



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Техническая физика»

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЛАЗЕРОВ

Методические указания к лабораторной работе

**Минск
БНТУ
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Техническая физика»

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЛАЗЕРОВ

Методические указания к лабораторной работе

Минск
БНТУ
2014

УДК 535.8
ББК В.22
ИЗ9

Составители:

И. К. Султанова, Н. Г. Блинкова, Г. Н. Блинков

Рецензент

Г. Г. Кужир

Методические указания к лабораторной работе содержат цель работы, теоретическую часть, в которой рассматривается устройство и физические основы работы различных типов лазеров, и практическую часть, в которой приводится описание экспериментальной установки, порядок выполнения двух упражнений по определению периода дифракционной решетки и длины волны полупроводникового лазера.

Предназначены для студентов инженерно-технических специальностей по разделу опти-ка в лабораторном практикуме.

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

Цель работы: изучить физические основы работы лазеров; устройство и принцип работы лазеров с различными активными средами; получить значение постоянной дифракционной решетки; измерить длину волны лазерного излучения.

Приборы и принадлежности: гелий-неоновый и полупроводниковый лазеры, дифракционная решётка.

Физические основы работы лазеров

В 1915 г. А. Эйнштейн впервые ввел понятие о спонтанном и вынужденном излучениях. На возможность усиления света за счет вынужденного излучения указал советский физик В. А. Фабрикант в 1940 г. Далее последовал ряд работ по реализации теоретически обоснованных (П. Дирак в 1927–1930 гг.) процессов в приборах, получивших название *квантовых усилителей* или *квантовых генераторов*.

Квантовые генераторы, излучающие в диапазоне видимого и инфракрасного излучения, получили название *лазеров* (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) – усиление света стимулированным, вынужденным, индуцированным излучением.

Стимулированное излучение, сопровождающее вынужденные переходы, обладает весьма важными свойствами. Направление его распространения в точности совпадает с направлением распространения внешнего излучения, вызвавшего переход. То же самое относится к частоте, фазе и поляризации вынужденного и внешнего излучений. Таким образом, вынужденное и внешнее излучения оказываются когерентными. Эта особенность вынужденного излучения лежит в основе действия усилителей и генераторов света – лазеров.

Рассмотрим систему из N одинаковых частиц (атомов, молекул). Каждая частица может находиться либо в стационарном состоянии с энергией E_1 , либо в стационарном состоянии с энергией E_2 (рис. 1).

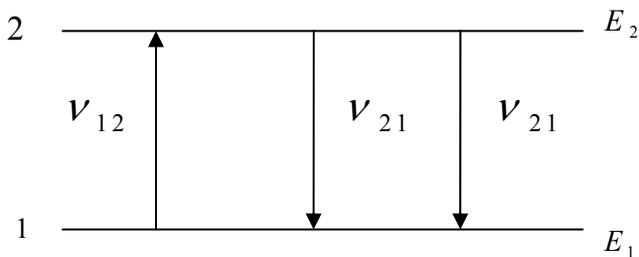


Рис. 1

Такая физическая модель называется *двухуровневой схемой*. Число атомов данной системы N_1 и N_2 с энергиями E_1 и E_2 соответственно. N_1 – населенность первого основного уровня с энергией E_1 ; N_2 – населенность второго возбужденного уровня с энергией E_2 . Если рассматриваемая система находится в термодинамическом равновесии с окружающей средой, то соотношение населенностей описывается распределением Больцмана:

$$N_2 = N_1 e^{-(E_2 - E_1) / kT}, \quad (1)$$

где T – температура;

$k - 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$ – постоянная Больцмана.

В случае термодинамического равновесия при любой температуре $N_2 < N_1$. Если $N_2 > N_1$, то такое соотношение населенностей является инверсной. Состояние системы в этом случае является неравновесным.

Согласно квантовой теории излучения Эйнштейна между уровнями 1 и 2 могут наблюдаться оптические переходы трех видов:

1. Спонтанные (самопроизвольные переходы) ($2 \rightarrow 1$), из возбужденного состояния в основное с испусканием фотона.

2. Вынужденные переходы ($1 \rightarrow 2$), из основного состояния в возбужденное, происходящие в результате поглощения внешнего излучения.

3. Вынужденные переходы ($2 \rightarrow 1$), из возбужденного состояния в основное с испусканием фотона, происходящие в результате воздействия на систему внешнего излучения той же частоты, что и частота испускания.

Спонтанные переходы в различных атомах системы протекают независимо друг от друга. Вследствие этого фотоны, испущенные в результате спонтанных переходов, некоррелированы между собой по направлению, фазе и поляризации.

Частота излучения, соответствующая испускаемому фотону, не зависит от типа перехода, поскольку она определяется лишь разностью энергий уровней, между которыми происходит переход.

Изменение населенности возбужденного уровня dN_2 , обусловленное наличием спонтанных переходов, определяется выражением

$$dN_2 = -A_{21}N_2(t)dt, \quad (2)$$

где A_{21} – вероятность спонтанного перехода или коэффициент Эйнштейна;

$N_2(t)$ – населенность возбужденного уровня;

dt – интервал времени.

Изменение населенности уровней, обусловленное наличием вынужденных переходов, можно записать аналогично формуле (2):

$$dN_2 = -B_{21}UN_2(t)dt + B_{12}UN_1(t)dt, \quad (3)$$

$$dN_1 = -B_{21}UN_2(t)dt + B_{12}UN_1(t)dt, \quad (4)$$

где B_{12} и B_{21} – коэффициенты Эйнштейна для вынужденных переходов с поглощением и испусканием соответственно;

U – объемная плотность энергии внешнего (вынуждающего) излучения.

Рассмотрим в приближении *двухуровневой системы* процессы поглощения и усиления света. Интенсивность света, прошедшего через вещество, согласно закону Бугера:

$$J = J_0 e^{-\alpha d}, \quad (5)$$

где J_0 – интенсивность падающего света;

α – коэффициент поглощения;

d – толщина поглощающего слоя.

Если населенность возбужденного энергетического уровня $N_2 \neq 0$, под действием падающего излучения, помимо перехода с поглощением фотонов, будут происходить вынужденные переходы с излучением. Так как вынужденно испущенные фотоны неотличимы от фотонов падающего света, то происходит частичная компенсация убыли фотонов в прошедшем пучке. Коэффициент поглощения α пропорционален разности населенностей основного и возбужденного уровней:

$$\alpha = \frac{h\nu}{c}(N_1B_{12} - N_2B_{21}). \quad (6)$$

При $B_{12} = B_{21}$, что справедливо для невырожденных уровней:

$$\alpha = \frac{h\nu}{c}B_{12}(N_2 - N_1). \quad (7)$$

Если $N_2 < N_1$, то $\alpha > 0$ и $I < I_0$, наблюдается поглощение света.

При увеличении объемной плотности падающего излучения происходит выравнивание населенностей основного и возбужденного уровней. Это приводит к уменьшению коэффициента поглощения.

При $N_2 = N_1$ вынужденные переходы с испусканием полностью компенсируют убыль фотонов в прошедшем пучке, обусловленную переходами с поглощением. В этом случае $\alpha = 0$, $J = J_0$, т. е. среда не поглощает свет. Отсюда вытекает также принципиальная невозможность создания инверсной населенности в двухуровневой системе при оптическом возбуждении.

Если в системе каким-то способом (неоптическим) создана инверсная населенность $N_2 > N_1$, то вынужденные переходы с испусканием будут преобладать над переходами с поглощением. Это приводит к тому, что $J > J_0$, т.е. наблюдается усиление света. Для описания этого процесса вводится понятие отрицательного *коэффициента поглощения*:

$$\alpha = \frac{h\nu}{c}B_{21}(N_1 - N_2) < 0.$$

Соответственно совокупность атомов с инверсной населенностью можно рассматривать как среду с отрицательным *коэффициентом поглощения*.

Практическое осуществление усиления света в лазерах стало возможным после того, как были найдены способы создания инверсной населенности уровней в некоторых веществах.

Рабочим телом лазера является среда (твердая, жидкая или газообразная), содержащая специально подобранные атомы, ионы или молекулы, в результате высвечивания которых возникает лазерное

излучение. Эти атомы (ионы, молекулы) называют *активными центрами*. Они составляют относительно малую долю от всех атомов (молекул), образующих активную среду. Ранее было показано, что нельзя создавать инверсную заселенность с помощью двухуровневой системы. Активную среду, для активных центров которой выполнено условие инверсии, называют *инвертированной активной средой*.

Физические механизмы заселения энергетических уровней достаточно многообразны. Поэтому существуют разные способы создания инвертированных активных сред или разные способы *накачки* активной среды.

Прежде всего, отметим оптическую накачку – преимущественное заселение верхнего рабочего уровня за счет световой энергии специальных излучателей (газоразрядных импульсных ламп, ламп непрерывного горения).

Для газообразной активной среды часто применяют накачку с использованием самоподдерживающегося электрического разряда. Преимущественное заселение верхнего рабочего уровня происходит в результате неупругих столкновений активных центров со свободными электронами, образующимися в плазме разряда.

При химической накачке преимущественное заселение верхних рабочих уровней происходит в процессе экзотермических химических реакций в активной среде.

Применяют также сильный нагрев активной среды с последующим быстрым ее охлаждением. Использование различных способов накачки тесно связано с характером активной среды.

В качестве активных центров используются различные атомы, ионы, молекулы, которые имеют свои структуры (и часто сложные) энергетических уровней. Однако разнообразие этих структур можно свести к нескольким упрощенным схемам, которые позволяют понять механизм создания инверсной заселенности энергетических уровней.

Это может быть трехуровневая или четырехуровневая схема. Система накачки (например, оптическая накачка) переводит **активные центры на уровень возбуждения**. В течение относительно малого времени ($\sim 10^{-8}$ с) активные центры переходят с уровня возбуждения на верхний рабочий уровень, передавая избыток энергии, например, колебаниям кристаллической решетки (в твердотельной

активной среде). Такой верхний рабочий уровень называют *мета-стабильным*. В результате происходит накопление активных центров на этом уровне и возникает инверсия. Четырехуровневая система отличается от трехуровневой большим числом вспомогательных переходов, что приводит к дополнительной потере энергии. В таких схемах частота рабочего перехода отличается от частоты перехода накачки, в отличие от двухуровневой системы, где частоты накачки и рабочего перехода одинаковы.

Активная среда является основным элементом оптического квантового генератора (ОКГ). Фотоны, случайно родившиеся при спонтанных переходах активных центров с верхнего рабочего уровня на нижний, могут инициировать множество вынужденных переходов $E_2 \rightarrow E_1$, и как следствие, целой лавины вторичных фотонов, находящихся в том же состоянии, что и первичный «спонтанный» фотон. Однако спонтанно рождающиеся фотоны, а также лавины вторичных фотонов испускаются активными центрами независимым образом в самых разных направлениях. Следовательно, излучение, состоящее из таких фотонных лавин, некогерентно.

Когерентное излучение получают с помощью *оптического резонатора* – принципиально важного элемента лазера. В простейшем случае оптический резонатор представляет собой пару зеркал на общей оптической оси, которая определяет в пространстве направление лазерного луча. Между зеркалами оптического резонатора помещается активный элемент. Твердотельные активные элементы имеют чаще всего форму цилиндрического тела, ось которого совпадает с оптической осью резонатора. Одно из зеркал оптического резонатора обладает некоторой прозрачностью, через это зеркало выходит лазерное излучение.

Избирательность по энергиям фотонов осуществляется путем подбора активных центров с соответствующей им системой энергетических уровней. Кроме того, с этой целью используются в резонаторе зеркала, коэффициент отражения которых изменяется с частотой излучения. Таким образом, резонатор формирует лазерное излучение с высокими когерентными свойствами и определенной структурой светового поля. То есть лазерное излучение – это плоская монохроматическая волна с определенной поляризацией.

Устройство и принцип работы лазеров с различными активными средами

Твердотельными называют лазеры, активная среда которых представляет собой диэлектрический кристалл или стекло, в которое введены (в виде примеси) специальные ионы, играющие роль активных центров. В твердотельных лазерах применяется только оптическая накачка.

В качестве примера рассмотрим устройство и принцип работы твердотельного рубинового лазера. Активная среда – рубин – представляет собой кристалл окиси алюминия Al_2O_3 (корунд), активированный ионами хрома, которые и определяют спектроскопические свойства кристалла. Торцы рубинового стержня тщательно отполированы и представляют собой строго параллельные друг другу зеркала. Один торец покрывается плотным непрозрачным слоем серебра, другой таким слоем серебра, который обеспечивает выход лазерного излучения.

Работу рубинового лазера можно описать в приближении трехуровневой схемы, приведенной на рис. 2.

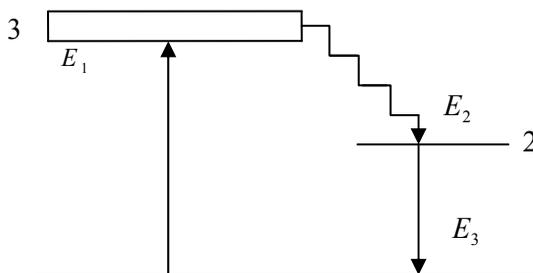


Рис. 2

Оптическая накачка осуществляется излучением импульсных газоразрядных ламп, питаемых от батареи конденсаторов. В результате поглощения света импульсных ламп ионы хрома переходят на возбужденный уровень 3. Большая часть возбужденных ионов хрома сначала отдает часть своей энергии кристаллической решетке корунда без излучения света и переходит на возбужденный рабочий уровень 2 (метастабильное состояние). Переход $2 \rightarrow 1$ запрещен

правилом отбора, согласно которому $\Delta l = \pm 1$, где l – орбитальное квантовое число. Поэтому среднее время жизни иона в метастабильном состоянии ($\sim 10^{-3}$ с) примерно в 10^5 раз превосходит время жизни в обычном возбужденном состоянии. На втором этапе ионы из метастабильного состояния переходят в основное, излучая фотон с $\lambda = 694,3$ нм. Под воздействием фотонов такой же длины волны, т. е. при вынужденном излучении, переход ионов хрома из метастабильного состояния в основное происходит значительно быстрее. Фотоны, возникающие при вынужденном излучении, летят в том же направлении что и падающие. Фотоны, направление движения которых образует малые углы с осью кристаллического стержня, испытывают многократные отражения от торцов образца. Поэтому путь их в кристалле будет очень большим, так что каскады фотонов в направлении оси получают особенное развитие. Когда пучок становится достаточно интенсивным, часть его выходит через полупрозрачный торец кристалла. Фотоны, испущенные спонтанно в других направлениях, выходят из кристалла через его боковую поверхность.

Лазеры на рубине работают в импульсном режиме (с частотой повторения порядка несколько импульсов в минуту). Внутри кристалла выделяется большое количество тепла, поэтому его приходится интенсивно охлаждать.

Газоразрядными называют лазеры на разреженных газовых активных средах (с давлением от 1 до 10 мм рт.ст.), возбуждаемых самостоятельным электрическим разрядом. Различают три типа таких лазеров, активными центрами которых являются свободные ионы, свободные атомы, свободные молекулы. Ионные лазеры генерируют главным образом в видимой, а также в ближней ультрафиолетовой области спектра. Лазеры на атомных переходах генерируют в более широком диапазоне длин волн от 0,4 до 100 мкм. Молекулярные лазеры генерируют излучение в диапазоне 1–0,2 мкм. Активная среда газоразрядного лазера – *плазма*, образующаяся при возникновении электрического разряда.

Лазер на смеси гелия и неона – пример газоразрядного лазера на атомных переходах с непрерывным режимом работы. На рис. 3 показана принципиальная схема лазера.

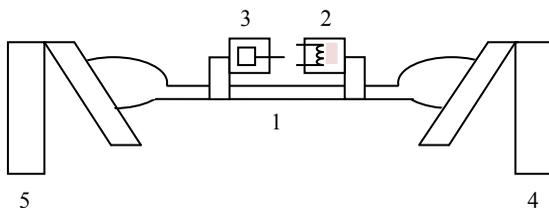


Рис. 3

1 – газоразрядная стеклянная трубка, диаметром несколько миллиметров и длиной от нескольких десятков сантиметров до 1,5 метров и более;
 2 – катод, накаливаемый низковольтным источником питания;
 3 – анод; 4 и 5 – зеркала резонатора

Когда разность потенциалов между катодом и анодом достигает примерно 10^3 В, в рабочем капилляре газоразрядной трубки, имеющей диаметр в несколько миллиметров, зажигается тлеющий разряд. Плоскости выходных окон газоразрядной трубки фиксированы таким образом, что перпендикуляр к плоскости окна составляет с осью резонатора угол Брюстера. В этом случае отраженный от поверхности зеркала световой луч оказывается полностью, а преломленный – частично поляризованным.

Генерация происходит на переходах между уровнями атомов неона (они являются активными центрами). Кроме того, в состав активной зоны входит буферный газ – гелий.

Разряд возбуждает атомы He, переводя их на метастабильный уровень 2^3S (рис. 4).

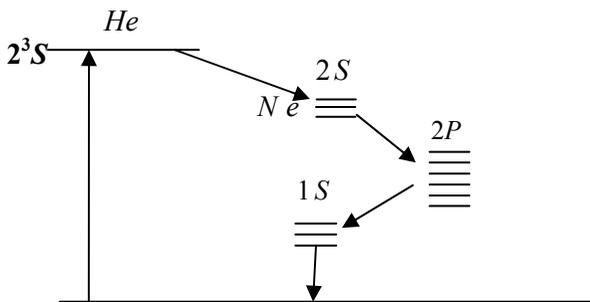


Рис. 4

Возбужденные атомы He сталкиваются с атомами Ne, находящимися в основном состоянии, и передают им свою энергию. В ре-

зультате атомы Ne переходят на уровень 2S, вследствие чего возникает инверсная населенность уровней 2S и 2p. Переход 2S→2p дает излучение лазера. Из-за быстрых переходов атомов Ne с уровня 2p на уровень 1S не происходит накопления атомов Ne в состоянии 2p.

Уровень 2S состоит из четырех, а уровень 2p – из десяти подуровней. Существует 30 разрешенных правилом отбора переходов с подуровней 2S на подуровень 2p, соответствующих длинам волн от 0,6 до 5,4 мкм. Газовые лазеры работают в непрерывном режиме и не требуют интенсивного охлаждения.

В жидкостных лазерах в качестве активной среды используются жидкости: либо растворы органических красителей, либо специальные жидкости, активированные ионами редкоземельных элементов. Наиболее широко применяются лазеры на растворах органических красителей. Активная среда таких лазеров представляет собой жидкий растворитель (вода, этанол, метанол, бензол, ацетон и др.), в котором находятся молекулы органического красителя, играющие роль активных центров. Общий диапазон длин волн, генерируемых различными красителями, составляет 0,3...1,3 мкм. Молекулы красителя поглощают излучение накачки и высвечиваются, как правило, в видимой области спектра.

Для возбуждения красителей применяют как лазерную, так и не лазерную накачки. В первом случае в качестве источника накачивающего излучения используется вспомогательный лазер, во втором – газоразрядная лампа.

В качестве примера на рис. 5 показан один из вариантов продольной схемы накачки.

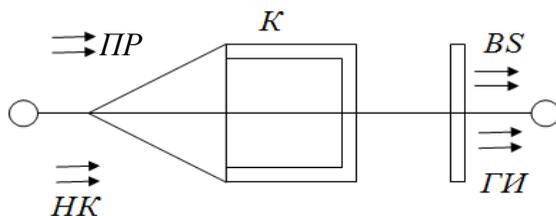


Рис. 5

К – краситель; *ПП* – призма полного внутреннего отражения;
ВЗ – выходное зеркало резонатора; *НК* – накачивающее излучение;
ГИ – генерируемое излучение

Кювета с красителем находится внутри резонатора, у которого одно из зеркал заменено призмой полного внутреннего отражения. Выходное зеркало резонатора полностью непрозрачно для накачиваемого излучения.

Накачиваемое излучение, распространяясь вдоль оси резонатора ОО, попадает через призму в кювету с красителем и возбуждает молекулы красителя. Генерируемое в красителе излучение выходит через выходное зеркало резонатора. Чтобы краситель не перегревался, его быстро прокачивают через зону генерации. В результате прокачки красителя происходит удаление из зоны генерации продуктов фотораспада.

В полупроводниковых лазерах облучают полупроводник светом такой частоты, чтобы энергия фотонов равнялась ширине запрещенной зоны. Такой фотон может быть поглощен электроном, находящимся в валентной зоне вблизи ее верхнего края, в результате этого электрон совершит квантовый переход в зону проводимости.

В этом случае говорят о поглощении света. С такой же вероятностью фотон может инициировать встречный процесс – переход в валентную зону электрона, находящегося вблизи дна зоны проводимости; в результате рождается еще один (вторичный) фотон, причем в том же состоянии, в каком находится первичный. В этом случае говорят о вынужденном испускании света. Возможно также самопроизвольное возвращение электрона из зоны проводимости в валентную зону.

Для того чтобы полупроводник усиливал излучение, надо создать инверсию – сделать так, чтобы концентрация электронов вблизи нижнего края зоны проводимости была больше концентрации электронов вблизи верхнего края валентной зоны. Такие полупроводники называются *вырожденными*. В этом случае процессы вынужденного испускания света будут преобладать.

Инверсию в беспримесном полупроводнике можно создать различными способами. С этой целью используют оптическую накачку, облучая полупроводник светом такой частоты, чтобы энергия фотонов была больше ширины запрещенной зоны. Более широко используется накачка электронным пучком. Быстрые электроны (с энергией около 50...100 эВ), пролетая через полупроводник, инициируют переходы электронов из валентной зоны в зону проводимости. Используются

полупроводники: арсенид галлия (GaAs), сульфид кадмия (CdS), селенид кадмия (CdSe) и др. Больше половины своей энергии электроны, бомбардирующие полупроводниковый кристалл, тратят на его нагревание. Поэтому используются обычно достаточно короткие импульсы электронов и кроме того применяется принудительное охлаждение кристалла. Повышение температуры увеличивает заселенность более высоких уровней, что приводит к уменьшению концентрации электронов у нижнего края зоны проводимости. Таким образом, уменьшается степень инверсной заселенности состояний, что приводит к снижению коэффициента усиления.

Различают два типа полупроводниковых лазеров, накачиваемых электронным пучком, – лазеры с поперечной накачкой и с продольной накачкой.

В первом типе лазеров, который показан на рис. 6, электронный пучок и генерируемое излучение распространяются во взаимно перпендикулярных направлениях. Пучок электронов падает нормально на одну из граней полупроводникового кристалла, имеющего форму прямоугольного параллелепипеда. Две других противоположных грани этого параллелепипеда отполированы и представляют собой зеркала оптического резонатора.

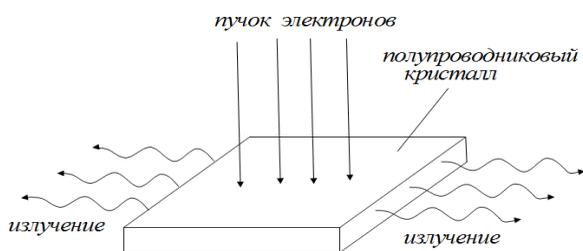


Рис. 6

В лазерах с продольной накачкой в качестве зеркал резонатора используются не грани полупроводникового кристалла, а внешние зеркала. Активная среда в таких лазерах представляет собой тонкий слой полупроводника, нанесенный на прозрачную подложку с хорошей теплопроводностью. На рис. 7 показана схема лазера с продольной накачкой, где направление электронного пучка совпадает с осью резонатора.

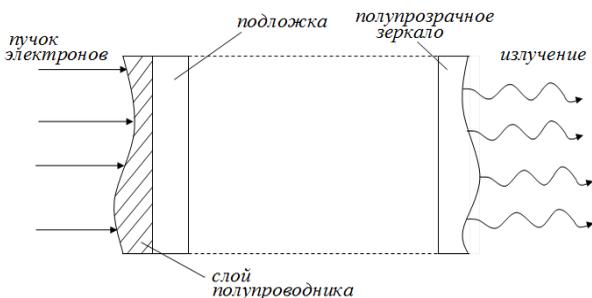


Рис. 7

Электронный пучок падает на принудительно охлаждаемый полупроводниковый слой. Применение схем с продольной накачкой позволяет улучшить отвод тепла от полупроводника и увеличить его рабочий объем.

Внесение в полупроводниковый кристалл тех или иных примесей существенно изменяет его свойства. В энергетической схеме атомам примеси соответствует энергетический уровень, располагающийся внутри запрещенной зоны на расстоянии ΔE от нижнего края зоны проводимости, которое примерно в 100 раз меньше ширины запрещенной зоны. Поэтому достаточно небольшого теплового возбуждения, чтобы электрон покинул атом, т. е. совершил квантовый переход с примесного уровня в зону проводимости. Если концентрация примесей в полупроводнике достаточно высока, то в нем реализуется вырождение по электронам, такой полупроводник называют *вырожденным n-полупроводником*. В полупроводниках с акцепторной примесью насыщение примесного уровня достигается в результате небольшого теплового возбуждения. При этом в валентной зоне возникает определенная концентрация дырок, которая может обеспечить вырождение по дыркам. Такой полупроводник называют *вырожденным p-полупроводником*.

В инжекционных лазерах для создания инверсии заселенностей в полупроводниковой активной среде используют контакт друг с другом двух вырожденных полупроводников разного типа (*n-полупроводник* и *p-полупроводник*). Такой контакт называют *p-n переходом*.

К p - n переходу приложено электрическое напряжение (рис. 8) таким образом, чтобы под действием поля электроны проводимости из n -полупроводника инжектировались в область p - n перехода, одновременно в эту же область будут инжектироваться дырки из p -полупроводника. В области p - n перехода будут происходить переходы электронов из зоны проводимости в валентную зону, где происходит рекомбинация электронов проводимости и дырок, в результате чего при наличии оптического резонатора может быть реализована лазерная генерация.

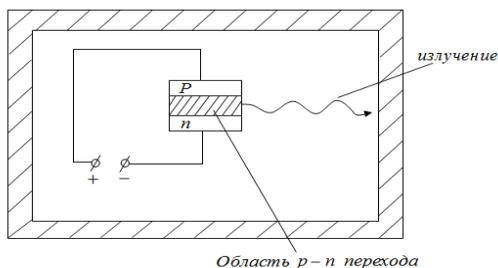


Рис. 8

Инжекционный лазер отличается своей миниатюрностью, генерация в некоторых образцах осуществляется при комнатных температурах. КПД таких лазеров достигает 50–60 %.

Применение лазеров

Лазеры находят широкое применение в современных физических, химических и биологических исследованиях, имеющих фундаментальный характер. Лазерное излучение, обладающее достаточно высокой мощностью, может обратимо изменять физические характеристики вещества, что позволяет использовать его в области нелинейной оптики.

Лазер дает возможность осуществлять сильную концентрацию световой энергии в узких частотных интервалах, при этом возможна плавная перестройка частоты. Поэтому лазеры широко применяются для получения и исследования оптических спектров вещества с высокой степенью точности.

Лазеры позволяют также осуществлять избирательное возбуждение тех или иных состояний атомов и молекул, разрыв определенных химических связей. В результате оказывается возможным инициирование конкретных реакций, управление развитием этих реакций, исследование их кинетики.

Использование сверхкоротких световых импульсов дает возможность проследить за развитием быстротекущих процессов в веществе, например, фотосинтеза.

При обсуждении практических применений лазеров обычно выделяют два направления. Первое направление связывают с применениями, в которых лазерное излучение используется для целенаправленного воздействия на вещество. Сюда относят лазерную обработку материалов (например, сварку, термообработку, резку, пробивание отверстий), лазерное разделение изотопов, применение лазеров в медицине и т. д.

Второе направление связывают с так называемыми информативными применениями лазеров – для передачи и обработки информации, для осуществления контроля и измерения.

Экспериментальная установка

Внешний вид установки приведен на рис. 9.

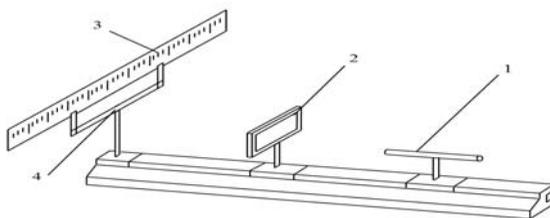


Рис. 9

1 – лазер (в работе используются He – Ne газовый лазер и полупроводниковый лазер); 2 – дифракционная решетка; 3 – шкала-экран; 4 – винт смещения нулевого деления шкалы-экрана относительно лазерного луча

Внимание! При работе на установке необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

Запрещается: Перемещать лазер, отсоединять разъемы токоведущего кабеля, смотреть в выходное отверстие лазера (опасно для зрения).

Упражнение 1. Определение постоянной дифракционной решетки

Порядок проведения эксперимента

1. Включить тумблер «Сеть» на блоке питания гелий-неонового лазера (длина волны излучения лазера $\lambda = 632,8$ нм), при этом загорится индикаторная лампочка. Через 5–30 с должен появиться лазерный луч.

2. Вращением винта 4 совместить нулевое деление шкалы-экрана с центром сечения лазерного луча.

3. Установить на оптическую скамью рейтер с закрепленной в нем дифракционной решеткой.

4. Проверить и при необходимости откорректировать перпендикулярность установки шкалы-экрана к лазерному лучу. При правильной установке расположение дифракционных спектров первого и второго порядков слева и справа симметрично относительно спектра нулевого порядка (рис. 10).

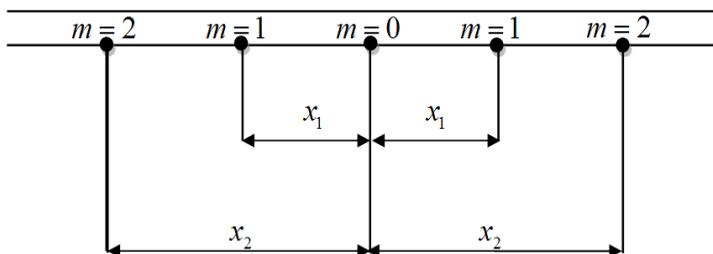


Рис. 10

5. Расположить дифракционную решетку на минимальном расстоянии от шкалы экрана (до соприкосновения рейтеров). Зарисовать наблюдаемую дифракционную картину, пронумеровать наблюдаемые порядки дифракционных спектров.

6. Отодвигая решетку от шкалы-экрана измерить по шкале на оптической скамье расстояние L между плоскостями шкалы-экрана и решетки (деление, совпадающее с рейтером решетки) при фиксированных значениях X_1 и X_2 (расстояния по шкале экрана от нулевого до первого и второго максимума соответственно). Результаты занести в таблицу 1.

7. Выключить лазер.

Таблица 1

№ измерения	X_1 , мм	L , мм	d	X_2	L , мм	d	$d_{\text{ср}}$
1	140			140			
2	160			160			
3	180			180			
4	200			200			
5	220			220			

8. Используя формулу дифракционной решетки для максимума m -го порядка

$$d \sin \varphi = m\lambda, \quad (1)$$

получим выражение для постоянной решетки

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \varphi}, \quad (2)$$

где d – постоянная дифракционной решетки;

m – порядок дифракционного максимума (1 или 2),

λ – длина волны гелий-неонового лазера.

С учетом экспериментальных данных получим выражение

$$\sin \varphi = \frac{X_m}{\sqrt{X_m^2 + L^2}}. \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), запишем расчетную формулу для постоянной дифракционной решетки

$$d = \frac{m\lambda}{X_m} \sqrt{X_m^2 + L^2}.$$

9. В соответствии с расчетной формулой получить десять значений d постоянной решетки. Определить среднее арифметическое $d_{\text{ср}}$.

10. Рассчитать относительную погрешность в измерении d по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta X}{X} + \frac{X \Delta X + L \Delta L}{X^2 + L^2},$$

затем абсолютную погрешность

$$\Delta d = \varepsilon d_{\text{ср}},$$

11. Записать результат в виде

$$d = d_{\text{ср}} \pm \Delta d.$$

Упражнение 2. *Определение длины волны полупроводникового лазера*

1. Включить полупроводниковый лазер.
2. Повторить пункты 2–6 упражнения 1.
3. Заполнить таблицу 2.

Таблица 2

№ измерения	X_1 , мм	L , мм	λ	X_2 , мм	L , мм	λ	$\lambda_{\text{ср}}$
1	140			140			
2	160			160			
3	180			180			
4	200			200			

4. Выключить лазер.

5. Используя формулу дифракционной решетки и данные, полученные в ходе измерений, рассчитать восемь значений для длины волны лазерного излучения по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{d}{m} \frac{X_m}{\sqrt{X_m^2 + L^2}}, \quad (4)$$

где d – постоянная решетки, значение которой получено в упражнении 1;

m – порядок спектра (1 или 2).

6. Определить среднее арифметическое $\lambda_{\text{ср}}$.

7. Рассчитать относительную погрешность в измерении λ по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta X}{X} + \frac{X\Delta X + L\Delta L}{X^2 + L^2},$$

затем абсолютную погрешность

$$\Delta\lambda = \varepsilon\lambda_{\text{ср}}.$$

8. Записать результат в виде

$$\lambda = \lambda_{\text{ср}} \pm \Delta\lambda.$$

Контрольные вопросы

1. Заселенность уровней, инверсная заселенность.
2. Спонтанные и вынужденные переходы с излучением. Вероятности оптических переходов.
3. Условия генерации света.
4. Принцип действия различного типа лазеров.
5. Свойства лазерного излучения.
6. Устройство твердотельного лазера на рубине.
7. Устройство газового гелий-неонового лазера.

Литература

1. Сойка, А. К. Лазеры и техническая оптика : пособие по дисциплине «Физика» для студентов инженерно-технических, химико-технологических и инженерно-экономических специальностей / А. К. Сойка. – Минск : БГТУ, 2012. – 257 с. : ил.
2. Ландсберг, Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг. – М., 1976, 730–735.
3. Савельев, И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев – М., 1979, Т. 3, §42,43.
4. Тарасов, Л. В. Лазеры и их применение / Л. В. Тарасов. – Изд-во «Радио и связь», 1983.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ЛАЗЕРОВ

Методические указания к лабораторной работе

Составители:

СУЛТАНОВА Ирена Константиновна

БЛИНКОВА Наталья Геннадьевна

БЛИНКОВ Геннадий Николаевич

Редактор *Л. Н. Шалаева*

Компьютерная верстка *А. Г. Занкевич*

Подписано в печать 27.01.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 100. Заказ 1009.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65.220013, г. Минск.