

Федеральное агентство по образованию

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой физики

_____ Е.М. Окс

Физика

ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Руководство к лабораторным работам для студентов
всех специальностей

Разработчики

профессор кафедры физики

_____ В.А. Бурдовицин

_____ 2009г.

Доцент кафедры физики

_____ М.В. Федоров

_____ 2009г.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение внутреннего фотоэффекта на основе измерения световой характеристики полупроводникового фотоэлемента.

2. КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Внутренним фотоэффектом называется перераспределение электронов по энергетическим состояниям в твердых и жидких полупроводниках и диэлектриках, происходящее под действием света. Он проявляется в изменении концентрации носителей тока в среде и приводит к возникновению фотопроводимости или вентильного фотоэффекта. Фотопроводимостью называется увеличение электрической проводимости вещества под действием света. Вентильным фотоэффектом (фотоэффектом в запирающем слое) называется возникновение под действием света ЭДС (фото-ЭДС) в системе, состоящей из контактирующих полупроводника и металла или двух разнородных полупроводников (например, в $p-n$ переходе).

Взаимодействие света с полупроводниками представляет собой достаточно сложное явление. Качественно можно рассмотреть простые случаи. К фотопроводимости приводят следующие виды поглощения света:

Собственное или фундаментальное поглощение света приводит к переходу электрона из связанного состояния в свободное. Т.е. электрон под действием света переходит из валентной зо-

ны в зону проводимости. Собственное поглощение возможно лишь при условии, что энергия кванта света превышает ширину запрещенной зоны. Оно приводит к появлению электронов и дырок, участвующих в создании проводимости полупроводника.

Примесное поглощение вызвано ионизацией атомов примеси, т.е. переходом электрона с примесного уровня в зону проводимости или из валентной зоны на уровень примеси. При этом также возникают носители заряда, участвующие в проводимости.

Поглощение света свободными носителями заряда. Электрическое поле световой электромагнитной волны может ускорять свободные носители заряда, при этом происходит её ослабление. Этот вид поглощения не приводит к изменению концентрации носителей заряда, однако при этом нарушается равновесное распределение носителей заряда по состояниям. Они становятся более «горячими», и их подвижность увеличивается, что приводит к изменению проводимости.

В любом случае, изменение электрического сопротивления полупроводника, можно описать величиной световой проводимости:

$$\gamma_{cv} = eb_n \cdot \Delta n + eb_p \cdot \Delta p. \quad (2.1)$$

где e – элементарный заряд,

b_n, b_p – подвижности электронов и дырок соответственно,

Δn и Δp - избыточная концентрация электронов и дырок, создаваемая светом.

Если γ_{cv} увеличивается при освещении светом, то это положительный фоторезистивный эффект, если уменьшается, то – отрицательный.

Основная проводимость полупроводника обусловлена тепловым возбуждением и называется темновой γ_T . Полная проводимость γ может быть представлена в виде суммы темновой и световой проводимостей:

$$\gamma = eb_n (n + \Delta n) + eb_p (p + \Delta p) = \gamma_T + \gamma_{cv}. \quad (2.2)$$

где n и p – концентрации электронов и дырок в отсутствие света.

Экспериментально доказано, что количество образующихся зарядов, а, следовательно, и проводимость пропорциональна световому потоку.

Явление внутреннего фотоэффекта используется в полупроводниковых фотодиодах. Фотодиод представляет собой p-n переход, при освещении которого фотонами с энергией превышающей ширину запрещенной зоны полупроводника, происходит генерация дополнительных пар носителей заряда. Неосновные носители заряда, для которых поле p-n перехода является ускоряющим, могут легко преодолеть p-n переход и попасть в смежную область (дырки n-области в область p, а электроны p-области в область n) и тем самым внести свой вклад в общий ток неосновных носителей заряда фотодиода. Таким образом

ток неосновных носителей, вызванный освещением, не зависит от напряжения приложенного к р-п переходу. Он пропорционален световому потоку и называется световым током или фототоком.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В работе используется фотодиод (р-п переход), включенный в обратном направлении, как это показано на рис.3.1.

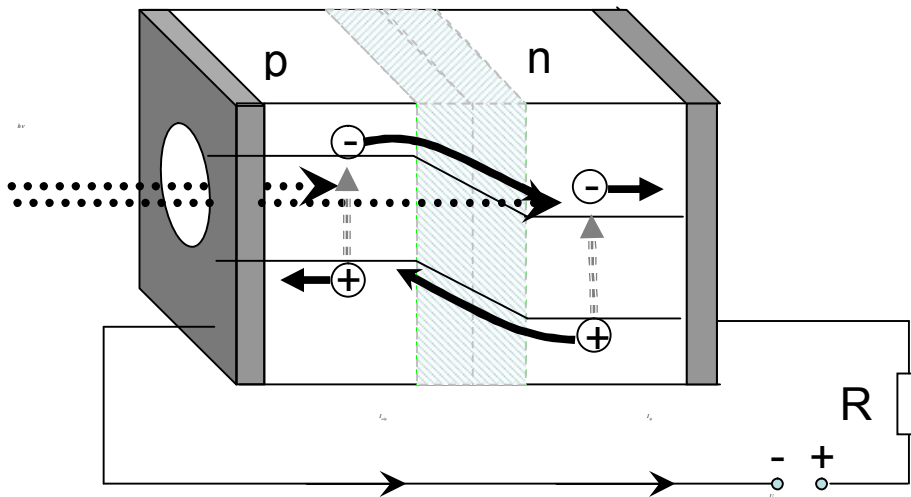


Рисунок 3.1 – Схема включения фотодиода.

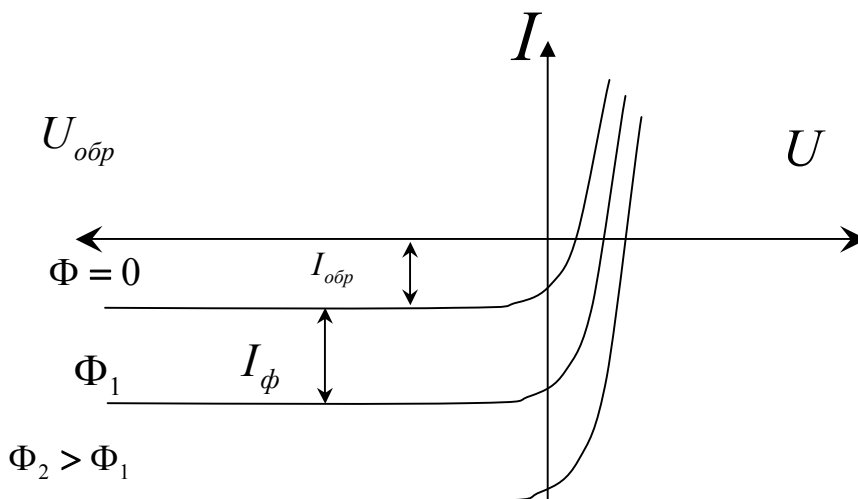


Рисунок 3.2 – Типичное семейство ВАХ для различных световых потоков

При таком включении ток через р-п переход можно представить в виде суммы двух составляющих: фототока I_ϕ определяемого освещенностью и темнового обратного тока $I_{обр}$.

Изучение фотоэффекта заключается в подтверждении линейной зависимости между фототоком I_ϕ и световым потоком, падающим на фотодиод. Изменять световой поток можно изменением расстояния r между источником света и фотодиодом. Действительно, если N – число фотонов, испускаемых точечным источником света в единицу времени, то число фотонов N' , попадающих на фотодиод (которое пропорционально световому потоку) равно

$$N' = \frac{N}{4\pi r^2} S, \quad (3.1)$$

где S – освещаемая площадь р-п перехода.

Т.о., задача сводится к подтверждению линейной зависимости между фототоком I_ϕ и $1/r^2$, поскольку коэффициент перед $1/r^2$ в выражении (3.1) представляет собой константу в условиях постоянства накала источника света.

Конструктивно макет выполнен в виде блока, изображенного на рис. 3.3. В работе используются выключатели 1 «Сеть», 2 «Выбор работы», переключатель 13 «Напр.-Ток», 16 «< >», кнопка 10 «Пуск», рукоятка 15 «Источник света», рукоятка потенциометра 7 и измерительные приборы 11, 12.

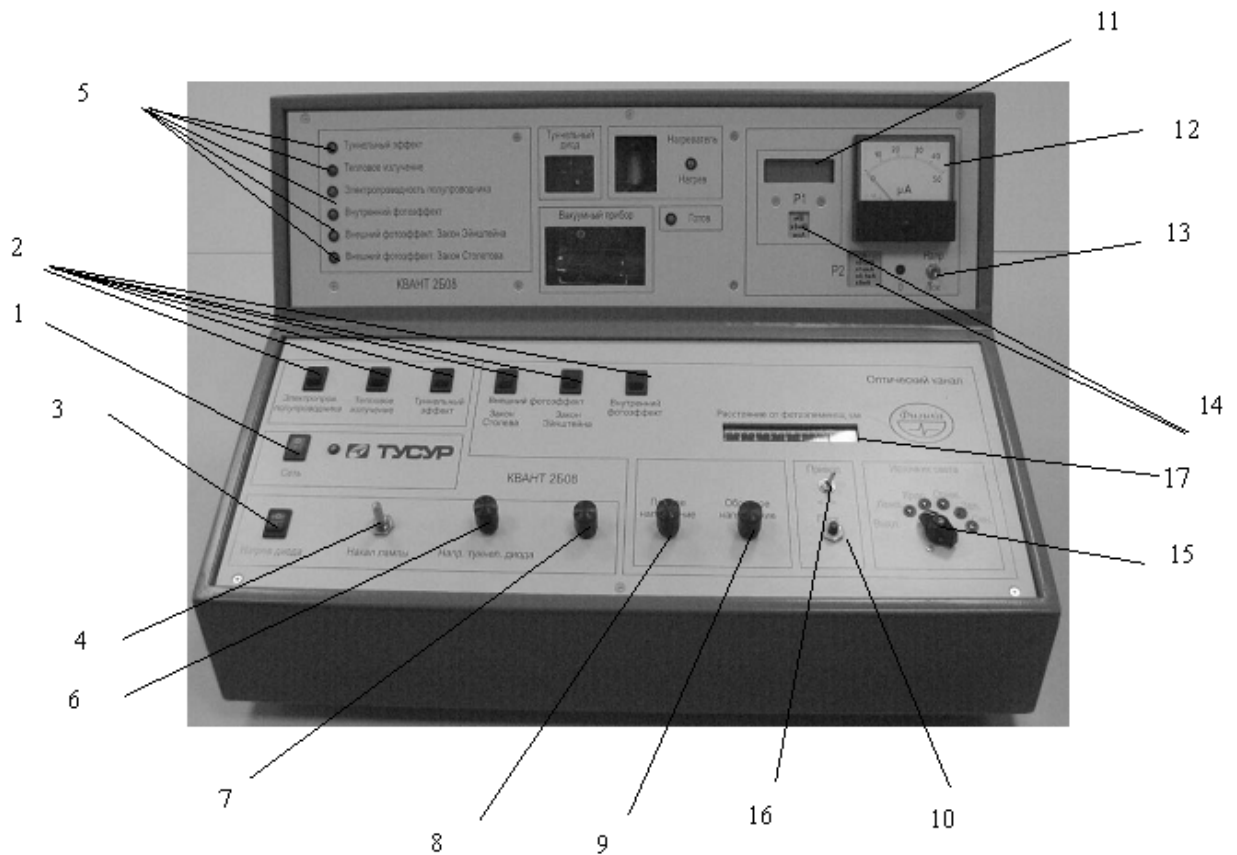


Рисунок 3.3 – Внешний вид установки

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Перед началом работы повернуть все потенциометры против часовой стрелки в крайнее положение. Все кнопки поставить в положение “-”, т.е. «выкл». Включить установку кнопкой «Сеть» 1, при этом загорится сигнальная лампочка.

4.2. Кнопкой 2 выбрать соответствующую работу.

4.3. Убедиться, что рукоятка 15 «Источник света» поставлена в положение «Выкл». Вращая рукоятку потенциометра 7 снять зависимость (7-10 точек) тока от напряжения на фотодиоде, т.е. темновую вольтамперную характеристику. Результаты измере-

ний занести в табл. 4.1. При этом напряжение считывается в **милливольт**ах с цифрового прибора 11 с использованием множителя $\times 5$ мВ, а ток в **микроамперах** считывается непосредственно с прибора 12.

Рекомендация. Поскольку темновой ток мал, рекомендуется выставлять напряжение в интервале 0÷1 В и регистрировать показания токового прибора. Следует иметь в виду, что измерения проводятся на обратной ветви вольтамперной характеристики диода.

4.4. При помощи переключателя 16 и кнопки 10 установить фотодиод максимально близко к источнику света. Расстояние r вычислить по формуле

$$r = r_{изм} - 4,5\text{см}, \quad (4.1)$$

где $r_{изм}$ – расстояние, считанное по шкале 17 (Рис. 3.3). Записать значение расстояния r в таблицу 4.1 и включить лампу накаливания, поставив рукоятку 15 в положение «Ламп». Снять вольтамперную характеристику фотодиода.

Рекомендация. Измерения проводить в диапазоне токов от нуля до максимального. Иметь в виду, что фототок равен нулю при положительном напряжении на диоде. Поскольку характеристика резко нелинейна, то в ее начале следует устанавливать ток и измерять напряжение, а затем делать наоборот.

4.5. Повторить п.4.4 для 5-6 других значений расстояния, изменяя их через 0,5 см.

4.6. На одном графике построить семейство вольтамперных характеристик фотодиода. Для каждого значения расстояния

определить фототок I_{ϕ} на участке насыщения для одного и того же напряжения U , вычитая темновой ток из полного:

$$I_{\phi} = I_{\text{полн}} - I_{\text{темн}} \quad (4.2)$$

4.7. Нанести экспериментальные точки на график в координатах I_{ϕ} и $1/r^2$. Нанести доверительные интервалы по соответствующим осям.

4.8. Провести аппроксимирующую прямую через доверительные интервалы и убедиться в наличии линейной зависимости между фототоком и освещенностью.

4.9. Сделать выводы по работе.

Таблица 4.1 – Вольтамперные характеристики фотодиода для различных освещенностей.

Темновая		r, см =		r, см =		r, см =		r, см =		r, см =	
		1/r ² =		1/r ² =		1/r ² =		1/r ² =		1/r ² =	
U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА	U, мВ	I, мкА

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Что называют внутренним фотоэффектом?

5.2. Чем внутренний фотоэффект отличается от внешнего?

5.3. Какие виды поглощений приводят к появлению фотопроводимости?

- 5.4. Поясните принцип работы фотодиода.
- 5.5. Где можно использовать фотодиоды?
- 5.6. Существует ли красная граница внутреннего фотоэффекта?

6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 6.2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная физика. Т. 5, Ч. 1., – М.: «Наука», 1986. – 425 с.
- 6.3. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы.: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 271 с.
- 6.4. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 3. Квантовая механика: Уч. пособие для студентов вузов. 3-е изд., исправл. – М.: Наука, 1987. – 317 с.
- 6.5. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. – М.: Энергия, 1973. – 655 с.