

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ВАТТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА

Методические указания
к лабораторной работе по физике
для студентов инженерно-технических специальностей

Минск
БНТУ
2011

УДК 612.375.826 (075.8)

ББК 32.86-5я73-8

И 37

Составители:

А.И. Бибик, А.А. Иванов, В.А. Потачиц

Рецензенты:

А.А. Баранов, И.Д. Феранчук

В работе изучаются общие принципы работы лазеров и их применения. Исследуется ваттамперная характеристика полупроводникового инжекционного лазера.

Цель работы: ознакомление с принципом работы лазеров, устройством и принципом действия инжекционных лазеров и некоторыми видами их применения.

Оборудование: полупроводниковый лазерный диод, источник питания, регистрирующий фотоэлемент.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Лазер (англ. *laser*, сокр. от *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* — «усиление света посредством вынужденного излучения»), оптический квантовый генератор — устройство, преобразующее энергию накачки (световую, электрическую, тепловую, химическую и др.) в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

Когерентность (от лат. *cohaerens* — «находящийся в связи») — скоррелированность (согласованность) нескольких колебательных или волновых процессов во времени, проявляющаяся при их сложении. Колебания когерентны, если разность их фаз постоянна во времени и при сложении колебаний получается колебание той же частоты.

Монохроматическое излучение (от моно... и греч. *Chróma* — цвет) — электромагнитное излучение обладающее очень малым разбросом частот, в идеале — одной длиной волны.

Монохроматическое излучение формируется в системах, в которых существует только один разрешённый электронный переход из возбуждённого в основное состояние.

Поляризация — это явление упорядоченного колебания векторов напряжённости электрического поля **E** и напряжённости магнитного поля **H**.

Когерентное электромагнитное излучение может иметь:

линейную поляризацию — вектор **E** все время лежит в одной плоскости, в которой расположена также нормаль к фронту волны;

круговую поляризацию — вектор **E** вращается по часовой или против часовой стрелки вокруг оси, совпадающей с направлением распространения волны;

эллиптическую поляризацию — промежуточный случай между круговой и линейными поляризациями.

Существует большое количество видов лазеров, использующих в качестве рабочей среды все агрегатные состояния вещества. Габариты лазеров разнятся от микроскопических для ряда полупроводниковых лазеров до размеров футбольного поля для некоторых лазеров на неодимовом стекле. Уникальные свойства излучения лазеров позволили использовать их в различных отраслях науки и техники, а также в быту, начиная с чтения и записи компакт-дисков и заканчивая исследованиями в области управляемого термоядерного синтеза.

Первоначально способ усиления излучения оказался реализованным в радиодиапазоне, а точнее в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ диапазоне). В мае 1952 года на Общесоюзной конференции по радиоспектроскопии советские физики Н. Г. Басов и А. М. Прохоров сделали доклад о принципиальной возможности создания усилителя излучения в СВЧ-диапазоне. Они назвали его "молекулярным генератором" (предполагалось использовать пучок молекул аммиака). Практически одновременно предложение об использовании вынужденного испускания для усиления и генерирования миллиметровых волн было высказано в Колумбийском университете в США американским физиком Ч. Таунсом. Первый молекулярный генератор, названный мазером, был создан в 1954 г.

2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРА

Физической основой работы лазера служит явление вынужденного (индуцированного) излучения.

Вынужденное излучение, индуцированное излучение — генерация нового фотона при переходе квантовой системы (атома, молекулы, ядра и т. д.) из возбуждённого в основное состояние (более низкий энергетический уровень) под воздействием индуцирующего фотона, энергия которого была равна разности энергий уровней. Созданный фотон имеет те же энергию, импульс, фазу и поляризацию, что и индуцирующий фотон (который при этом не поглощается). Оба фотона являются когерентными.

Большой вклад в разработку вопроса о вынужденном излучении (испускании) внес А. Эйнштейн. Гипотеза Эйнштейна состоит в

том, что под действием электромагнитного поля частоты ω молекула (атом) может:

– перейти с более низкого энергетического уровня E_1 на более высокий E_2 с *поглощением* фотона энергией $h\nu = E_2 - E_1$ (см. рис. 1);

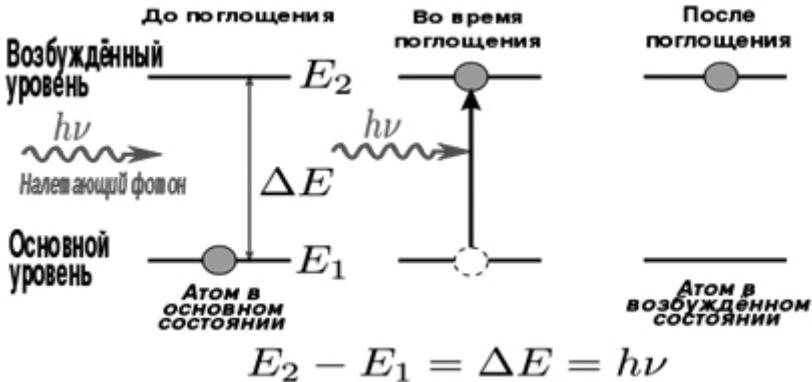


Рис. 1. Поглощение фотона

– перейти с более высокого энергетического уровня E_2 на более низкий E_1 с *испусканием* фотона энергией $h\nu = E_2 - E_1$ (см. рис. 2);

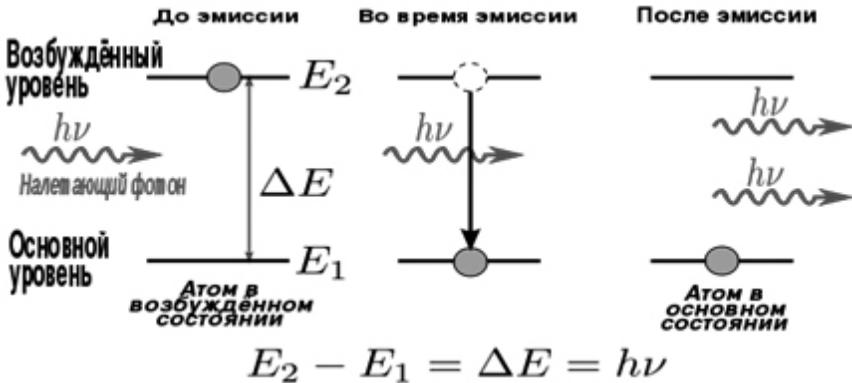


Рис. 2. Вынужденное испускание фотона

– кроме того, как и в отсутствие возбуждающего поля, остаётся возможным самопроизвольный переход молекулы (атома) с верхнего на нижний уровень с испусканием фотона с энергией $h\nu = E_2 - E_1$ (см. рис. 3).

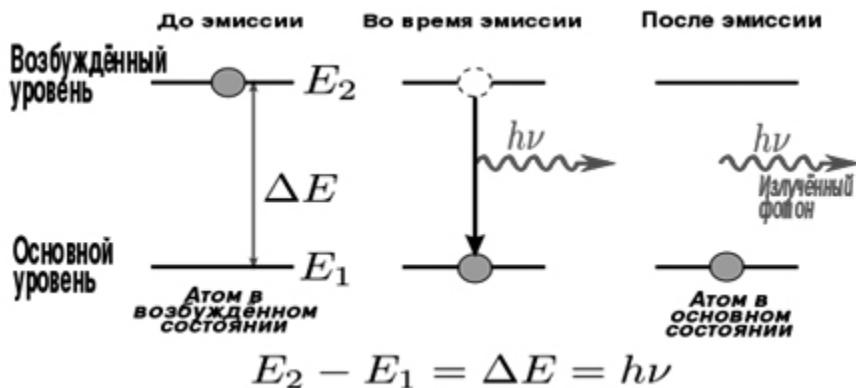


Рис. 3. Спонтанное испускание фотона

Первый процесс принято называть поглощением, второй – вынужденным (индуцированным) испусканием, третий – спонтанным испусканием. Скорость поглощения и вынужденного испускания фотона пропорциональна вероятности соответствующего перехода: $B_{12} \cdot u$ и $B_{21} \cdot u$ где B_{12} , B_{21} – коэффициенты Эйнштейна для поглощения и испускания, u – спектральная плотность излучения.

Спектральная плотность излучения – энергия, испускаемая единицей поверхности тела в единицу времени, приходящаяся на единичный интервал длин волн вблизи данной длины волны.

Число переходов dn_1 за время dt с поглощением света выражается как

$$dn_1 = B_{12} \cdot u \cdot n_1 \cdot dt$$

с испусканием света даётся выражением:

$$dn_2 = (A_{12} + B_{12}) \cdot u \cdot n_1 \cdot dt,$$

где A_{12} – коэффициент Эйнштейна, характеризующий вероятность спонтанного излучения, а n_1 , n_2 – число частиц в первом или во втором состоянии соответственно.

Согласно **принципу детального равновесия** вероятность прямого перехода между квантовыми состояниями n и m равна вероятности обратного перехода. Поэтому при термодинамическом равнове-

сии число квантов света dn_1 , поглощенных при прямых переходах $1 \rightarrow 2$ должно равняться числу квантов dn_2 испущенных в обратных переходах $2 \rightarrow 1$.

Вероятность того, что случайный фотон вызовет индуцированное излучение возбуждённого атома, в точности равняется вероятности поглощения этого фотона атомом, находящимся в невозбуждённом состоянии. Поэтому для усиления света необходимо, чтобы возбуждённых атомов в среде было больше, чем невозбуждённых (это состояние называется *инверсией населённостей*). В состоянии термодинамического равновесия это условие не выполняется, поэтому для сообщения дополнительной энергии используются различные системы накачки активной среды лазера (оптические, электрические, химические и др.).

Первоисточником генерации является процесс спонтанного излучения, поэтому для поддержания процесса излучения необходимо чтобы излучаемые фотоны вызывали последующие акты индуцированного излучения. Для этого активная среда лазера помещается в оптический резонатор. В простейшем случае он представляет собой два зеркала, одно из которых полупрозрачное — через него луч лазера частично выходит из резонатора. Отражаясь от зеркал, пучок излучения многократно проходит по резонатору, вызывая в нём индуцированные переходы. Излучение может быть как непрерывным, так и импульсным. При этом, используя различные приборы (вращающиеся призмы, ячейки Керра и др.) для быстрого выключения и включения обратной связи и уменьшения тем самым периода импульсов, возможно создать условия для генерации излучения очень большой мощности (так называемые гигантские импульсы).

Кроме этого, из-за особого расположения зеркал в лазерном луче сохраняются лишь те фотоны, которые распространяются в направлении, параллельном оптической оси резонатора на небольшом расстоянии от неё, остальные фотоны быстро покидают объём резонатора. Таким образом луч лазера имеет очень малый угол расходимости. Наконец, луч лазера имеет строго определённую поляризацию. Для этого в резонатор вводят различные поляризаторы, например, ими могут служить плоские стеклянные пластинки, установленные под углом Брюстера к направлению распространения луча лазера.

3. УСТРОЙСТВО ЛАЗЕРА

Все лазеры состоят из трёх основных частей:

- активной (рабочей) среды;
- системы накачки (источник энергии);
- оптического резонатора (может отсутствовать, если лазер работает в режиме усилителя).

Каждая из них обеспечивает для работы лазера выполнение своих определённых функций.

Принципиальная схема лазера изображена на рис. 4.

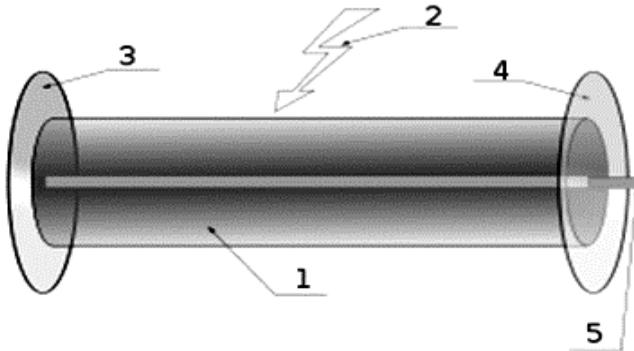


Рис. 4. Схема устройства лазера:

1 – активная среда; 2 – источник накачки лазера; 3 – непрозрачное зеркало; 4 – полупрозрачное зеркало; 5 – лазерный луч

Активная среда

В настоящее время в качестве рабочей среды лазера используются все агрегатные состояния вещества: твёрдое, жидкое, газообразное и даже плазма. В обычном состоянии число атомов, находящихся на возбуждённых энергетических уровнях, определяется распределением Больцмана:

$$N = N_0 \exp(-E/kT),$$

здесь N – число атомов, находящихся в возбуждённом состоянии с энергией E , N_0 – число атомов, находящихся в основном состоянии, k – постоянная Больцмана, T – температура среды. Иными словами,

таких атомов очень мало, поэтому вероятность того, что фотон, распространяясь по среде, вызовет вынужденное излучение также очень мала по сравнению с вероятностью его поглощения. Поэтому электромагнитная волна, проходя по веществу, расходует свою энергию на возбуждение атомов. Интенсивность излучения при этом падает по закону Бугера:

$$I = I_0 \exp(-K \cdot x)$$

здесь I_0 – начальная интенсивность, I – интенсивность излучения, прошедшего расстояние x в веществе, K – коэффициент поглощения вещества. Поскольку зависимость экспоненциальная, излучение очень быстро поглощается.

В том случае, когда число возбуждённых атомов больше, чем невозбуждённых (то есть в состоянии инверсии населённостей), ситуация прямо противоположна. Акты вынужденного излучения преобладают над поглощением, и излучение усиливается по закону:

$$I = I_0 \exp(K_y \cdot x)$$

где K_y – коэффициент квантового усиления. В реальных лазерах усиление происходит до тех пор, пока величина поступающей за счёт вынужденного излучения энергии не станет равной величине энергии, теряемой в резонаторе, после чего энергия накачки идёт только на его разогрев.

Система накачки

Для создания инверсной населённости среды лазера используются различные механизмы. В твердотельных лазерах она осуществляется за счёт облучения мощными газоразрядными лампами-вспышками, сфокусированным солнечным излучением (так называемая оптическая накачка) и излучением других лазеров (в частности, полупроводниковых). При этом возможна работа только в импульсном режиме, поскольку требуются очень большие плотности энергии накачки, вызывающие при длительном воздействии сильный разогрев и разрушение стержня рабочего вещества. В газовых и жидкостных лазерах используется накачка электрическим разрядом.

Такие лазеры работают в непрерывном режиме. Накачка химических лазеров происходит посредством протекания в их активной среде химических реакций. При этом инверсия населённостей возникает либо непосредственно у продуктов реакции, либо у специально введённых примесей с подходящей структурой энергетических уровней. Накачка полупроводниковых лазеров происходит под действием сильного прямого тока через р-п переход, а также пучком электронов. Существуют и другие методы накачки (газодинамические, заключающиеся в резком охлаждении предварительно нагретых газов; фотодиссоциация, частный случай химической накачки и др.).

Классическая трёхуровневая система накачки рабочей среды используется, например, в рубиновом лазере (рис. 5, а). Рубин представляет из себя кристалл корунда Al_2O_3 , легированный небольшим количеством ионов хрома Cr^{3+} , которые и являются источником лазерного излучения. Из-за влияния электрического поля кристаллической решётки корунда внешний энергетический уровень хрома E_2 расщеплён. Именно это делает возможным использование немонохроматического излучения в качестве накачки. При этом атом переходит из основного состояния с энергией E_0 в возбуждённое с энергией около E_2 . В этом состоянии атом может находиться сравнительно недолго (порядка 10^{-8} с), почти сразу происходит безизлучательный переход на уровень E_1 , на котором атом может находиться значительно дольше (до 10^{-3} с), это так называемый метастабильный уровень. Возникает возможность осуществления индуцированного излучения под воздействием других случайных фотонов. Как только атомов, находящихся в метастабильном состоянии становится больше, чем в основном, начинается процесс генерации.

Следует отметить, что создать инверсию населённостей атомов хрома Cr с помощью накачки непосредственно с уровня E_0 на уровень E_1 нельзя. Это связано с тем, что если поглощение и вынужденное излучение происходят между двумя уровнями, то оба эти процесса протекают с одинаковой скоростью. Поэтому в данном случае накачка может лишь уравнивать населённости двух уровней, чего недостаточно для возникновения генерации.

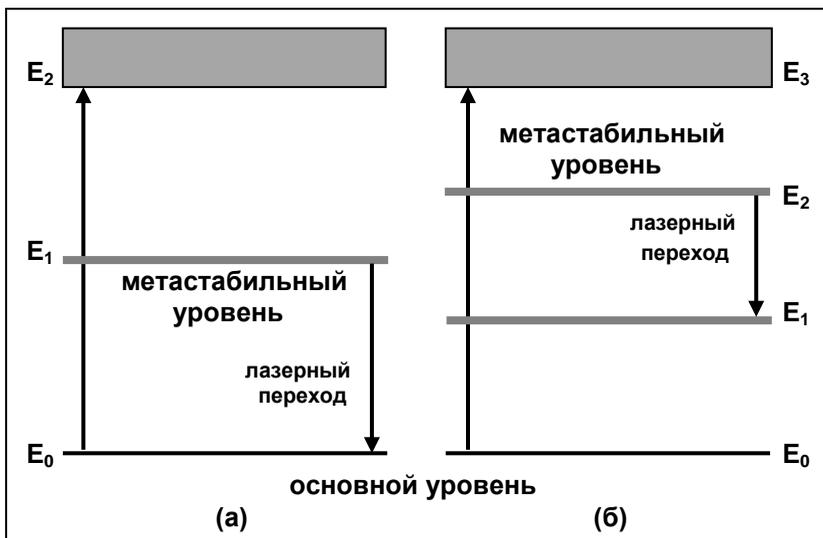


Рис. 5. Создание инверсной населенности:
 а – трёхуровневая; б – четырёхуровневая схемы
 накачки активной среды лазера

В некоторых лазерах, например в неодимовом, активной средой которого является специальный сорт стекла, легированный ионами неодима Nd^{3+} , используется четырёхуровневая схема накачки (рис. 5, б). Здесь между метастабильным E_2 и основным уровнем E_0 имеется промежуточный рабочий уровень E_1 . Вынужденное излучение происходит при переходе атома между уровнями E_2 и E_1 . Преимуществом этой схемы является то, что порог генерации достигается, когда населённость метастабильного уровня становится больше населённости рабочего уровня, которая незначительна в состоянии термодинамического равновесия, поскольку последний находится достаточно далеко от основного уровня. Это значительно снижает требования к источнику накачки. Кроме того, подобная схема позволяет создавать мощные лазеры, работающие в непрерывном режиме.

Оптический резонатор

Зеркала лазера не только обеспечивают существование положительной обратной связи, но и работают как резонатор, усиливая одни генерируемые лазером моды, соответствующие стоячим волнам данного резонатора, и ослабляя другие. Если на оптической длине L резонатора укладывается целое число n полуволен λ :

$$2L = n\lambda ,$$

то такие волны, проходя по резонатору не меняют своей фазы и вследствие интерференции усиливают друг друга. Все остальные, близко расположенные волны, постепенно гасят друг друга. Таким образом, лазер может генерировать только определенные частоты ν_n , спектр которых определяется соотношением:

$$\nu_n = \frac{c}{2L}n ,$$

здесь c – скорость света в вакууме. Интервалы между соседними частотами резонатора одинаковы и равны:

$$\Delta\nu_n = \frac{c}{2L}$$

4. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАЗЕРОВ

Можно выделить следующие основные типы лазеров:

Твердотельные лазеры на люминесцирующих твёрдых средах (диэлектрические кристаллы и стёкла). В качестве активаторов обычно используются ионы редкоземельных элементов или ионы группы железа Fe. Накачка оптическая и от полупроводниковых лазеров, осуществляется по трёх- или четырехуровневой схеме. Современные твердотельные лазеры способны работать в импульсном, непрерывном и квазинепрерывном режимах.

Полупроводниковые лазеры. Формально также являются твердотельными, но традиционно выделяются в отдельную группу, поскольку имеют иной механизм накачки (инжекция избыточных но-

сителей заряда через p - n переход или гетеропереход, электрический пробой в сильном поле, бомбардировка быстрыми электронами), а квантовые переходы происходят между разрешёнными энергетическими зонами, а не между дискретными уровнями энергии. Полупроводниковые лазеры – наиболее часто применяемый в быту вид лазеров. Кроме этого применяются в спектроскопии, в системах накачки других лазеров, а также в медицине.

Лазеры на красителях. Тип лазеров, использующий в качестве активной среды раствор флюоресцирующих с образованием широких спектров органических красителей. Накачка оптическая, могут работать в непрерывном и импульсном режимах. Основной особенностью является возможность перестройки длины волны излучения в широком диапазоне. Применяются в спектроскопических исследованиях.

Газовые лазеры – лазеры, активной средой которых является смесь газов и паров. Отличаются высокой мощностью (до 10 кВт), монохроматичностью, а также узкой направленностью излучения. Работают в непрерывном и импульсном режимах. В зависимости от системы накачки газовые лазеры разделяют на газоразрядные лазеры, газовые лазеры с оптическим возбуждением и возбуждением заряженными частицами (например, лазеры с ядерной накачкой, в начале 80-х проводились испытания систем противоракетной обороны на их основе, однако, без особого успеха), газодинамические и химические лазеры. По типу лазерных переходов различают газовые лазеры на атомных переходах, ионные лазеры, молекулярные лазеры на электронных, колебательных и вращательных переходах молекул и эксимерные лазеры.

Химические лазеры – разновидность лазеров, источником энергии для которых служат химические реакции между компонентами рабочей среды (смеси газов). Лазерные переходы происходят между возбуждёнными колебательно-вращательными и основными уровнями составных молекул продуктов реакции. Для осуществления химических реакций в среде необходимо постоянное присутствие свободных радикалов, для чего используются различные способы воздействия на молекулы для их диссоциации. Отличаются широким спектром генерации в ближней ИК-области, большой мощностью непрерывного и импульсного излучения.

Лазеры на свободных электронах – лазеры, активной средой которых является поток свободных электронов, колеблющихся во внешнем электромагнитном поле (за счёт чего осуществляется излучение) и распространяющихся с релятивистской скоростью в направлении излучения. Основной особенностью является возможность плавной широкодиапазонной перестройки частоты генерации.

Квантовые каскадные лазеры – полупроводниковые лазеры, которые излучают в среднем и дальнем инфракрасном диапазоне. В отличие от обычных полупроводниковых лазеров, которые излучают посредством вынужденных переходов между разрешенными электронными и дырочными уровнями, разделенными запрещенной зоной полупроводника, излучение квантовых каскадных лазеров возникает при переходе электронов между слоями гетероструктуры полупроводника.

Рассмотрим более подробно принцип действия и особенности полупроводниковых лазеров.

5. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ

Полупроводниковый лазер – твердотельный лазер, в котором в качестве рабочего вещества используется полупроводник. В таком лазере, в отличие от лазеров других типов (в том числе и других твердотельных), используются излучательные переходы не между изолированными уровнями энергии атомов, молекул и ионов, а между разрешенными энергетическими зонами кристалла. Кроме этого, в полупроводниковом лазере накачка осуществляется непосредственно электрическим током.

Поскольку в полупроводниковом лазере возбуждаются и излучают коллективно атомы, составляющие кристаллическую решётку, сам лазер может обладать очень малыми размерами.

Другими особенностями полупроводниковых лазеров являются высокий КПД, малая инерционность, простота конструкции.

Типичным представителем полупроводниковых лазеров является лазерный диод – лазер, в котором рабочей областью является полупроводниковый *p-n* переход. В таком лазере излучение происходит за счет рекомбинации электронов и дырок.

Лазерный диод – полупроводниковый лазер, построенный на базе диода. Его работа основана на возникновении инверсии населённостей в области p - n перехода при инжекции (введении) носителей заряда (поэтому его также называют *инжекционным лазером*).

Принцип действия

Когда на анод обычного диода подаётся положительный потенциал, то говорят, что диод *смещён в прямом направлении*. При этом дырки из p -области инжектируются в n -область p - n перехода, а электроны из n -области инжектируются в p -область полупроводника. Если электрон и дырка оказываются достаточно близко, то они могут рекомбинировать с выделением энергии в виде фотона определённой длины волны и фонона – квазичастицы, представляющей собой квант колебательного движения атомов кристалла. Такой процесс называется *спонтанным излучением* и является основным источником излучения в светодиодах.

Однако, при определённых условиях, электрон и дырка перед рекомбинацией могут находиться в одной области пространства достаточно долгое время (до микросекунд). Если в этот момент через эту область пространства пройдёт фотон нужной частоты (резонансной частоты), он может вызвать вынужденную рекомбинацию с выделением второго фотона, причём его направление, вектор поляризации и фаза будут в точности совпадать с теми же характеристиками первого фотона.

В лазерном диоде полупроводниковый кристалл изготавливают в виде очень тонкой прямоугольной пластинки. Такая пластинка по сути является оптическим волноводом, где излучение ограничено в относительно небольшом пространстве. Верхний слой кристалла легируется для создания n -области, а в нижнем слое создают p -область. В результате получается плоский p - n переход большой площади. Две боковые стороны (торцы) кристалла полируются для образования гладких параллельных плоскостей, которые образуют оптический резонатор, называемый резонатором Фабри – Перо. (см. рис. 6) Случайный фотон спонтанного излучения, испущенный перпендикулярно этим плоскостям, пройдёт через весь оптический волновод и несколько раз отразится от торцов, прежде чем выйдет

наружу. Проходя вдоль резонатора, он будет вызывать вынужденную рекомбинацию, создавая новые и новые фотоны с теми же параметрами, и излучение будет усиливаться (механизм вынужденного излучения). Как только усиление превысит потери, начнётся лазерная генерация.

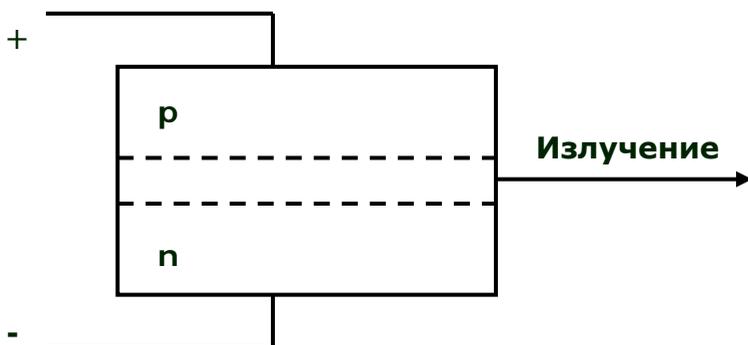


Рис. 6. Принцип устройства инжекционного лазера

Длина волны излучения лазерного диода зависит от ширины запрещенной зоны между энергетическими уровнями p - и n -областей полупроводника.

В связи с тем, что излучающий элемент достаточно тонок, луч на выходе диода, благодаря дифракции, практически сразу расходится. Для компенсации этого эффекта и получения тонкого луча необходимо применять собирающие линзы.

КПД инжекционных лазеров довольно высок – 50–60 %. Миниатюрные инжекционные лазеры с линейными размерами полупроводников около 1 мм дают мощность излучения в непрерывном режиме до 10 мВт, а в импульсном режиме могут иметь мощность до 100 Вт. Получение больших мощностей требует сильного охлаждения.

Эффективность полупроводникового лазера можно оценить при помощи его *ваттамперной характеристики*.

Ваттамперной характеристикой инжекционного лазера называется зависимость мощности излучения лазера от инжекционного тока через *p-n* переход.

Применение лазерных диодов

Лазерные диоды – важные электронные компоненты. Они находят широкое применение как управляемые источники света в волоконно-оптических линиях связи. Также они используются в различном измерительном оборудовании, например лазерных дальномерах. Другое распространённое применение – считывание штрих-кодов. Лазеры с видимым излучением, обычно красные и иногда зелёные – в лазерных указках. Инфракрасные и красные лазеры – в проигрывателях *CD*- и *DVD*-дисков. Синие лазеры – в устройствах *HD DVD* и *Blu-Ray*. Исследуются возможности применения полупроводниковых лазеров в быстрых и недорогих устройствах для спектроскопии.

6. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ

В силу уникальных свойств излучения лазеров, они широко применяются во многих отраслях науки и техники, а также в быту (проигрыватели компакт-дисков, лазерные принтеры, считыватели штрих-кодов, лазерные указки и пр.). В промышленности лазеры используются для резки, сварки и пайки деталей из различных материалов. Высокая мощность излучения позволяет сваривать материалы, которые невозможно сварить обычными способами (к примеру, керамику и металл). Луч лазера может быть сфокусирован в точку диаметром порядка микрона, что позволяет использовать его в микроэлектронике. Лазеры используются для получения поверхностных покрытий материалов (лазерное легирование, лазерная наплавка, вакуумно-лазерное напыление) с целью повышения их износостойкости. Широкое применение получила также лазерная маркировка промышленных образцов и гравировка изделий из различных материалов. При лазерной обработке материалов на них не оказывается механическое воздействие, поэтому возникают лишь незначительные деформации. Кроме того весь технологический процесс может быть полностью автоматизирован. Лазерная обра-

ботка потому характеризуется высокой точностью и производительностью.

Лазеры применяются в голографии для создания самих голограмм и получения голографического объёмного изображения. Некоторые лазеры, например лазеры на красителях, способны генерировать монохроматический свет практически любой длины волны, при этом импульсы излучения могут достигать 10^{-16} с, а следовательно и огромных мощностей (так называемые гигантские импульсы). Эти свойства используются в спектроскопии, а также при изучении нелинейных оптических эффектов. Сверхкороткие импульсы лазерного излучения используются в лазерной химии для запуска и анализа химических реакций. Здесь лазерное излучение позволяет обеспечить точную локализацию, дозированность, абсолютную стерильность и высокую скорость ввода энергии в систему. В настоящее время разрабатываются различные системы лазерного охлаждения, рассматриваются возможности осуществления с помощью лазеров управляемого термоядерного синтеза. Лазеры используются и в военных целях, например, в качестве средств наведения и прицеливания. Рассматриваются варианты создания на основе мощных лазеров боевых систем защиты воздушного, морского и наземного базирования.

При помощи лазера удалось измерить расстояние до Луны с точностью до нескольких сантиметров. Лазерная локация космических объектов уточнила значение астрономической постоянной и способствовала уточнению систем космической навигации, расширила представления о строении атмосферы и поверхности планет Солнечной системы.

В медицине лазеры применяются как бескровные скальпели, используются при лечении офтальмологических заболеваний (катаракта, отслоение сетчатки, лазерная коррекция зрения и др.). Широкое применение получили также в косметологии (лазерная эпиляция, лечение сосудистых и пигментных дефектов кожи, лазерный пилинг, удаление татуировок и пигментных пятен). В настоящее время бурно развивается так называемая лазерная связь. Известно, что чем выше несущая частота канала связи, тем больше его пропускная способность. Поэтому радиосвязь стремится переходить на всё более короткие длины волн. Длина световой волны в среднем на

шесть порядков меньше длины волны радиодиапазона, поэтому посредством лазерного излучения возможна передача гораздо большего объема информации. Лазерная связь осуществляется как по открытым, так и по закрытым световодным структурам, например, по оптическому волокну. Свет за счёт явления полного внутреннего отражения может распространяться по нему на большие расстояния, практически не ослабляясь.

Контрольные вопросы

1. Что такое лазер? На каком физическом явлении основан принцип его работы?
2. Что такое индуцированное излучение?
3. В чем отличие спонтанного и вынужденного излучения?
4. В чем заключается принцип детального равновесия?
5. Что такое инверсия населенностей?
6. Нарисуйте и поясните принципиальную схему лазера.
7. Объясните трехуровневую и четырехуровневую схемы создания инверсной населенности.
8. Охарактеризуйте основные типы лазеров.
9. Что такое полупроводниковый лазер? Объясните его принцип действия.
10. Каковы области применения лазеров?

Литература

1. Тарасов, Л.В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения / Л.В. Тарасов. – М.: Радио и связь, 1981.
2. Кондиленко, И.И. Физика лазеров / И.И. Кондиленко, П.А. Коротков, А.И. Хижняк. – Киев: Вища школа, 1984.
3. Звелто, О. Принципы лазеров / О. Звелто. – М.: Мир, 1990.
4. Бруннер, В. Справочник по лазерной технике / В. Бруннер. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия / под ред. М. Е. Жаботинского. – М.: Советская энциклопедия, 1969.
6. Савельев, И.В. Курс общей физики: в 5 т. / И.В. Савельев. – М.: Астрель, АСТ, 2003. – Т.4.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ ВАТТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНЕНИЙ ИНЖЕКЦИОННОГО ЛАЗЕРА

Методические указания
к лабораторной работе по физике
для студентов инженерно-технических специальностей

С о с т а в и т е л и :
БИБИК Александр Иванович
ИВАНОВ Алексей Алексеевич
ПОТАЧИЦ Владимир Александрович

Технический редактор О.В. Песенько
Компьютерная верстка А.И. Бибик

Подписано в печать 04.11.2011.
Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 0,91. Тираж 100. Заказ 762.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.