8
3	Экспериментальная часть.....	9
3.1	Схема экспериментальной установки	9
3.2	Задание.....	9
3.3	Содержание отчета.....	9
4	Список литературы	9

1 Введение

Использование светодиодов при решении различных задач оптоэлектроники предполагает изучение физико-технических свойств данного класса приборов. Изучению этих свойств светодиодов и экспериментальному определению их энергетических характеристик и посвящена данная лабораторная работа.

2 Теоретическая часть

2.1 Принцип действия светодиода

Принцип действия светодиода основан на спонтанной инжекционной электролюминесценции – инжекции неосновных носителей заряда в активную область прямосмещенного p-n-перехода (гомо- или гетероперехода) с последующей излучательной рекомбинацией в этой области.

Специфика процесса инжекции в светодиодах заключается в том, что одна из областей p-n-перехода должна быть оптически активна, т.е. должна обладать высоким внутренним квантовым выходом излучения. Внутренний квантовый выход излучения определяется как отношение числа квантов света, образовавшихся за определенный интервал времени в активной области кристалла, к числу неосновных носителей заряда, инжектируемых в ту же область и за тот же интервал времени. Данную область p-n-перехода называют базой и такой областью обычно является p-область.

Полное число излучательных переходов в единице объема при межзонной рекомбинации

$$N = B n_p p_{p0}$$

где B – коэффициент рекомбинаций; n_p – неравновесная концентрация электронов в активной p-области; p_{p0} – равновесная концентрация дырок в этой же области. Поскольку для прямозонных полупроводников $B \approx 10^{-10}$ см³/с, а для непрямозонных $B \approx 10^{-14}$ см³/с, предпочтительнее использовать прямозонные полупроводники.

В отношении уровня легирования p- и n- областей возникают противоречивые требования. С одной стороны, для увеличения n_p необходимо чтобы коэффициент инжекции стремился к единице, а это связано с понижением уровня легирования базы. С другой стороны, для увеличения концентрации p_{p0} этот уровень следует повышать. Как правило, выбирают компромиссный вариант: оптимальный уровень легирования активной области составляет 10^{17} – 10^{18} 1/см³ для доноров и $3 \cdot 10^{18}$ – $3 \cdot 10^{19}$ 1/см³ для акцепторов.

Кардинальное решение данной проблемы дает использование гетеропереходов. В этом случае благодаря эффекту суперинжекции можно получить заданное n_p при слаболегированном эмиттере. Односторонняя инжекция обеспечивается за счет разницы в ширине запрещенных зон используемых полупроводников.

Внешняя квантовая эффективность, определяемая как отношение числа квантов, вышедших из светодиода, к числу инжектированных в базу неосновных носителей, значительно меньше внутренней. Это обусловлено сравнительно высоким показателем преломления (для GaAs – 3.54, GaP – 3.30). Даже при перпендикулярном падении на поверхность полупроводника в этом случае отражается обратно 1/3 фотонов. Кроме того, при наклонном падении коэффициент отражения для неполяризованного света увеличивается и при углах падения $\approx 17^\circ$ наступает эффект полного внутреннего отражения. Более того, генерируемые в светодиоде фотоны могут поглощаться в материале полупроводника. Значительным поглощением фотонов характеризуются прямозонные полупроводники, существенно меньшим – непрямозонные. Поэтому у светодиода на основе GaAs до поверхности полупроводника доходит в лучшем случае половина генерируемого внутри света. Красный свет, излучаемый комплексов Zn – O в GaP, испытывает незначительное ослабление в GaP.

Следовательно, структуры с плоской геометрией не могут обладать высокой внешней квантовой эффективностью.

Коэффициенты поглощения в p – области и n – области могут сильно различаться. Поэтому в светодиодах на основе GaAs излучение выводится через n – область, так как поглощение в p – области значительно сильнее.

В современных светодиодах используются кристаллы в виде полусферы, сферы Вейерштрасса, что позволяет увеличить долю выводимого излучения до 30-35% от числа квантов достигших поверхности полупроводника. Нанесение на поверхность полупроводника просветляющих покрытий приводит к увеличению пропускания поверхности примерно на 30%.

2.2 Конструкция светодиода и его характеристика

Конструкция светодиода представляет подложку (обычно GaAs, GaP), на которой выращены эпитаксиальные слои, образующие светоизлучающий кристалл. Для увеличения плотности тока, проходящего через p-n переход уменьшают размеры активной области до нескольких мкм. Имеются особые требования к токовым

контактам. С одной стороны они должны обеспечивать равномерное растекание тока в кристалле, с другой стороны, один из них должен иметь минимально возможную площадь для уменьшения потерь выводимого света. Светодиоды обычно изготавливаются в металлостеклянном корпусе, пластмассовом корпусе, безкорпусные.

Параметрами светодиода являются сила света, длина волны в максимуме спектральной полосы (цвет свечения), полуширина спектральной линии, диаграмма направленности, внешняя квантовая эффективность.

Следует отметить, что эффективность преобразования электрической энергии в световую (световая отдача) у светодиодов видимого диапазона весьма мала (порядка 0.4 лм/Вт), по сравнению с традиционными источниками видимого света. Например, световая отдача у ламп накаливания на порядок больше, а у газоразрядных - почти на два порядка больше.

Основным преимуществом светодиода является его высокая монохроматичность и возможность выбора длины волны излучения в широком диапазоне путем подбора соответствующего полупроводника и примеси, а также высокое быстродействие, определяемое, в основном, скоростью спонтанной рекомбинации. Сочетание этих двух качеств светодиода обуславливают его широкое использование в оптоэлектронике в качестве некогерентного источника излучения, том числе и в системах оптической связи.

По конструкции светодиоды делятся на два основных типа: поверхностные и торцевые.

Поверхностные светодиоды изготавливаются на основе гомоперехода или двойной гетероструктуры монокристаллических полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$, обеспечивающих наивысшую эффективность излучательной рекомбинации. Активная область диода, в которой происходит рекомбинация излучает через выходную поверхность только в конусе углов меньших, чем угол полного внутреннего отражения на границе кристалла с окружающей средой. Поэтому диаграмма направленности излучения светодиода плоской выходной поверхности будет близка к ламбертовской ($I=I_0\cos\theta$).

Непосредственная стыковка поверхностного светодиода с волоконным светодиодом приводит к значительным потерям света, составляющим порядка 20 дБ. Для уменьшения потерь используют микролинзы, нанесенные на излучательную площадку светодиода. Эффективность ввода света в волокно увеличивается до 20 раз.

Торцевые светодиоды по конструкции весьма схожи с конструкцией мезоструктурного инжекционного лазера без резонатора. Активная область светодиода в этом случае ограничена

сверху и снизу слоями полупроводника с меньшим показателем преломления. Образованный таким образом волновод достаточно эффективно каналирует свет к излучающей поверхности светодиода, площадь которой много меньше площади активной области. Поэтому яркость излучения на выходе торцевого светодиода существенно превышает, как правило, яркость поверхностного светодиода. У данного светодиода расходимость излучения в плоскости р-п-перехода составляет 60° - 80° , а в перпендикулярной плоскости 20° - 60° . Управляющие токи составляют обычно 100-200 мА, а выходная мощность 1-6 мВт.

Эффективность применения торцевого светодиода по сравнению с поверхностным для ввода света в волновод зависит от числовой апертуры волновода NA. При $NA \leq 0,4$ эффективнее торцевой светодиод, а при $NA \geq 0,4$ – поверхностный.

Выпускаемые торцевые светодиоды на GaAsP/InP с длиной волны 1,3 мкм дают на выходе одномодового волокна мощность до 0,1 мВт. Поверхностные светодиоды, изготовленные из того же материала, дают в тех же условиях мощность излучения на выходе отрезка волновода в несколько раз меньшую. Торцевой суперлюминесцентный диод благодаря усилению света в активной области и лучшей диаграмме направленности имеет на выходе отрезка одномодового волокна мощность излучения до 0,5 мВт при собственной мощности 5 мВт. Типичное значение граничной частоты модуляции составляет 0,1-1 ГГц по уровню 3 дБ.

2.3 Контрольные вопросы

1. В какой области полупроводника светодиода происходит образование света?
2. Что такое база светодиода?
3. Как определяется внешняя и внутренняя квантовая эффективность?
4. Каким требованиям должны удовлетворять уровни легирования р- и п- областей светодиода?
5. В чем состоит явление суперинжекции в гетеропереходах?
6. Почему внешняя квантовая эффективность поверхностного светодиода мала?
7. Что такое ламбертовская диаграмма направленности?
8. Чем определяется длина волны излучения светодиода?
9. Что такое «торцевой» светодиод и чем обусловлены его преимущества по сравнению с поверхностным?
10. Что такое суперлюминесцентный светодиод?

11. Чем обусловлены инерционные свойства светодиода?

3 Экспериментальная часть

3.1 Схема экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис.3.1

На данной схеме: 1 – регулируемый источник напряжения; 2- миллиамперметр; 3- вольтметр; 4- светодиод; 5- фотодиод; 6 – микроамперметр

3.2 Задание

1. Соберите согласно рис. 3.1 экспериментальную установку.
2. Определите вольт – амперную характеристику светодиода.
3. Определите ватт - амперную характеристику светодиода, полагая, что при токе, протекающем через р-п- переход светодиода, равном 60 мА, выходная мощность равна 0,26 мВт.
4. Рассчитайте зависимость световой отдачи светодиода (лм/Вт) от силы тока протекающего через р-п- переход.
5. Объясните полученные результаты.

3.3 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) введение;
- 3) описание лабораторного макета и методику измерений;
- 4) основные расчетные соотношения;
- 5) результаты работы и их анализ;
- 6) выводы;
- 7) список использованных источников.

4 Список литературы

1. Полупроводниковые приборы. Оптоэлектронные приборы.
Справочник. Гицкевич А.Б. и др. – М., 1997, 392 с.

Учебное пособие

Квасница М.С.

Определение энергетических характеристик светодиода

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства»

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40