

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа электроники, фотоники и молекулярной физики

# Фотоэлектрический способ преобразования энергии солнечного излучения

Салтыкова Дарья

Б04-104

# 1 Цель работы

1. Исследование темновой и световой вольтамперных характеристик фотоэлемента. 2. Изучение влияния мощности падающего излучения на характеристики образца с помощью фильтров

## 2 Теоретические сведения

Прямое преобразование лучистой энергии Солнца в электрическую осуществляется с помощью фотоэффекта на потенциальном барьере или так называемого вентильного фотоэффекта, суть которого — возникновение фото-ЭДС при освещении контактов металл-полупроводник и р-п переходов. Однако, вследствие сложной микроструктуры контактов полупроводника с металлом, мы ограничимся в дальнейшем наиболее ясным случаем р-п переходов.

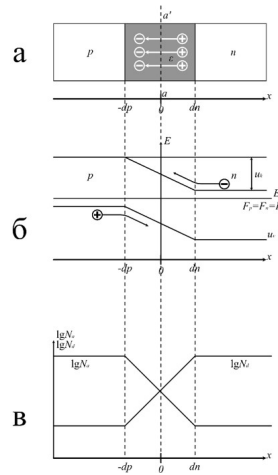


Рис. 1: Схема р-п перехода

Рассмотрим более подробно, что представляет собой р-п переход. Пусть два полупроводника, один из которых имеет проводимость р-типа, а другой п-типа приводятся в хороший контакт по плоскости  $aa'$ , как показано на изображении а (Рисунок 1). Тогда под действием градиента концентрации дырки из приконтактного слоя р-области будут диффундировать в п-область, а электроны из приконтактного слоя п-области — в р-область. В результате такой диффузии в приконтактном слое р-области создается отрицательный объёмный заряд нескомпенсированных ионов акцепторной примеси, а в приконтактном слое п-области — положительный объёмный заряд нескомпенсированных ионов донорной примеси.

Порожденное объёмными зарядами электрическое поле (направление которого показано на изображении а (Рисунок 1)), будет препятствовать дальнейшей диффузии основных носителей зарядов (основными называются носители, знак которых соответствует типу проводимости полупроводника). При этом напряжённость электрического поля  $\vec{E}$  и толщины слоёв объёмных зарядов в  $n$  и  $p$ -областях будут возрастать до тех пор, пока не достигнут своих равновесных значений  $\vec{E}_0$ ,  $d_p$  и  $d_n$ , при которых диффузионные потоки основных носителей зарядов полностью скомпенсированы дрейфовыми потоками, вызванными электрическим полем объёмных зарядов.

Переходная область толщины  $d = d_p + d_n$ , объединённая свободными носителями зарядов, и в которой локализовано электрическое поле с напряжённостью  $\vec{E}_0$ , получила название электронно-дырочного или  $p$ - $n$ -перехода. Толщина  $p$ - $n$ -перехода  $d$  для различных полупроводниковых систем может изменяться от единицы до сотых долей микронметров, а величина  $\vec{E}_0$  достигать значений  $\sim 10^7 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ .

Состояние  $p$ - $n$ -перехода в термодинамическом равновесии легко понять, обращаясь к его энергетической диаграмме, приведённой на схеме б (Рисунок 1). Здесь  $E_c$  — дно зоны проводимости,  $E_v$  — потолок валентной зоны,  $F$  — уровень Ферми. В самом деле, электроны из

$n$ -области не могут проникнуть в  $p$ -область, так как для этого им необходимо преодолеть потенциальный барьер, высота  $u_k$  которого равна контактной разности потенциалов, а энергия электронов меньше высоты этого барьера. По аналогичной причине дырки из  $p$ -области не могут попасть в  $n$ -область.

На практике  $p$ - $n$ -переходы реализуются не механическим соединением двух полупроводников, а внутри единого кристалла, в котором создают подходящее распределение донорной  $N_d$  и акцепторной  $N_a$  примесей, как показано на схеме в (Рисунок 1).

### 3 Схема установки

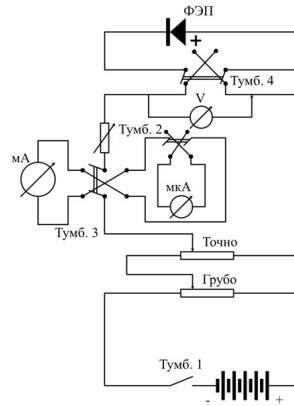


Рис. 2: Экспериментальная установка

Вольтамперная характеристики фотопреобразователя могут быть измерены с помощью схемы, представленной на схеме (Рисунок 2). Когда преобразователь работает как генератор электроэнергии, то в качестве источника излучения используется лампа марки ЗН7 или ЗН8 с встроенным зеркальным отражателем и мощностью 500 Вт. Спектр ее излучения с помощью водяного фильтра приближен к спектру солнечного излучения и к спектральной чувствительности кремниевого преобразователя.

## 4 Ход работы

### 4.1 Первая установка

Построим график прямой ветви теневой вольт-амперной характеристики.

Определим по нему прямое сопротивление элемента:

$$R_{\text{пр}} = \frac{dU_{\text{пр}}}{dI_{\text{пр}}} = \frac{1}{a} \approx 34 \pm 2 \Omega$$

Построим зависимость  $\ln(I) = f(U)$ .

Определим параметры  $A$  и  $I_s$ :

$$A = \frac{1}{0.025a} = 11.7 \pm 0.6 \frac{1}{\mu A} \quad (2)$$

$$I_s = e^b = 1 \pm 0.1 \mu A$$

### 4.2 Вторая установка

Для другого фотоэлемента построим световые характеристики без фильтра и с красным фильтром.

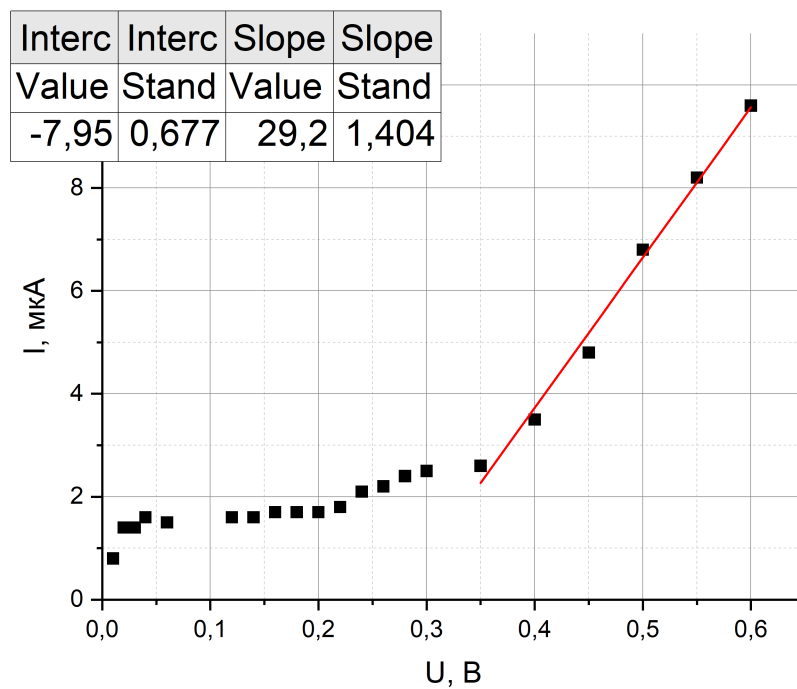


Рис. 3: Прямая темновая характеристика фотоэлемента

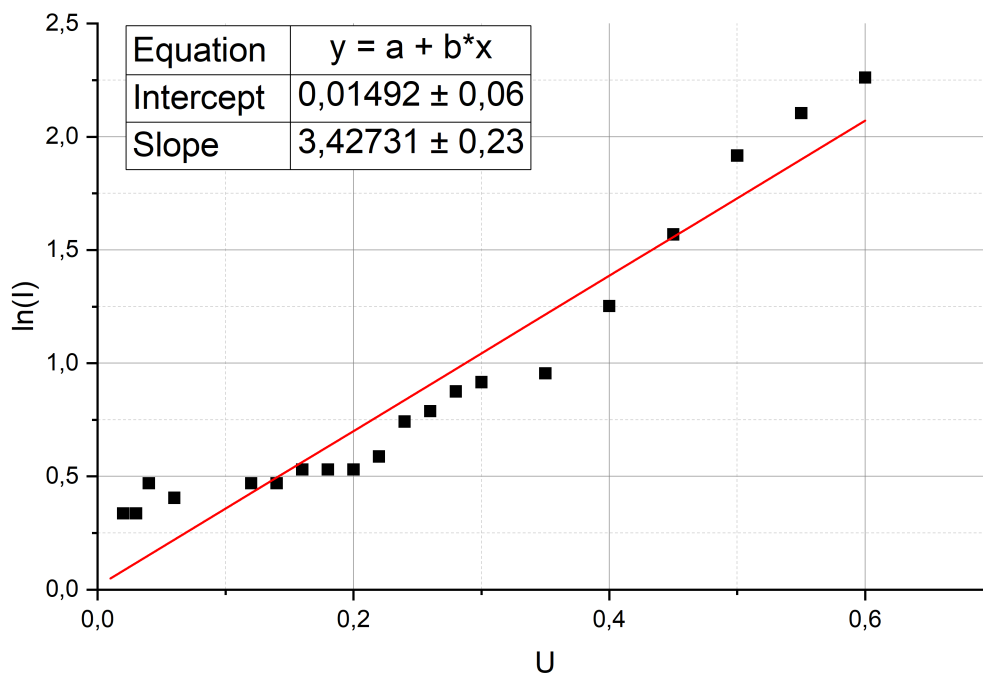


Рис. 4: Логарифм прямой темновой характеристики фотоэлемента

#### 4.2.1 Световая характеристика без фильтра

Аппроксимируем полученную зависимость функцией вида:

$$y = y_0 + A_1 e^{\frac{x-x_0}{\tau_1}}$$

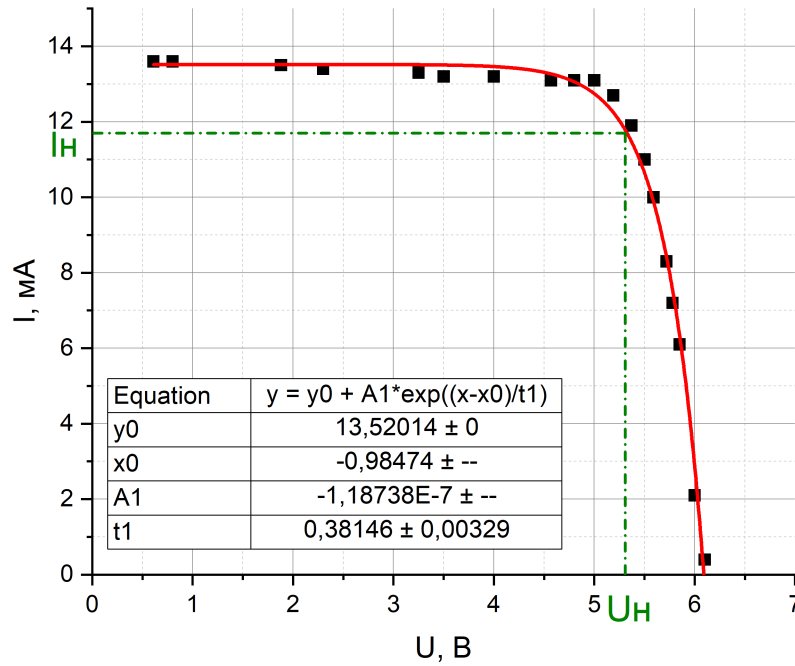


Рис. 5: Прямая световая характеристика фотоэлемента без фильтра

Получаем ток короткого замыкания, равный коэффициенту  $y_0$ ,  $I_{кз} = 13.5 \pm 0.3 \text{ мА}$ .  
 $U_{xx}$  найдем из условия равенства тока нулю.

$$0 = y_0 + A_1 e^{\frac{U_{xx} - x_0}{t_1}},$$

$$U_{xx} = t_1 \ln \left( \frac{-y_0}{A_1} \right) + x_0 = 5.9 \pm 0.2 \text{ В}.$$

Напряжение нагрузки найдем, построив под кривой прямоугольник наибольшей площади.  
 $U_n = 5.31 \pm 0.2 \text{ В}$ .

Найдём силу тока нагрузки:

$$I_n = 11.7 \pm 0.2 \text{ мА}.$$

Найдем теперь оптическое сопротивление и мощность преобразователя

$$R_{\text{опт}} = \frac{U_n}{I_n} \approx 0.5 \text{ кОм}.$$

$$P = I_n U_n = 69 \pm 2 \text{ мВт}.$$

Из известной мощности падающего излучения  $W = 550 \text{ Вт/м}^2$  и площади поверхности исследуемого образца  $S \approx 60 \text{ см}^2$  найдём КПД:

$$\eta = \frac{P}{WS} \approx 0.02.$$

#### 4.2.2 Световая характеристика с красным фильтром

Рассмотрим теперь характеристику, измеренную с красным фильтром.

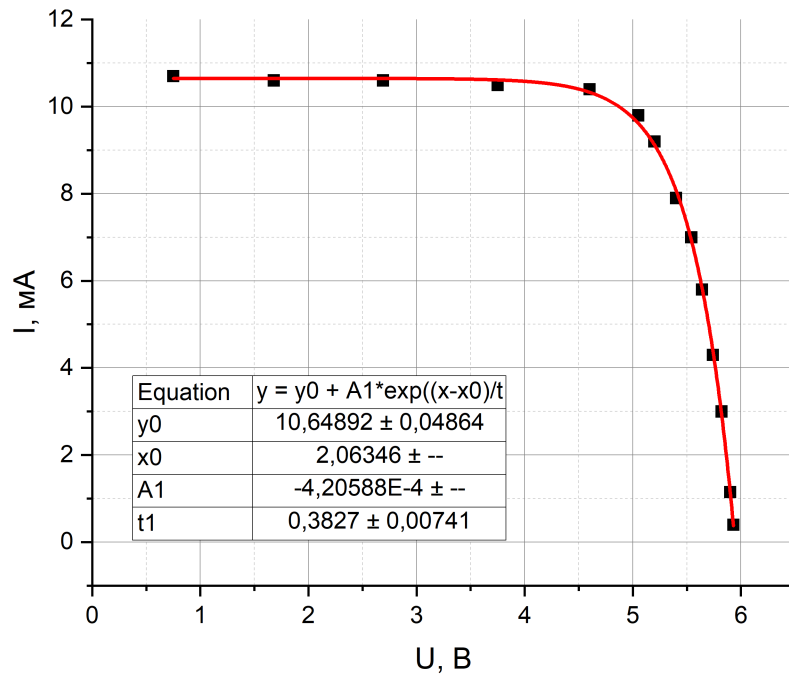


Рис. 6: Прямая световая характеристика фотоэлемента с красным фильтром

Получим аналогично предыдущему случаю ток короткого замыкания и ЭДС холостого хода:

$$I_{кз} \approx 10.65 \text{ мА}, \quad U_{xx} \approx 4.2 \text{ В}.$$

Построим график зависимости  $\ln(I_{кз})$  от  $U_{xx}$ . Определим  $I_s$  и  $A$ :

$$I_s = e^b \approx 0.88 \text{ мА}.$$

$$A = \frac{1}{0.025a} \approx 25.3 \frac{1}{\text{мА}}.$$

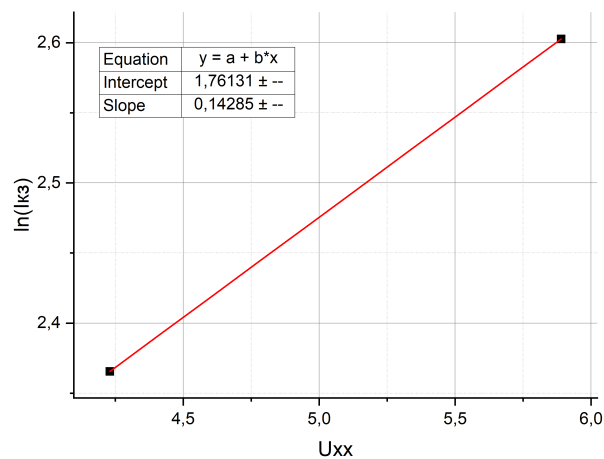


Рис. 7: Зависимость  $\ln(I_{кз})(U_{xx})$

## 5 Вывод

В ходе работы было изучено явление фотоэффекта в (р-п)-переходе, определены темновая (для фотоэлемента меньшего размера) и световая вольт-амперные характеристики исследуемых фотоэлементов (для фотоэлемента большего размера). Были определены различные параметры: прямое сопротивление, ток и напряжение насыщения, мощность и КПД фотоэлемента.

Также для фотоэлемента меньшего размера (установка 1) были получены световые характеристики с фильтром и без (рис. 8 и 9).

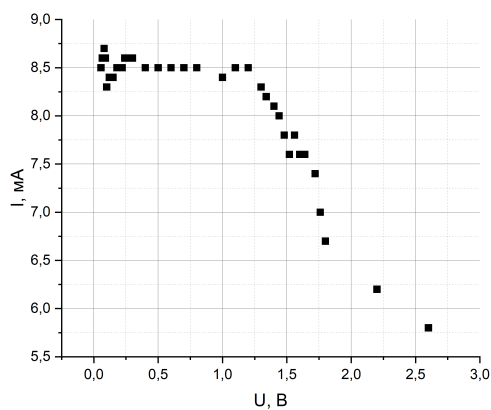


Рис. 8: Прямая световая характеристика без фильтра для меньшего образца (первая установка)

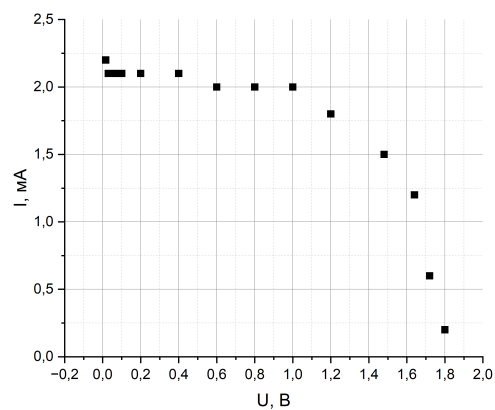


Рис. 9: Прямая световая характеристика с красным фильтром для меньшего образца (первая установка)