

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 ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА

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

2012

Квасница Мирон Степанович

Определение энергетических характеристик полупроводникового инжекционного лазера: 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. - 10 с.

Целью работы является ознакомление с работой инжекционного полупроводникового лазера и методикой измерения его энергетических параметров, а также их вычисление на основе экспериментальных данных.

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 ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА

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

Разработчик
_____ А.С. Мягков
_____ 2012 г

Содержание

1 Введение	5
2 Теоретическая часть	5
2.1 Принцип работы инжекционного полупроводникового лазера.....	5
2.2 Энергетические параметры инжекционного лазера.....	7
2.3 Контрольные вопросы	7
3 Экспериментальная часть.....	7
3.1 Оборудование	7
3.2 Задание	8
3.3 Методические указания по выполнению работы	8
3.4 Содержание отчета.....	8
Список литературы	9

1 Введение

Целью работы является ознакомление с работой инжекционного полупроводникового лазера и методикой измерения его энергетических параметров, а также их вычисление на основе экспериментальных данных.

2 Теоретическая часть

2.1 Принцип работы инжекционного полупроводникового лазера

Генерация электромагнитного излучения возможна только при условии создания инверсии населенностей энергетических уровней активного (рабочего) вещества. Инверсия населенностей – это такое состояние активного вещества, при котором населенность, по крайней мере, одного более высокого энергетического уровня больше населенности хотя бы одного нижележащего энергетического уровня. При этом условии общее число вынужденных переходов квантовых частиц с излучением больше их переходов с поглощением внешнего оптического кванта.

Процесс создания инверсии населенностей энергетических уровней активного вещества называется его накачкой. Для достижения устойчивой генерации оптического излучения активное вещество помещают в оптический резонатор, выполняющий роль колебательного контура.

В инжекционных полупроводниковых лазерах инверсия населенностей достигается за счет использования вырожденного состояния носителей заряда при прямом смещении p-n перехода. Для перехода зона – зона число электронов в зоне проводимости должно быть больше числа электронов в валентной зоне. Для прямых переходов условие инверсии имеет вид:

$$F_n - F_p > \Delta E,$$

где F_n и F_p - квазиуровни Ферми для электронов и дырок соответственно; ΔE - ширина запрещенной зоны. Для непрямых межзонных переходов существует следующее условие

$$F_n - F_p > \Delta E - h\nu,$$

где h - постоянная Планка; ν - частота электромагнитного излучения. В непрямозонных полупроводниках выполнение условий генерации излучения добиться очень трудно ввиду сравнимых по величине вероятностей излучательных переходов и “неактивных” процессов поглощения генерируемого излучения на свободных носителях заряда.

Возможным способом создания инверсии населенностей может быть контакт вырожденных полупроводников p- и n- типа. Из-за градиента концентрации электроны проводимости из n- полупроводника начинают диффундировать в p- полупроводник, а дырки - наоборот. Наличие неосновных носителей в p-n переходе приводит к излучательной рекомбинации. Спустя

непродолжительное время инжектированные носители приходят в равновесие с неосновными носителями и излучательная рекомбинация прекращается. Вполне понятно, что излучательная рекомбинация электронов и дырок должна играть существенную роль в общем процессе рекомбинации. По этой причине, например, не используется в качестве активного вещества кремний и германий, и наоборот, широкое применение получил арсенид галлия.

Для получения непрерывного рекомбинационного излучения необходимо приложить к р-п переходу в прямом направлении напряжение U , удовлетворяющее условию

$$F_n - F_p > eU > \Delta E .$$

Так как концентрация неравновесных носителей, инжектируемых через р-п переход, остается высокой, существует вырождение электронов и дырок.

Условия распространения рекомбинационного излучения вдоль и поперек р-п перехода различны. Толщина р-п перехода приблизительно равна глубине диффузии неосновных носителей и вследствие малости их времени жизни составляет около 1 мкм. Длина и ширина р-п перехода в сотни раз больше. Область р-п перехода обеднена носителями заряда, но в примыкающих к ней частях полупроводниковой структуры концентрация носителей заметно выше. Поэтому диэлектрическая проницаемость на границе р-п перехода скачкообразно уменьшается. Следовательно, электродинамической моделью р-п перехода может служить широкий плоский диэлектрический волновод. Из-за скачка диэлектрической проницаемости на границах раздела областей полупроводниковой структуры возможно полное внутреннее отражение света. Иными словами, р-п переход выступает как планарный волновод. Поэтому выводить рекомбинационное излучение из р-п перехода возможно лишь через плоскость перпендикулярную плоскости перехода. Отметим, что данный эффект частично ослабевает из-за рекомбинации электронов и дырок не только в самом р-п переходе, но и в областях к нему прилегающих.

Оптический резонатор в рассматриваемом лазер образуется из двух противоположных граней полупроводника, перпендикулярных р-п перехода. Поскольку коэффициент усиления излучения в р-п переходе велик, то зеркальное отражение на этих гранях достигается либо путем их специальной обработки, либо непосредственно скалыванием кристалла.

Преимуществом данного метода создания инверсии является высокий коэффициент полезного действия, величине которого теоретически может быть близка к 100 %. Наличие потерь приводит к появлению пороговой плотности тока накачки. Величина этого тока зависит, в первую очередь, от материала и структуры р-п перехода и принимает широкий диапазон значений (10^2 - 10^5 А/см²).

2.2 Энергетические параметры инжекционного лазера

Излучательная рекомбинация характеризуется внутренним квантовым выходом – долей инжектируемых электронов, вызывающих излучательную рекомбинацию с энергией фотона $h\nu$. Данный квантовый выход эквивалентен коэффициенту преобразования электрической энергии в энергию лазерного излучения.

Для определения квантового выхода необходимо использовать следующие основные характеристики лазера: вольт-амперную и ватт-амперную характеристики.

Вольт-амперная характеристика – зависимость значений тока через p-n переход от значений приложенного прямого напряжения.

Ватт-амперная характеристика – зависимость значений выходной мощности излучения от тока накачки.

Важнейшим параметром, характеризующим полупроводниковый лазер, является величина порогового тока накачки. Пока значение тока через p-n переход не превышает значение порогового тока, излучение носит спонтанный характер и усиления света не наблюдается. Пороговый ток на ватт-амперной характеристике – минимальное значение тока накачки, при котором излучение лазера фиксируется фотоприемником.

2.3 Контрольные вопросы

1. Какое отличие между вырожденными и невырожденными полупроводниками ?
2. Что такое вынужденная излучательная рекомбинация ? Может ли она возникать при отсутствии напряжения смещения на p-n переходе ?
3. За счет чего достигается инверсия населенностей в вырожденных полупроводниках ?
4. В чем отличие между светодиодом и инжекционным лазером ?
5. Как изменяется пороговый ток с ростом температуры ?
6. Чему равна интенсивность накачки в инжекционном лазере ?
7. Почему экспериментальные значения КПД существенно ниже теоретически возможных ?

3 Экспериментальная часть

3.1 Оборудование

Схема экспериментальной установки представлена на рис.3.1, где 1 – полупроводниковый лазер; 2 – фотоприемник; 3 – вольтметр, измеряющей напряжение на p-n переходе; 4 – амперметр, измеряющий силу тока, протекающего через p-n переход; 5 – амперметр, измеряющий величину фототока; 6 – регулируемый источник питания лазера и смещения на фотодиоде.

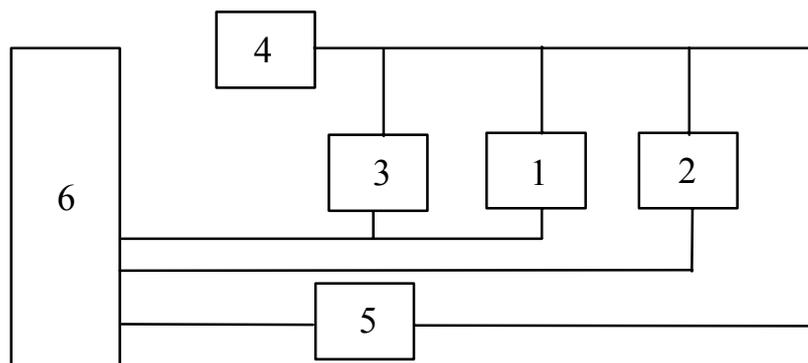


Рисунок 3.1 - Схема экспериментальной установки

3.2 Задание

1. Собрать и настроить экспериментальную установку согласно вышеприведенной схеме
2. Построить вольт-амперную и ватт-амперную характеристики на основе экспериментальных данных
3. Определить пороговое значение тока накачки
4. Рассчитать КПД полупроводникового лазера в зависимости от величины тока накачки
5. Вычислить пороговую плотность тока, протекающего через р-п переход и сравнить полученное значение с теоретическим

3.3 Методические указания по выполнению работы

В лабораторной установке использован полупроводниковый инжекционный лазер на гомоструктуре ИЛПН-102. Длина волны генерируемого излучения $\sim 0,81$ мкм. В целях увеличения срока работы лазера в установке существенно уменьшен диапазон значений силы тока накачки. Поэтому в экспериментальной установке необходимо подобрать минимальное расстояние между лазером и фотоприемником.

При измерении ватт-амперной характеристики величина тока, протекающего через р-п переход не должна превышать 200 мА. При построении данной зависимости следует учесть, что сила тока фотоприемника прямопропорциональна мощности излучения, а при токе равном 60 мА выходная мощность излучения равна 0,25 мВт. Площадь р-п перехода для данного типа лазера составляет порядка $0,01 \text{ мм}^2$.

3.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) введение;

- 3) описание макета и методику измерений;
- 4) основные расчетные соотношения;
- 5) результаты работы и их анализ;
- 6) выводы;
- 7) список, использованной литературы.

Список литературы

1. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. - Киев: Вища школа, 1981, 279 с.
2. Елисеев П.Г. Введение в физику инжекционных лазеров.- М.: Наука, 1983, 311 с.
3. Смирнов А.Г. Квантовая электроника и оптоэлектроника: Учеб. пособие для вузов. - Мн.: Выш. шк., 1987, 271 с.

Учебное пособие

Квасница М.С.

Определение энергетических характеристик полупроводникового
инжекционного лазера

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