

## Лабораторная работа 91

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФОТОЭЛЕМЕНТА

**Цель работы:** изучение принципа работы фотоэлемента и определение его чувствительности.

**Приборы и материалы:** Лабораторная установка для изучения зависимости фототока от освещенности, включающая в себя полупроводниковый фотоэлемент, лампочку накаливания, источник питания (понижающий трансформатор), стрелочный гальванометр. Лист миллиметровой бумаги.

#### Теоретическое введение

*Фотоэлемент представляет собой устройство, в котором в результате поглощения энергии падающего на него света возникает ЭДС или электрический ток.*

В фотоэлементах используется явление *фотоэффекта*, заключающееся в выбивании электронов с поверхности твердых тел под действием падающего излучения. Это явление носит название *внешнего фотоэффекта*.

Фотоэффект называется *внутренним*, если электроны не покидают твердое тело, а остаются внутри него в качестве свободных зарядов, участвующих в создании в нем электрического тока. Внутренний фотоэффект наблюдается в полупроводниках. [ ] Энергия падающего на полупроводник света расходуется на перенос электронов из валентной зоны в зону проводимости (см. [1]). Роль *работы выхода* электронов из тела при внешнем фотоэффекте играет здесь ширина запрещенной зоны полупроводника  $\Delta W$ , которая определяет

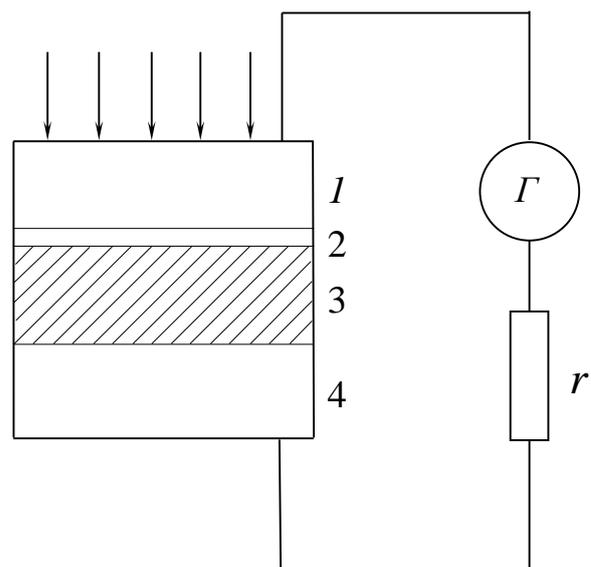


Рис. 91.1

минимальную частоту света  $\nu_{\min}$ , ниже которой фотоэффект не наблюдается. Эта частота называется *красной границей фотоэффекта* и находится из условия:

$$h\nu_{\min} = \Delta W.$$

В данной лабораторной работе исследуется сернисто-серебряный фотоэлемент, схематически изображенный на рис. 91.1. Верхний полупрозрачный электрод *1* представляет собой очень тонкий слой проводника (металлического серебра), нанесенный испарением в вакууме на слой полупроводника *3* (сернистого серебра). Между проводником и полупроводником образуется промежуточный слой *2*, называемый *запорным слоем*. Запорный слой обладает свойством пропускать электроны только в одном направлении (в нашем случае от металла к полупроводнику), т.е. является *электронным вентилем*. При освещении фотоэлемента световая энергия частично поглощается электронами металлического полупрозрачного электрода, а частично – электронами полупроводника.

Благодаря вентильным свойствам запорного слоя энергетически обогащенные электроны при своем хаотическом движении чаще переходят из металла в полупроводник, чем в обратном направлении. Таким образом, падающий на фотоэлемент свет вызывает движение электронов внутри фотоэлемента от верхнего электрода *1* через запорный слой *2* к полупроводнику *3* и нижнему электроду *4*. В результате этого на верхнем электроде фотоэлемента появляется избыточный положительный, на нижнем электроде – избыточный отрицательный заряд. В замкнутой цепи, изображенной на рис. 91.1, фотоэлемент выступает в роли источника тока (фототока), сила которого зависит от освещенности поверхности фотоэлемента – чем она больше, тем больше фототок. Количественной характеристикой этой зависимости служит *чувствительность фотоэлемента*  $\eta$ . Она показывает быстроту изменения фототока с ростом интенсивности света и численно равна отношению приращения фототока  $\Delta i_{\phi}$  к приращению светового потока  $\Delta \Phi$ , падающего на фотоэлемент:

$$\eta = \frac{\Delta i_{\phi}}{\Delta \Phi}. \quad (91.1)$$

Световым потоком  $\Phi$  через поверхность  $S$  называется энергия электромагнитного излучения  $W$ , переносимая светом через эту поверхность за единицу времени:

$$\Phi = \frac{dW}{dt}. \quad (91.2)$$

Световой поток, приходящийся на единицу поверхности при нормальном падении света, называется освещенностью  $E$  этой поверхности:

$$E = \frac{\Phi}{S_{\perp}}. \quad (91.3)$$

В свою очередь, освещенность  $E$  выражается через силу света  $I$ , испускаемого источником света:

$$E = \frac{I}{l^2}, \quad (91.4)$$

где  $l$  – расстояние от источника до освещаемой им поверхности.

Сила света измеряется в *канделах* \*):

$$[I] = \text{Кд};$$

освещенность – в *люксах*:

$$[E] = \text{лк};$$

световой поток – в *люменах*:

$$[\Phi] = \text{лм}.$$

Согласно (91.4), освещенность поверхности составляет  $1$  лк, если источник света силой  $1$  кд находится от нее на расстоянии  $1$  м:

$$1 \text{ лк} = 1 \text{ кд} / 1 \text{ м}^2.$$

---

\*) Единица силы света – *кандела* – является одной из основных единиц системы СИ.  $1$  Кд – сила света, испускаемого с поверхности  $S=1/600\,000 \text{ м}^2$  полного излучателя в направлении нормали при температуре плавления платины  $2046,6 \text{ К}$  и давлении  $101325 \text{ Па}$ .

Такая освещенность наблюдается в случае, когда световой поток в  $I$  лм падает нормально на поверхность площадью  $1 \text{ м}^2$ :

$$1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} / 1 \text{ м}^2.$$

Чувствительность фотоэлемента (ее среднее значение в некотором интервале освещенностей) можно найти по графику зависимости силы фототока  $i_\phi$  от светового потока  $\Phi$  (см. рис. 91.3):

$$i_\phi = f(\Phi).$$

Чувствительность измеряется силой фототока  $i_\phi$ , выраженного в амперах (А), обусловленного световым потоком  $\Phi$  в 1 лм. Единица ее измерения

$$[\eta] = \text{А} / \text{лм}.$$

### **Описание установки**

Экспериментальная установка изображена на рис. 91.2, а её электрическая схема – на рис. 91.3. Фотоэлемент  $\PhiЭ$ , защищенный от внешнего освещения металлической трубкой  $T$ , укреплен неподвижно на подставке. Клеммы его соединены со стрелочным гальванометром  $G$ . Тумблер  $ТБ$  служит для включения установки.

ФОТО

Рис. 91.2

Внутри металлической трубки может перемещаться электрическая лампочка, (не показанная на рисунке), закрепленная в трубке меньшего диаметра. Лампочка питается от понижающего трансформатора  $ТР$ .

Перемещая тонкую трубку вдоль своей длины, мы изменяем расстояние  $l$  между лампочкой и фотоэлементом, изменяя тем самым его освещенность. Записывая показания гальванометра при разных положениях лампочки, строят график зависимости  $i_\phi = f(\Phi)$ , схематически изображенный на рис. 91.4. На этом графике выбирают линейный участок и строят затем прямоугольный треугольник с катетами  $\Delta i_\phi$  и  $\Delta \Phi$ . Значения длин этих катетов подставляют в формулу (91.1) и находят численное значение интегральной чувствительности фотоэлемента.

Рис. 91.3

Рис. 91.4

### ***Порядок выполнения работы***

1. С помощью тумблера  $TБ$  включить трансформатор, питающий лампочку и, перемещая трубку с лампочкой внутри трубки с фотоэлементом, установить такое значение фототока, чтобы стрелка гальванометра указывала на 20-е деление его шкалы.

С помощью миллиметровой линейки измерить расстояние  $x$ , на которое выдвинута трубка с лампочкой. Расстояние  $l$  между лампочкой и фотоэлементом находится из условия

$$l = x + R,$$

где  $R$  – минимальное расстояние между ними (указано на панели установки).

Данные записать в таблицу 91.1.

2. Перемещая трубку с лампочкой, установить стрелку гальванометра последовательно на 18-е, 16-е, ... 4-е, 2-е деления

его шкалы, каждый раз измеряя расстояние  $l$  лампочки от фотоэлемента.

3. Данные опыта занести в таблицу 91.1. Значения фототока во 2-м столбце таблицы находят умножением показаний гальванометра (числа делений  $n$ , на которое указывает стрелка) на цену одного деления его шкалы  $C$ , которая на этой шкале приведена. Тогда

$$i_{\phi} = n \cdot C, \quad (\text{А}).$$

4. Используя формулы (91.4) и (91.3), вычислить значения освещенности  $E$  и светового потока  $\Phi$  и занести их в таблицу. (Численные значения площади поверхности  $S$  и силы света  $I$  указаны на панели установки).
5. Построить на миллиметровой бумаге график зависимости  $i_{\phi} = f(\Phi)$ . Используя линейный участок кривой, построить треугольник, отношение катетов которого, согласно (91.1), равно интегральной чувствительности фотоэлемента  $\eta$ .

### ***Отчет о выполненной работе***

- 1 Рабочие формулы для определения освещенности  $E$ , светового потока  $\Phi$  и интегральной чувствительности фотоэлемента  $\eta$ :

$$E = \frac{I}{l^2}, \quad [E] = \text{Кд/м}^2 = \text{лк};$$

$$\Phi = E \cdot S, \quad [\Phi] = \text{лм};$$

$$\eta = \frac{\Delta i_{\phi}}{\Delta \Phi}, \quad [\eta] = \text{А/лм}.$$

- 1.1 Данные, приведенные на панели установки:

Минимальное расстояние от лампочки до фотоэлемента

$$R = 8 \text{ см.}$$

Сила света лампочки

$$I = 2 \text{ Кд.}$$

Площадь чувствительной поверхности фотоэлемента

$$S = 1,8 \text{ см}^2.$$

Цена деления шкалы гальванометра

$$C = 5 \cdot 10^{-8} \text{ А/дел.}$$

### 3 Результаты эксперимента

Таблица 91.1

Показания гальванометра $n$ , дел	Фототок $i_{\phi} = n \cdot C$ , А	Расстояние от лампочки до фотоэлемента $l$ , м	Освещенность $E = \frac{I}{l^2}$ , лк	Световой поток $\Phi = E \cdot S$ , лм
20				
18				
16				
14				
12				
10				
8				
6				
4				
2				

### *Контрольные вопросы*

- 1 В чем заключается явление фотоэффекта?
- 2 Что такое внутренний фотоэффект?
- 3 Что такое красная граница фотоэффекта?

- 4 Поясните, в чем заключается различие между металлами и полупроводниками с точки зрения зонной теории электропроводности твердых тел.
- 5 Каким свойством обладает контакт металла с полупроводником? Что такое электронный вентиль?
- 6 Какое устройство называется фотоэлементом? Какое практическое применение находят фотоэлементы?
- 7 Дайте определение светового потока, освещенности и силы света. В каких единицах они измеряются?
- 8 Что называется интегральной чувствительностью фотоэлемента? Как её можно измерить?

### *Литература*

- 1 Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. Изд. “Лань”, Спб-Мск-Краснодар, 2003, 480 с.
- 2 Ландсберг Г.С. Оптика. Изд. “Наука”, М., 1989, 760 с.