

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

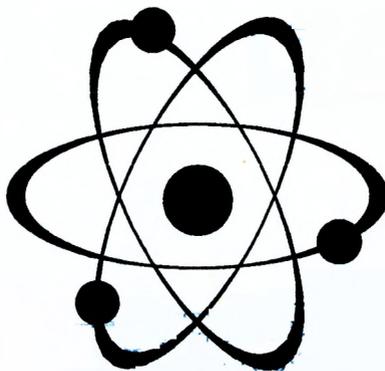
Кафедра физики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы Ф2
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ»

по дисциплине
«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»

для студентов специальности
1-36 04 02 «Промышленная электроника»
дневной формы обучения



Брест 2007

УДК 535.243, 535.341.08, 535.345.1

Методические указания предназначены для студентов специальности 1-36 04 02 «Промышленная электроника» дневной формы обучения, выполняющих лабораторные работы по физическим основам электронной техники. Содержат теоретические сведения, методику определения ширины запрещенной зоны полупроводников оптическим методом, задания для самостоятельной работы, контрольные вопросы и рекомендуемую литературу.

Авторы: И.С. Янусик, старший преподаватель
К.И. Русаков, доцент, к. ф.-м. н.
Т.Л. Кушнер, старший преподаватель, к. ф.-м. н.

Рецензент: В.С. Костко, к. ф.-м. н., доцент кафедры общей физики БрГУ им. А.С. Пушкина

Цель работы: изучить процессы оптического поглощения в полупроводниках; освоить методику определения ширины запрещенной зоны полупроводников оптическим методом; определить значения ширины запрещенной зоны полупроводниковых кристаллов по спектрам пропускания.

Приборы и принадлежности: спектрофотометр СФ-26, образцы полупроводников.

I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Основы спектрофотометрического анализа

Изучение веществ по их спектрам поглощения является в настоящее время одним из самых распространенных методов исследований, не приводящих к разрушению образцов. Данный метод является достаточно универсальным и применяется при исследовании как твердых, так и жидких материалов.

В основе спектрофотометрического анализа лежит свойство веществ поглощать свет определенных длин волн, характерных для данного типа соединений. В процессе поглощения кванта света атомом вещества, происходит его переход из основного невозбужденного состояния в одно из возможных возбужденных. Энергия поглощаемого кванта света равна разности энергий возбужденного и основного состояний атома. Следовательно, спектры поглощения и излучения одиночных атомов являются линейчатыми. В сложных молекулах атомы принимают участие в колебательном и вращательном движении, что приводит к появлению множества энергетических подуровней, поэтому для молекул характерны широкополосные спектры. Интенсивность полос поглощения определяется вероятностью перехода молекул из основного состояния в возбужденное. Зависимость вероятности поглощения от частоты или длины волны света называется **спектром поглощения**.

Для измерения спектров поглощения необходимы источники света с непрерывным спектром излучения, такие как водородная лампа в ультрафиолетовой области, и лампа накаливания – в видимой области.

1.2. Взаимодействие оптического излучения с кристаллами

В кристаллических телах под действием излучения происходят сложные физические процессы, обусловленные взаимодействием фотонов, электронов и атомов. При этом на общую картину оптических явлений в кристаллах неизбежно накладываются такие факторы, как наличие дефектов решетки, внешние воздействия (температура, электрические и магнитные поля, давление), и взаимозависимости между ними.

Если на кристалл падает электромагнитное излучение с длиной волны λ и интенсивностью $I_0(\lambda)$, то, исследуя интенсивность отраженного $I_R(\lambda)$ или прошедшего через образец, излучения $I_T(\lambda)$, можно изучить процессы, происходящие в кристалле под действием падающих на него волн. Для характеристики зависимостей $I_T(\lambda)$ и $I_R(\lambda)$ введены оптические коэффициенты.

Коэффициент пропускания $T(\lambda)$ характеризует долю излучения, прошедшего через образец, и определяется соотношением:

$$T(\lambda) = \frac{I_T}{I_0}, \quad (1.1)$$

где I_0 – интенсивность излучения, падающего на образец;
 I_T – интенсивность излучения, прошедшего через образец.

$T(\lambda)$ может быть безразмерной величиной или выражаться в процентах.

Коэффициент отражения $R(\lambda)$ характеризует долю отраженного от кристалла излучения и определяется соотношением:

$$R(\lambda) = \frac{I_R}{I_0}, \quad (1.2)$$

где I_0 – интенсивность излучения, падающего на образец;
 I_R – интенсивность излучения, отраженного от образца.

$R(\lambda)$ – величина либо безразмерная, либо выраженная в процентах.

Любое вещество характеризуется **коэффициентом поглощения** $\alpha(\lambda)$, который определяется законом Бугера–Ламберта:

$$I_T = I_0(1 - R)e^{-\alpha x}, \quad (1.3)$$

где I_0 – интенсивность излучения, падающего на образец;
 I_T – интенсивность излучения, прошедшего через образец;
 R – коэффициент отражения;
 α – коэффициент поглощения;
 x – толщина образца.

Выражая из (1.3) коэффициент α , получим:

$$\alpha = \frac{1}{x} \ln \frac{I_0(1 - R)}{I_T}. \quad (1.4)$$

Коэффициент поглощения α характеризует долю излучения, поглощенного образцом толщиной в один метр. В системе СИ коэффициент поглощения α имеет размерность м^{-1} , но часто для удобства данный коэффициент принято измерять в см^{-1} или в мм^{-1} . В образцах с плоско-параллельными гранями отражение происходит на двух границах раздела, и тогда интенсивность излучения, прошедшего через образец:

$$I_T = (1 - R)^2 I_0 e^{-\alpha x}. \quad (1.5)$$

Если коэффициент R неизвестен, то можно найти α , измеряя пропускание в двух образцах различной толщины. В этом случае:

$$\alpha = \frac{1}{x_2 - x_1} \ln \frac{I_{T1}}{I_{T2}} \quad (1.6)$$

где I_{T1} – интенсивность излучения, прошедшего через 1-й образец;

I_{T2} – интенсивность излучения, прошедшего через 2-й образец;

x_1 – толщина 1-го образца;

x_2 – толщина 2-го образца.

В случае, когда толщина образца такова, что внутри него предполагается многократное внутреннее отражение, коэффициент α рассчитывается по более сложной формуле, которая будет приведена позже.

Спектральные зависимости от длины волны $R(\lambda)$ и $\alpha(\lambda)$, от частоты $R(\omega)$, $\alpha(\omega)$ или от энергии квантов падающего излучения $R(\hbar\omega)$, $\alpha(\hbar\omega)$ называются соответственно **спектрами отражения** или **спектрами поглощения** для данного материала.

1.3. Механизмы поглощения света

Процессы поглощения света следует классифицировать по тому, на что непосредственно расходуется энергия поглощенных квантов света.

Можно выделить следующие механизмы поглощения.

1) Взаимодействие света с атомами кристаллической решетки приводит к превращению энергии квантов света в энергию фононов, т.е. при поглощении фотона в кристалле рождается один фонон (однофононное поглощение) или несколько фононов (многофононное поглощение). Этот тип взаимодействия получил название **решеточного** или **фононного** поглощения. Фононы – кванты колебательной энергии кристаллической решетки.

2) При поглощении квантов света (фотонов) полупроводником их энергия может быть передана электронам валентной зоны с переходом этих электронов в зону проводимости, т.е. энергия квантов света идет на ионизацию атомов полупроводника. Такой вид поглощения называют **собственным** или **фундаментальным**.

3) Кванты света могут реагировать и со свободными носителями заряда в разрешенных зонах, т.е. с электронами в зоне проводимости или дырками в валентной зоне. В этом случае энергия фотонов расходуется на переход носителей заряда на более высокие уровни. Этот вид поглощения называют поглощением **на свободных носителях**.

4) Если фотоны взаимодействуют с примесными центрами, причем энергия фотонов идет на возбуждение примесных атомов или на их ионизацию (в этом случае электроны могут переходить из валентной зоны в зону проводимости или на примесный уровень), говорят о **примесном** поглощении.

5) **Экситонным** называют поглощение, при котором в кристалле образуется пара электрон–дырка, связанная кулоновским взаимодействием.

Рассмотрим более подробно различные виды поглощения.

1.3.1. Собственное поглощение

При собственном поглощении энергия кванта света, падающего на полупроводник, расходуется на перемещение электронов из валентной зоны в зону проводимости. Этот переход может осуществляться только в том случае, если энергия фотона $\hbar\omega$, будет не меньше ширины запрещенной зоны E_g , т.е. $\hbar\omega \geq E_g$. В полупроводниках с повышением температуры происходит расширение кристаллической решетки и усиление колебаний атомов относительно положений равновесия, что сопровождается уменьшением ширины запрещенной зоны.

При поглощении света должны выполняться два закона – закон сохранения энергии и закон сохранения импульса:

$$E_n = E_p + \hbar\omega \quad (1.7)$$

где E_n – энергия электрона, перешедшего в зону проводимости;

E_p – энергия дырки, образовавшейся в валентной зоне;

$\hbar\omega$ – энергия поглощенного фотона.

$$\vec{p}_n = \vec{p}_p + \vec{p}_{\text{фот.}} \quad (1.8)$$

где $\vec{p}_n = \hbar\vec{k}_n$ – импульс электрона, перешедшего в зону проводимости;

$\vec{p}_p = \hbar\vec{k}_p$ – импульс дырки, образовавшейся в валентной зоне;

$\vec{p}_{\text{фот.}}$ – импульс фотона.

Импульс фотона примерно на три порядка меньше импульса электрона. Поэтому выражение (1.8) можно записать в виде:

$$\hbar\vec{k}_n \approx \hbar\vec{k}_p, \text{ или } \vec{k}_n \approx \vec{k}_p \quad (1.9)$$

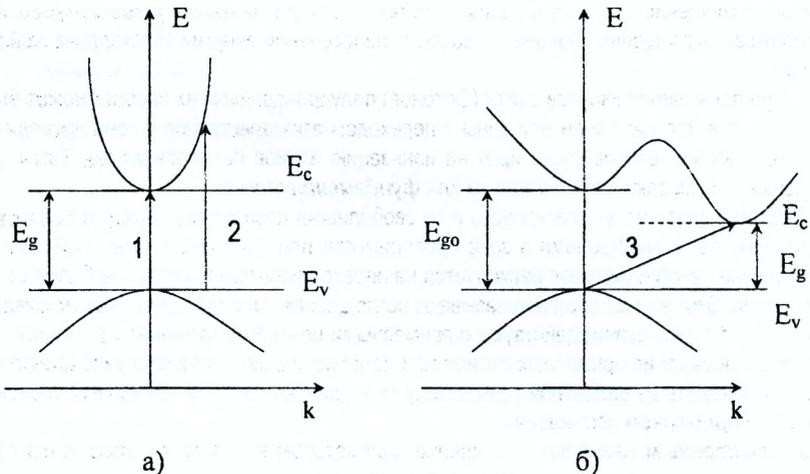


Рисунок 1.1 – Прямые (а) и непрямые (б) межзонные переходы

Соотношение (1.9) называют *правилом отбора* для электронных переходов. Оно показывает, что в процессе взаимодействия электрона с полем излучения возможны только такие переходы, при которых волновой вектор \vec{k} сохраняется. На энергетической диаграмме (рисунок 1.1 а) такие переходы изображают вертикальными стрелками 1 и 2 и называют *прямыми межзонными* переходами или *вертикальными*.

Если экстремумы зоны проводимости и валентной зоны находятся при различных значениях волнового вектора \vec{k} , то такие переходы называются *непрямыми межзонными* переходами (рисунок 1.1 б, стрелка 3). Такие переходы происходят с участием третьей квазичастицы – фонона. В этом случае законы сохранения энергии и импульса имеют вид:

$$E_n = E_p + \hbar\omega \pm E_{\text{фон}}, \quad (1.10)$$

где $E_{\text{фон}}$ – энергия фонона;

$$\vec{p}_n = \vec{p}_p + \vec{p}_{\text{фон}} \pm \vec{p}_{\text{фон}}, \quad (1.11)$$

где $\vec{p}_{\text{фон}}$ – импульс фонона.

Знак «+» относится к процессам, протекающим с поглощением фонона, «-» — с испусканием фонона.

Полупроводники, для которых преобладают прямые межзонные переходы, называются *прямозонными*. К таким, например, относятся ZnO, GaAs, CdSe, CdS и т.д. В непрямозонных полупроводниках (Ge, Si, GaP и т.д.) доминируют не прямые переходы, соответствующие наименьшей энергии фотонов.

1.3.2. Экситонное поглощение

При поглощении света полупроводником возможно такое возбуждение электрона из валентной зоны, при котором он не переходит в зону проводимости, а образует с дыркой связанную систему, получившую название *экситон*. Если размеры экситона велики по сравнению с периодом решетки, то взаимодействие электрона и дырки можно представить как кулоновское взаимодействие двух точечных зарядов, ослабленное в $\epsilon\epsilon_0$ раз, где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость кристалла, ϵ_0 – электрическая постоянная. Экситон сходен с возбужденным атомом водорода, поскольку электрон и дырка двигаются по орбитам вокруг их центра масс. В такой модели экситон имеет водородоподобную схему расположения энергетических уровней, и энергетический спектр является дискретным (рисунок 1.2).

При условии изотропности эффективных масс (m_n^* , m_p^*) и, если оптический переход будет прямым и осуществляется при $K=0$, экситон будет характеризоваться водородоподобной серией линий поглощения (рисунок 1.2), которые удовлетворяют соотношению:

$$\hbar\omega = \hbar\omega_\infty - \frac{E_{\text{экс}}}{n^2}, \quad (1.12)$$

где $E_{\text{экс}}$ – энергия связи экситона;

n – порядок экситонного состояния.

Или

$$\hbar\omega = E_g - \frac{E_{\text{экс}}}{n^2} \quad (1.13)$$

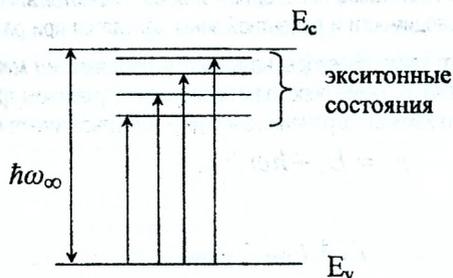


Рисунок 1.2 – Экситонное поглощение фотонов

Экситоны могут образовываться как в результате прямых, так и непрямых переходов. Они являются электрически нейтральными и могут локализоваться возле различных дефектов кристаллической структуры (в основном у нейтральных). В этом плане спектроскопия связанных электронов (обычно при температурах 4–77 К) широко используется для обнаружения точечных дефектов.

1.3.3. Примесное поглощение

При энергии фотонов $\hbar\omega < E_g$ может осуществляться примесное поглощение, обусловленное ионизацией, или возбуждением примесных центров в кристалле. При наличии в полупроводнике донорной или акцепторной примеси в его запрещенной зоне появляются локальные энергетические уровни (рисунок 1.3). Под действием излучения могут происходить переходы электронов с донорных E_D уровней в зону проводимости (переход показан стрелкой 1) и из валентной зоны на акцепторный E_A уровень (переход 2). Граница этого поглощения сдвинута в область длинных волн тем сильнее, чем меньше энергия соответствующего перехода.

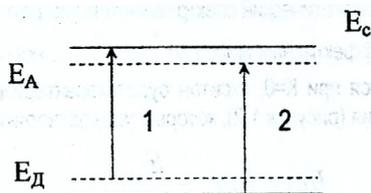


Рисунок 1.3 – Примесное поглощение
 (1 – переход электронов с донорных уровней в зону проводимости;
 2 – переход из валентной зоны на акцепторный уровень)

Следует отметить, что если примесные атомы уже ионизированы, то примесное поглощение наблюдаться не будет. Поскольку температура истощения примеси падает с уменьшением энергии ее ионизации, то для наблюдения примесного поглощения необходимо охладить полупроводник до низких температур.

Например, спектр поглощения германия легированного золотом (энергия ионизации примеси $E_{пр} = 0,08$ эВ, граница поглощения $\lambda = 9$ мкм), наблюдается при 77 К, при легировании сурьмой ($E_{пр} = 0,01$ эВ, $\lambda = 135$ мкм) примесное поглощение наблюдается при температуре 4 К.

1.3.4. Поглощение свободными носителями заряда

При освещении полупроводника светом определенной длины волны электроны зоны проводимости и электроны не полностью заполненной валентной зоны могут осуществлять переходы внутри зоны с одного уровня на другой (рисунок 1.4 а).

Такие внутризонные переходы происходят с нарушением правил отбора. В силу закона сохранения импульса они осуществляются только тогда, когда наряду с поглощением фотона происходит поглощение или испускание фонона. Коэффициент поглощения можно определить из следующего соотношения:

$$\alpha = \frac{n\lambda^2}{\mu} \quad (16)$$

где n – концентрация свободных носителей;
 λ – длина волны падающего излучения;
 μ – дрейфовая подвижность.

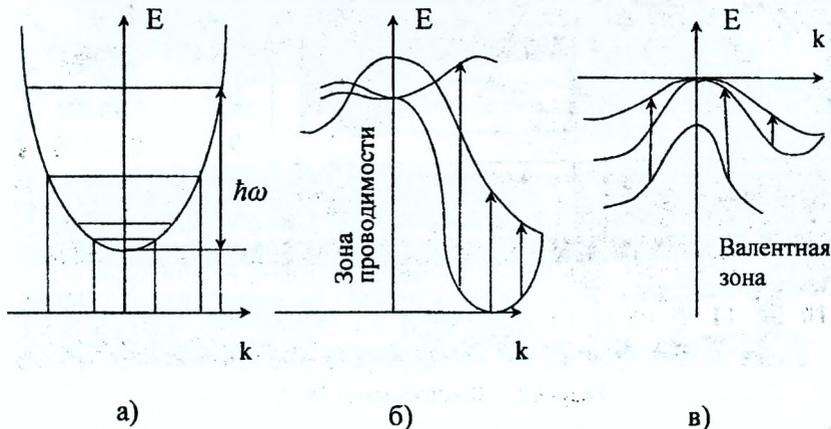


Рисунок 1.4 – Поглощение света свободными носителями заряда при переходах внутри одной подзоны (а), между подзонами зоны проводимости (б) и валентной зоны (в)

Если энергетические зоны у полупроводника сложны (Ge, Si, GaP, AlAs и др.), то на поглощение свободными носителями накладывается поглощение, обусловленное переходами между отдельными подзонами зоны проводимости (рисунок 1.4 б) и валентной зоны (рисунок 1.4 в).

II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Описание лабораторной установки

Спектрофотометр СФ-26 (рисунок 2.1) состоит из монохроматора (1), шкалы измерительного прибора (2), осветителя (3) с источниками излучения и стабилизатором, кюветного отделения (4), камеры (5) с фотоприемниками и усилителем. На передней стенке камеры (5) располагаются: рукоятка (6) «Чувствительность»; рукоятка (7) шторки, перекрывающей световое окно камеры; рукоятка (8) «Нуль» установки нуля.

ВНИМАНИЕ! Установка нуля осуществляется потенциометром с двойной регулировкой (грубой и тонкой), им необходимо пользоваться с большой осторожностью, не прилагая усилий.

Также справа на передней панели кюветного отделения располагается регулятор положения держателя с образцами (9).

Внизу и слева на приборе расположены (10): тумблер «Сеть»; сигнальная лампа «Сеть»; сигнальная лампа «Д», показывающая включение дейтериевой лампы; сигнальная лампа «Н», показывающая включение лампы накаливания. Рукоятка (11) позволяет установить необходимую длину волны. Правее располагаются регулятор (12) «Компенсация», рукоятка (13) «Отсчет», регулятор ширины щели (14).

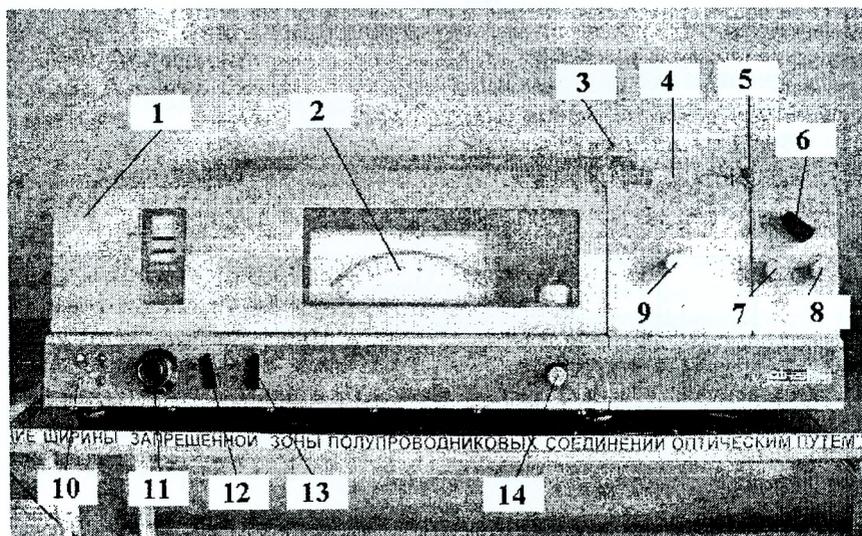


Рисунок 2.1 – Спектрофотометр СФ-26

Шкала измерительного прибора (2) оцифрована в процентах пропускания (Т) и единицах оптической плотности (D). В спектрофотометре имеются два источника со сплошным спектром излучения: дейтериевая лампа для работы в области длин волн 186–350 нм и лампа накаливания – для работы в диапазоне 340–1100 нм. Смена источников излучения производится путем переключения рукоятки осветителя (3) из положения «Д» в положение «Н».

Для крепления плоских твердых образцов в каретке кюветного отделения служит держатель с четырьмя окнами, позволяющий измерять пропускание в образцах толщи-

Для крепления плоских твердых образцов в каретке кюветного отделения служит держатель с четырьмя окнами, позволяющий измерять пропускание в образцах толщиной 0,5–2 мм, шириной 8–15 мм. Для фиксации положения держателя образцов в каретке используется рамка, вставляемая в одну из прорезей в стенках каретки. Держатель образцов устанавливается в каретку стороной с белой точкой к лицевой части спектрофотометра, предельно близко к выходному окну монохроматора. Каретка с образцами перемещается с помощью рукоятки (9) и может фиксироваться в четырех положениях: «1», «2», «3» и «4», соответствующих четырем образцам.

Вращение рукоятки (11) позволяет выбрать определенный диапазон длин волн. Шкала длин волн имеет вид спирали Архимеда с оцифровкой от 185 до 1200 нм.

Регулятор (12) «Компенсация» используется, если исследуемые образцы сильно поглощают излучение. В этом случае можно растянуть 10-процентный диапазон на всю шкалу, используя резисторы компенсации. Регулятор имеет 10 положений, обеспечивающих работу в диапазонах коэффициентов пропускания 110–100, 100–90... 10–0.

Рукоятку (13) «Отсчет» используют следующим образом:

- положение «х1» рукоятки (13) используют для измерения в диапазоне коэффициентов пропускания от 100 до 0;
- положение «х0,1» используют для растяжки 10-процентного диапазона на всю шкалу измерительного прибора при включенном компенсаторе (12);
- положение «х0,01» используется при измерении образцов с пропусканием меньше 10 %, для растяжки одного процента из диапазона от 0 до 10 % в 100 раз на всю шкалу измерительного прибора.
- положение «Калибр» используют для установки 100-процентного отсчета при работе с сильно поглощающими образцами, когда световые потоки, прошедшие через измеряемый образец и попадающие на фотоприемник, малы. При этом измерение производится с более широкими щелями, чтобы увеличить световой поток.

Рукоятка (14) позволяет регулировать ширину щели в диапазоне от 0,01 до 2 мм.

2.2. Подготовка спектрофотометра к работе

1. Установите рукоятку осветителя (3) в положение «Н», а рукоятку камеры (5) в положение «К», что включает фотозлемент, работающий в красном спектральном диапазоне, а в качестве источника работает лампа накаливания.
2. Закройте фотозлемент, поставив рукоятку шторы (7) в положение «Закр».
3. Включите тумблер «Сеть» (10), после чего должны загореться сигнальная лампа «Сеть» и сигнальная «Н». Стабильная работа спектрофотометра обеспечивается через 15 минут после его включения. **ВНИМАНИЕ!** После прогрева запрещается открывать крышку кюветного отделения (4), она должна быть плотно закрыта.
4. Установите рукоятку (12) «Компенсация» в положение «0».
5. Согласуйте с преподавателем выбор образцов, диапазон длин волн для измерений и шаг изменения длины волны. Установите максимальную длину волны из заданного диапазона, вращая рукоятку (11) в сторону увеличения. Если при этом шкала повернется на большую величину, чем Вам необходимо, возвратите ее назад на 3–5 нм, и снова подведите к требуемому значению длины волны.

- Установите рукоятку (6) «Чувствительность» в положение «1». Если поток излучения недостаточен, а измеряемый и контрольный образцы значительно поглощают излучение, установите рукоятку в положение «2», «3» или «4».

2.3. Измерение коэффициентов пропускания

- Установите на пути потока излучения контрольный образец, перемещая каретку рукояткой (9) на себя, и зафиксировав ее в положении «1». При отсутствии контрольного образца за 100% пропускания принимается значение светового потока, проходящего через свободное окно держателя фильтров.
- Установите рукоятку (13) «Отсчет» в положение «x1».
- Установите рукоятку (8) «Нуль» стрелку измерительного прибора на ноль.
- Установите рукоятку (7) шторы фотозлемента в положение «Откр».
- Установите стрелку измерительного прибора на деление «100», вращая рукоятку (14) изменения ширины щели.
- Установите в рабочее положение измеряемый образец, перемещая каретку рукояткой (9) в положение «2», «3» или «4» (в зависимости от номера образца, согласованного с преподавателем), и снимите показания пропускания (T) по шкале (2).
- Выведите из потока излучения измеряемый образец, установив рукоятку (9) обратно в положение «1». При этом стрелка измерительного прибора должна вернуться на деление «100».

2.4. Задания для самостоятельной работы

- Согласуйте с преподавателем номера измеряемых образцов, диапазон и шаг изменения длины волны для предстоящих измерений.
- Составьте таблицу по предлагаемому образцу.

№ п/п	λ , мкм	$\hbar\omega$, эВ	T, %	T, отн.ед.	α , см ⁻¹	α^2 , см ⁻²	$\alpha^{1/2}$, см ^{-1/2}
-------	-----------------	--------------------	------	------------	-----------------------------	-------------------------------	-------------------------------------

- Руководствуясь пунктами 1–7 раздела 2.3, проведите измерения коэффициентов пропускания T для одного образца, указанного преподавателем, начиная с максимального значения длины волны. Повторите измерения для всех длин волн из данного диапазона. Данные измерений заносите в таблицу (см. пункт 2).
- Рассчитайте энергию фотона, падающего на образец, по формуле:

$$\hbar\omega = \frac{1,24}{\lambda} \quad (2.1)$$

где λ – длина волны излучения, падающего на образец.

- Рассчитайте коэффициенты поглощения α для исследуемого образца по формуле, учитывающей многократное отражение:

$$\alpha = \frac{1}{x} \ln \left\{ \frac{(1-R)^2}{2T} + \sqrt{\frac{(1-R)^4}{4T^2} + R^2} \right\}, \quad (2.2)$$

Значение $R=0,21$, если каретка устанавливалась в положение «2», $R=0,23$, если каретка устанавливалась в положение «3»;
 $R=0,25$, если устанавливалась в положение «4».

- Постройте график зависимости коэффициента пропускания T от длины волны λ . По спектральной зависимости $T = f(\lambda)$ определите длину волны края собственного поглощения λ_0 (из середины «ступеньки» графика $T=f(\lambda)$ опустите перпендикуляр на ось абсцисс).
- Вычислите в джоулях и электрон-вольтах ширину запрещенной зоны E_g исследуемого образца по формуле:

$$E_g = \frac{hc}{\lambda_0}$$

где λ_0 – длина волны края собственного поглощения;

$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме;

1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

- Постройте графические зависимости $\alpha^2 = f(\hbar\omega)$ и $\alpha^{1/2} = f(\hbar\omega)$ для исследуемого полупроводника. Экстраполяцией прямолинейного участка этих зависимостей на ось абсцисс определите значения ширины запрещенной зоны полупроводника E_g и сравните их со значением из пункта 7 данного раздела.
- По найденному значению ширины запрещенной зоны E_g идентифицируйте исследованное полупроводниковое соединение. Используйте данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Значения ширины запрещенной зоны E_g некоторых полупроводников при комнатной температуре

Полупроводник	E_g , эВ
Ge	0,67
Si	1,12
GaN	3,4
AlP	2,45
GaP	2,26
InP	1,35
AlAs	2,16
GaAs	1,35–1,43
InAs	0,36
AlSb	1,58
GaSb	0,72
InSb	0,18
ZnS	3,67 (кубич.); 3,74 (гексag.)
PbSe	0,27
CdS	2,53
PbTe	0,32
ZnSe	2,73

CdSe	1,6–1,85
ZnTe	2,23
AgTe	0,08
CdTe	1,51
PbS	0,39
CuIn ₃ Se ₅	1,21
CuGa ₃ Se ₅	1,77
CuGa ₅ Se ₈	1,81

10. Повторите измерения (пункты 1–7 раздела 2.3) для других образцов, указанных преподавателем. Руководствуясь пунктами 2–9 раздела 2.4, повторите обработку результатов эксперимента.

III. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков механизм взаимодействия света с кристаллической решеткой?
2. В чем сущность прямых и непрямых оптических переходов?
3. Что такое правило отбора?
4. Какова природа примесного поглощения света в полупроводниках и почему оно проявляется при низких температурах?
5. Толстый полупроводниковый образец имеет коэффициент отражения $R=0,36$. Коэффициент пропускания пленки из того же материала толщиной $x=1$ мм равен $T=0,17$. Найдите коэффициент поглощения α ?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Елифанов Г.И. Твердотельная электроника / Г.И. Елифанов, Ю.А. Мома. – М.: Высшая школа, 1986. – 304 с.
2. Киреев П.С. Физика полупроводников / П.С. Киреев. – М.: Высшая школа, 1975. – 584 с.
3. Елифанов Г.И. Физика твердого тела / Г.И. Елифанов – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1977. – 288 с.
4. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках / Панков Ж. – М.: Мир, 1973.
5. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков / П.Т. Орешкин. – М.: Высшая школа, 1977.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители:

Янусик Ирина Семеновна
Русаков Константин Иванович
Кушнер Татьяна Леонидовна

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы Ф2
**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ»**

по дисциплине
«ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»

для студентов специальности
1-36 04 02 «Промышленная электроника»
дневной формы обучения

Ответственный за выпуск: Янусик И.С.
Редактор: Строкач Т.В.
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.
Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано к печати 7.12.2007 г. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая. Усл. печ. л. 0,93.
Уч.-изд. л. 1,0. Заказ № 1300. Тираж 60 экз. Отпечатано на ризографе учреждения
образования «Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267