

Лабораторная работа № 77

Определение красной границы внутреннего фотоэффекта

Цель работы: экспериментальным путём определить красную границу внутреннего фотоэффекта в полупроводниковом фоторезисторе и рассчитать ширину запрещённой зоны используемого фоторезистора.

I. Приборы и принадлежности

1. Монохроматор УМ-2.
2. Ртутная лампа.
3. Лампа накаливания.
4. Собирающая линза.
5. Гальванометр.

II. Подготовка к работе

1. Изучить теоретическое введение к настоящей работе и рекомендуемую литературу.
2. Изучить порядок выполнения работы и приготовить протокол с таблицей.
3. Ответить на вопросы для допуска к работе.

Основная литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1997.
2. Савельев И.В., Курс физики. Т. 3. – М., 1989, § 8, 9, 43, 46.
3. Тюшев А.Н. Курс лекций по физике. Часть 5. Квантовая физика: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2003. – Лекция 5, 13.

Дополнительная литература

4. Тюшев А.Н. Физика в конспективном изложении. Часть 3. Основы молекулярной физики и термодинамики. Квантовая физика: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2003. – С. 93–96; 145–148.

III. Вопросы для допуска к работе

1. Что такое внешний фотоэффект?
2. В чём состоит внутренний фотоэффект, чем он отличается от внешнего?

3. Что такое неравновесные носители заряда?
4. В чём заключается явление фотопроводимости?
5. Какова физическая природа существования красной границы внутреннего фотоэффекта.

IV. Краткое теоретическое введение

Различают внешний и внутренний фотоэффект. Испускание электронов веществом под действием квантов электромагнитного излучения называется внешним фотоэффектом. Внутренним фотоэффектом называется возникновение свободных носителей заряда – электронов и дырок – в твёрдом теле при поглощении в нём квантов электромагнитного излучения (фотонов).

Рассмотрим внутренний фотоэффект на примере собственных полупроводников. Если энергия кванта $\mathcal{E} = h\nu$ ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, ν – частота электромагнитной волны) равна или больше ширины запрещённой зоны $\Delta E_{\text{зап.}}$, то электрон, поглотивший квант света, может перейти из валентной зоны в зону проводимости (рис. 77.1).

При этом возникает пара электрон-дырка: электрон – в зоне проводимости, дырка – в валентной зоне. Когда внешнего воздействия нет (свет отсутствует и полупроводник находится в состоянии термодинамического равновесия с окружающей средой), то пара электрон-дырка могут возникать только за счёт энергии теплового движения, такие носители называются *равновесными*. Носители заряда, возникающие только под влиянием внешнего (неравновесного) воздействия, называются *неравновесными*. Процесс возникновения неравновесных носителей называется *генерацией*. У этого процесса есть конкурирующий процесс: неравновесный электрон, находящийся в зоне проводимости, может отдать энергию, полученную от кванта света, и вернуться в валентную зону на место оставленной им дырки. При этом электрон-дырочная пара исчезает. Этот процесс называется *рекомбинацией*. Именно рекомбинация приводит к тому, что после выключения света полупроводник быстро приходит в состояние термодинамического равновесия, когда неравновесные носители заряда отсутствуют.

Конкуренция процессов генерации и рекомбинации при постоянном освещении приводит к установлению в полупроводнике стационарного состояния, при котором концентрация неравновесных электронов и дырок не зависит от времени. Если теперь приложить к полупроводнику разность потенциалов, то возникает электрический ток возбуждённых светом (фотовозбуждённых) зарядов.

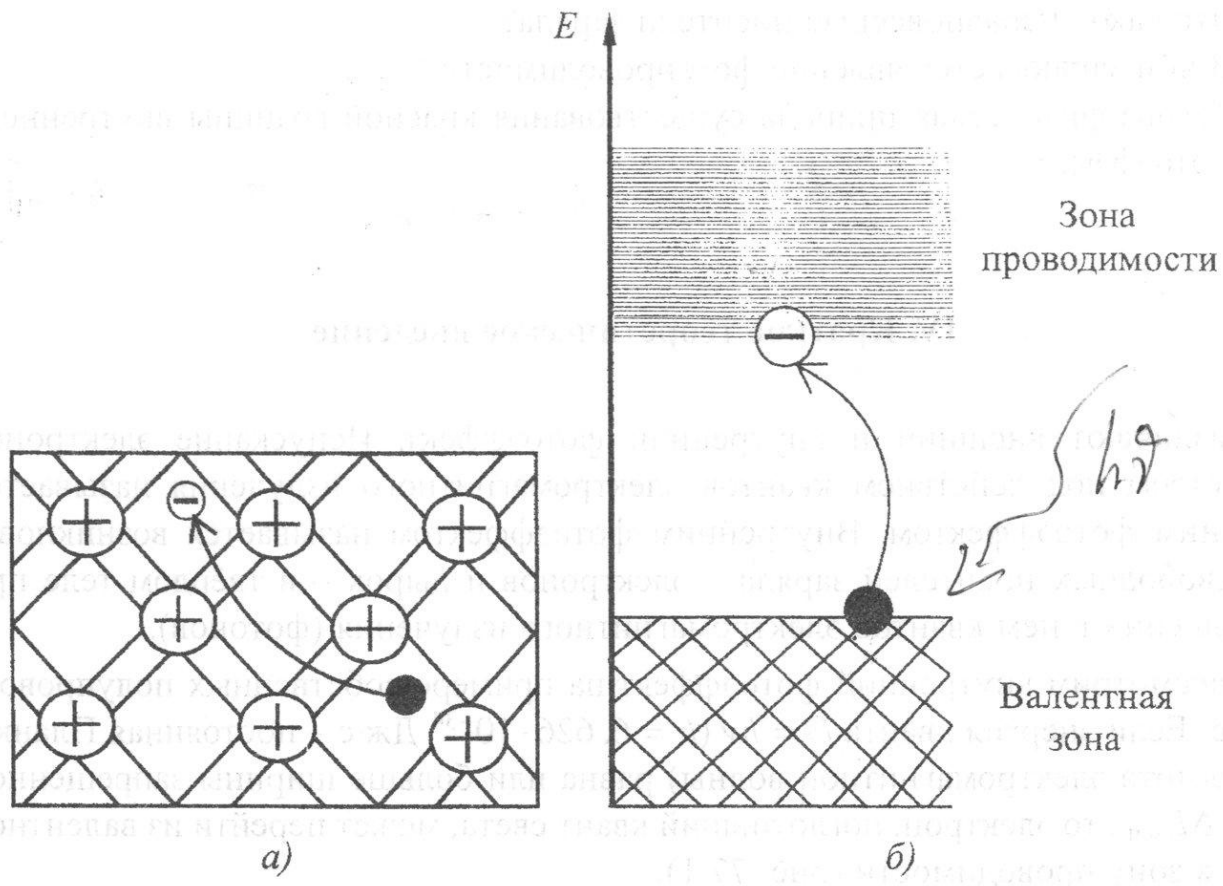


Рис. 77.1. Схема энергетических уровней и переходов при внутреннем фотоэффекте: а) условное изображение кристаллической решетки типа алмаза; б) зонная схема этого кристалла. Стрелка изображает удаление одного из электронов связи. Черный кружок на его месте – свободное место, вакансия (дырка)

Нетрудно видеть, что наименьшая энергия светового кванта \mathcal{E}_{min} , при которой возможно возникновение электрон-дырочной пары в собственном полупроводнике, равна ширине запрещённой зоны $\Delta E_{зап.}$:

$$\mathcal{E}_{min} = \Delta E_{зап.} \quad (77.1)$$

Как известно, энергия фотона

$$\mathcal{E} = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (77.2)$$

здесь $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка; ν – частота света; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме; λ – длина световой волны в вакууме.

С учётом формул (77.1) и (77.2) получим, что максимальная длина волны $\lambda_{кр.}$, при которой ещё будет наблюдаться внутренний фотоэффект, связана с

$\Delta E_{\text{зап.}}$ условием:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda_{\text{кр.}}} = \Delta E_{\text{зап.}} \quad (77.3)$$

Эта длина волны $\lambda_{\text{кр.}}$ называется *красной границей* внутреннего фотоэффекта. Ясно, что фотопроводимость будет существовать лишь для света с длиной волны $\lambda < \lambda_{\text{кр.}}$. Из условия (77.3), зная $\lambda_{\text{кр.}}$, можно определить ширину запрещённой зоны полупроводника $\Delta E_{\text{зап.}}$.

V. Порядок выполнения работы

1. Произвести градуировку монохроматора, для этого:
 - а) ознакомиться с инструкцией по устройству монохроматора.

Инструкция по устройству монохроматора

В работе используется призмный монохроматор-спектрометр УМ-2 (рис. 77.2 и 77.3) Свет от лампы накаливания 1, сфокусированный линзой 2 через входную щель 3 и объектив 4 коллиматора; попадает на сложную диспергирующую призму 5, пройдя которую попадает в зрительную трубу. Объектив 6 даёт изображение входной щели в своей фокальной плоскости.

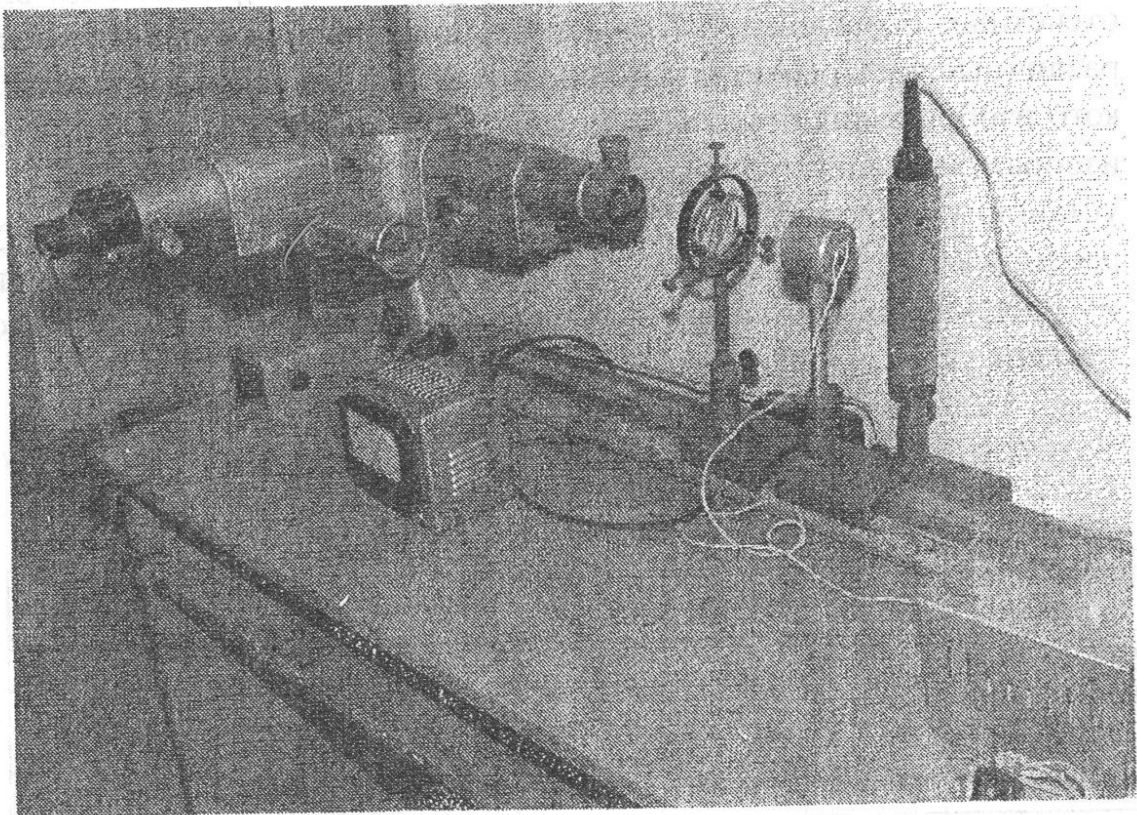


Рис. 77.2. Внешний вид лабораторной установки

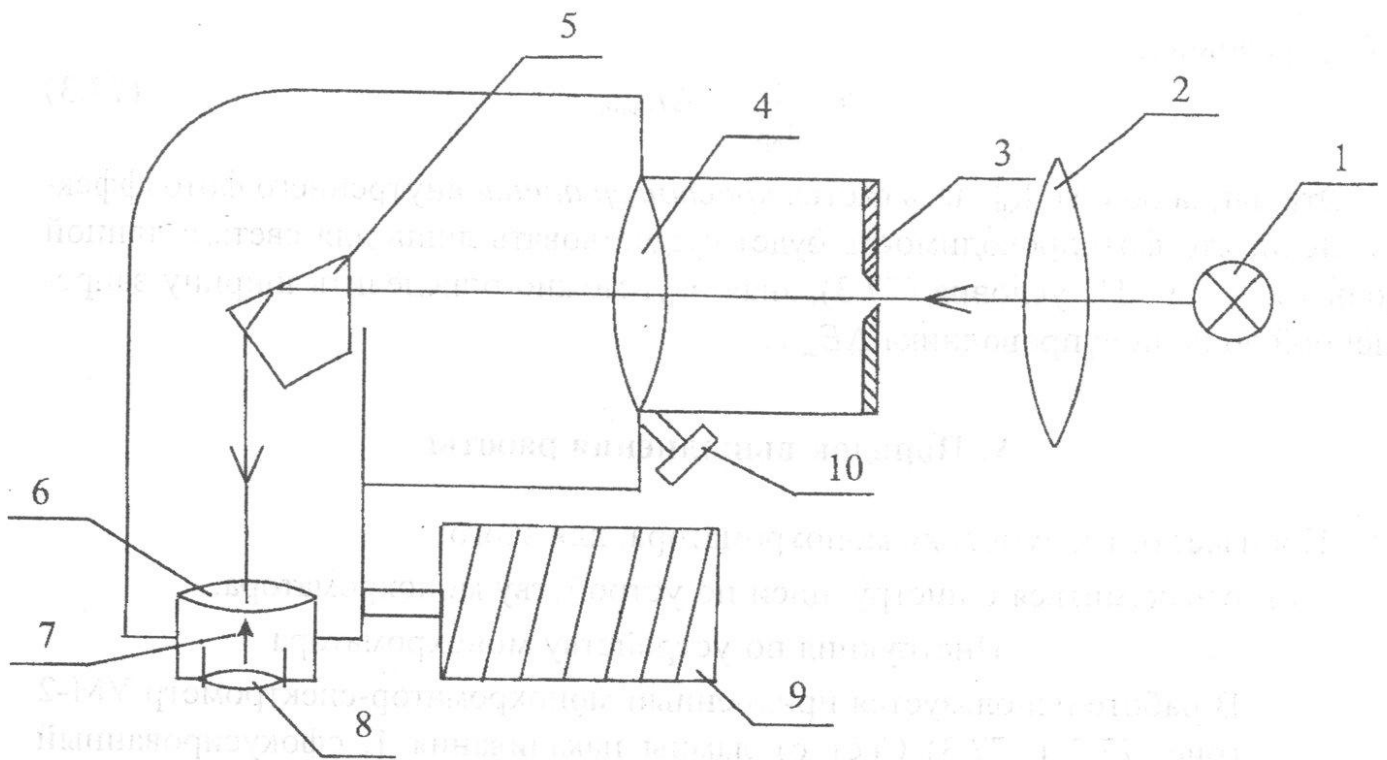


Рис. 77.3. Схема лабораторной установки

В этой плоскости располагается указатель 7, освещённый лампой-подсветкой. Изображение рассматривается в окуляре 8. Столик с призмой 5 поворачивается вокруг вертикальной оси при помощи винта с отсчётным барабаном 9. При этом в поле зрения окуляра появляются различные части спектра. Поворотом оправы окуляра добиваются резкого изображения острия указателя, а при помощи винта 10 – резкого изображения спектральных линий;

- б) установить перед входной щелью монохроматора ртутную лампу;
- в) рассмотреть спектр этой лампы, отождествить (по цвету и взаимному расположению) линии спектра с приводимыми в градуировочной таблице (табл. 77.1);

Градуировочная таблица

Таблица 77.1

Линии ртутной лампы	желтый дублет		зеленая	голубая	фиолетово-синяя	фиолетовая
расположение						
относительная яркость	10	8	10	1	8	2
длина волны, Å	5790,6	5769,0	5469,7	4916,0	4358,3	4047,0
отсчет по барабану						

- г) снять отсчёты по барабану в градусах, результаты занести в градуировочную таблицу, в которой длина волны дана в ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$);
- д) по данным градуировочной таблицы построить градуировочный график, отложив по оси абсцисс отсчёты по барабану в градусах, по оси ординат – длины волн в микрометрах. Так как в спектре излучения ртутной лампы отсутствует излучение в красной и инфракрасной части спектра, то при построении градуировочного графика используются следующие дополнительные данные: спектральным линиям $0,63 \text{ мкм}$ и $0,91 \text{ мкм}$ соответствуют отсчёты по барабану 2580° и 3150° , при условии, что жёлтым линиям ртути ($\lambda \approx 0,58 \text{ мкм}$) соответствуют отсчёт 2340° . Если жёлтая линия наблюдается с отсчётом $2340^\circ \pm \Delta$, то с той же поправкой Δ , берутся два указанных выше числа.

- Установить на оптическую скамью лампу накаливания, свет которой сфокусировать с помощью линзы на открытое входное отверстие монохроматора.
- Закрыть выходное отверстие монохроматора обоймой с фотоспротивлением.
- Поворачивая барабан монохроматора, снять зависимость значений фототока i_ϕ как функцию значений n° – показаний барабана в градусах, начиная с минимального значения фототока. Пройти максимальное значение фототока и дойти до нового минимального. Результаты занести в таблицу измерений (табл. 77.2). Сделать не меньше десяти отсчётов.

Таблица 77.2

Таблица измерений

№	i_ϕ	n°	λ	$\lambda_{\text{кр}}$	$\Delta E_{\text{зап}}$
	мкА		мкм	мкм	эВ

- По градуировочному графику для каждого значения n° найти и записать в таблицу соответствующие значения длин волн λ .
- Построить график зависимости $i_\phi(\lambda)$.
- Найти на графике красную границу фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}}$, результат занести в таблицу.
- По формуле (77.3) вычислить $\Delta E_{\text{зап}}$. Результат перевести из джоулей в электронвольты и занести в таблицу ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).
- На основе полученных результатов сделать выводы.

VI. Контрольные вопросы

1. Изобразите зонные схемы металла, диэлектрика и полупроводника.
2. Что такое фотон?
3. Может ли наблюдаться внешний фотоэффект в полупроводниках?
4. Существует ли внутренний фотоэффект в металлах?
5. Чем отличается внутренний фотоэффект в полупроводниках и диэлектриках?
6. Какие свойства света проявляются в фотоэффекте?