

# Фотоэлектрический способ преобразования энергии солнечного излучения

Шмаков Владимир Евгеньевич - ФФКЭ гр. Б04-103

11 декабря 2024 г.

## Цель работы

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

## Теоретические сведения

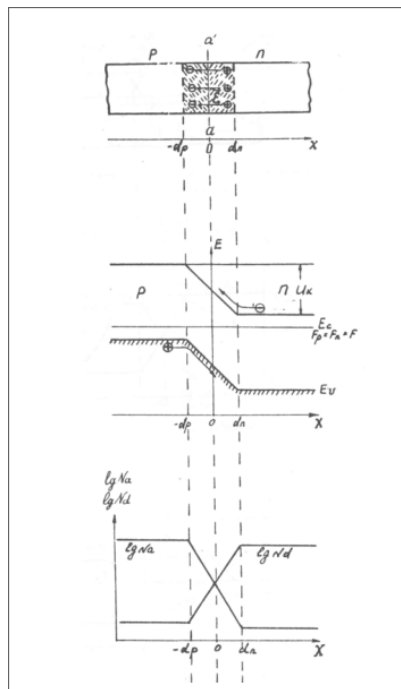


Рис. 1:  $p - n$  переход

**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  $p - n$  переходов. Однако, вследствие сложной микроструктуры контактов полупроводника с металлом, мы ограничимся в дальнейшем наиболее ясным случаем  $p - n$

переходов. Рассмотрим более подробно, что представляет собой переход. Пусть два полупроводника, один из которых имеет проводимость  $p$ -типа, а другой  $n$ -типа приводятся в хороший контакт по плоскости  $aa'$ , как показано на рисунке(1). Тогда под действием градиента концентрации дырки из приконтактного слоя  $p$ -области будут диффундировать в  $n$ -область, а электроны из приконтактного слоя  $n$ -области в  $p$ -область. В результате такой диффузии в приконтактном слое  $p$ -области создается отрицательный объемный заряд нескомпенсированных ионов акцепторной примеси, а в приконтактном слое  $n$ -области – положительный объемный заряд нескомпенсированных ионов донорной примеси. Порожденное объемными зарядами электрическое поле (направление которого показано на рисунке 1), будет препятствовать дальнейшей диффузии основных носителей зарядов (основными называются носители, знак которых соответствует типу проводимости полупроводника). При этом напряженность электрического поля и толщины слоев объемных зарядов в  $n$  и  $p$ -областях будут возрастать до тех пор, пока не достигнут своих равновесных значений  $\epsilon_c$ ,  $d_p$  и  $d_n$ , при которых диффузионные потоки основных носителей зарядов полностью скомпенсированы дрейфовыми потоками, вызванными электрическим полем объемных зарядов.

Состояние  $p - n$ -перехода в термодинамическом равновесии легко понять, обращаясь к его энергетической диаграмме, приведенной на рисунке 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 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.

## Методика

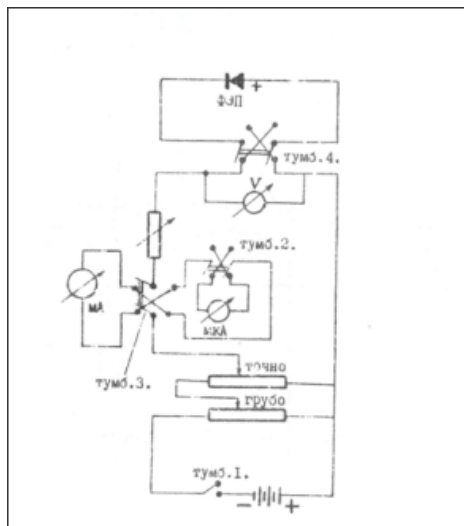


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

## Оборудование

- Фотоэлектрический преобразователь
- Микроамперметр

- Миллиамперметр
- Вольтметр
- Блок питания
- Потенциометры
- Набор оптических фильтров
- Лампа

## Экспериментальная установка

Вольтамперная характеристики фотопреобразователя могут быть измерены с помощью схемы, представленной на рисунке 2. Когда преобразователь работает как генератор электро-энергии, 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.

## Обработка экспериментальных данных

### Темновые характеристики

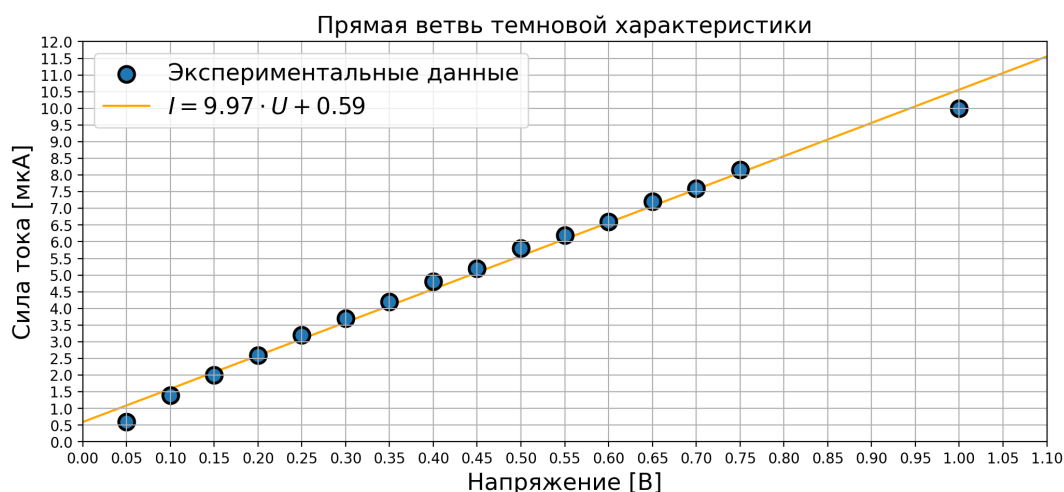


Рис. 3: Прямая ветвь темновой характеристики

Прямая ветвь темновой характеристики изображена на рисунке 3. По наклону кривой посчитаем прямое сопротивление фотопреобразователя:

$$R_{\text{пр}} = \frac{dU_{\text{пр}}}{dI_{\text{пр}}} = \frac{1}{a} =$$

Обратная ветвь темновой характеристики изображена на рисунке 4.

$$R_{\text{обр}} = \frac{dU_{\text{обр}}}{dI_{\text{обр}}} = \frac{1}{a} =$$

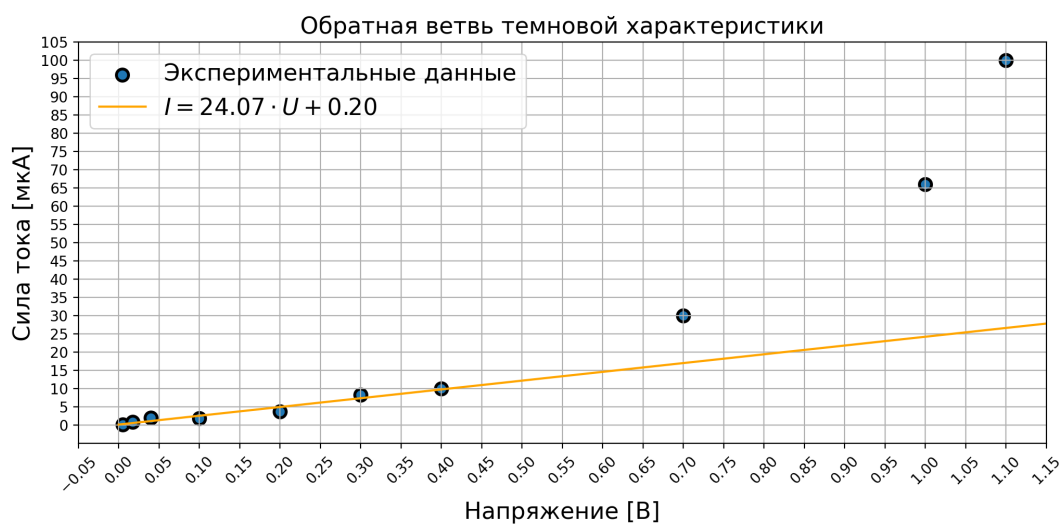


Рис. 4: Обратная ветвь темновой характеристики

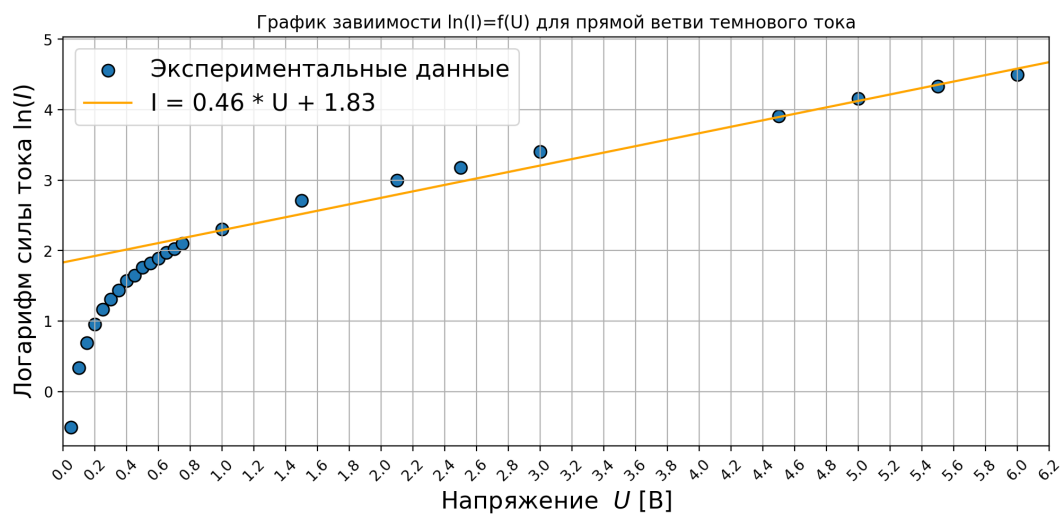


Рис. 5: График зависимости  $\ln(I) = f(U)$  для прямой ветви темновой характеристики

Для прямой ветви построим график зависимости  $\ln(I)$  от  $U$  (смотрите рисунок 5). Коэффициент наклона линейного участка зависимости позволяет найти параметры  $A$  и  $I_s$ .

$$I_s = e^b \sim \text{мА}$$

$$A = \frac{1}{0.025a} \sim$$

## Световые характеристики



Рис. 6: Зависимость  $I = f(U)$  для световой характеристики.

Результаты измерений световой характеристики представлены на рисунке 6. Найдём наилучшие параметры функции  $y = Ae^{(x-b)/c} + O$ , приближающие экспериментальную зависимость.

Найденный параметр  $O$  - есть ток короткого замыкания  $\rightarrow I_{\text{к.з.}} = 14 \pm 0.2 \text{ мА}$ . ЭДС холостого хода находится из условия отсутствия тока в цепи. Решая уравнение  $Ae^{(U_{\text{х.х.}}-b)/c} + O = 0$ , получаем:

$$U_{\text{х.х.}} = c \ln\left(\frac{-O}{A}\right) + b = 6.3 \pm 0.2 \text{ В} \quad (1)$$

Параметр приближения  $b$  (точка излома) есть напряжение нагрузки  $U_n = 5.2 \pm 0.1 \text{ В}$ . Найдём силу тока нагрузки:

$$I_n = Ae^{(U_n-b)/c} + O = A + O = 12.2 \pm 0.2 \text{ мА} \quad (2)$$

Таким образом, сопротивление

$$R_{\text{опт}} = \frac{U_n}{I_n} \sim 0.5 \text{ кОм}. \quad (3)$$

Найденные (см. формулы 1, 2) значения позволяют найти мощность преобразователя:

$$P = I_n U_n = 77 \pm 5 \text{ мВт} \quad (4)$$

Оценим коэффициент заполнения нагрузочной характеристики:

$$\xi = \frac{P}{U_{x,x} I_{k,k}} \sim 0.87 \quad (5)$$

Зная мощность падающего излучения  $W = 550 \text{ Вт/м}^2$  и площадь поверхности исследуемого образца  $S \sim 100 \text{ см}^2$  найдём КПД:

$$\eta = \frac{P}{WS} \sim 0.01 \quad (6)$$

## Световые характеристики снятые с использованием оптических фильтров

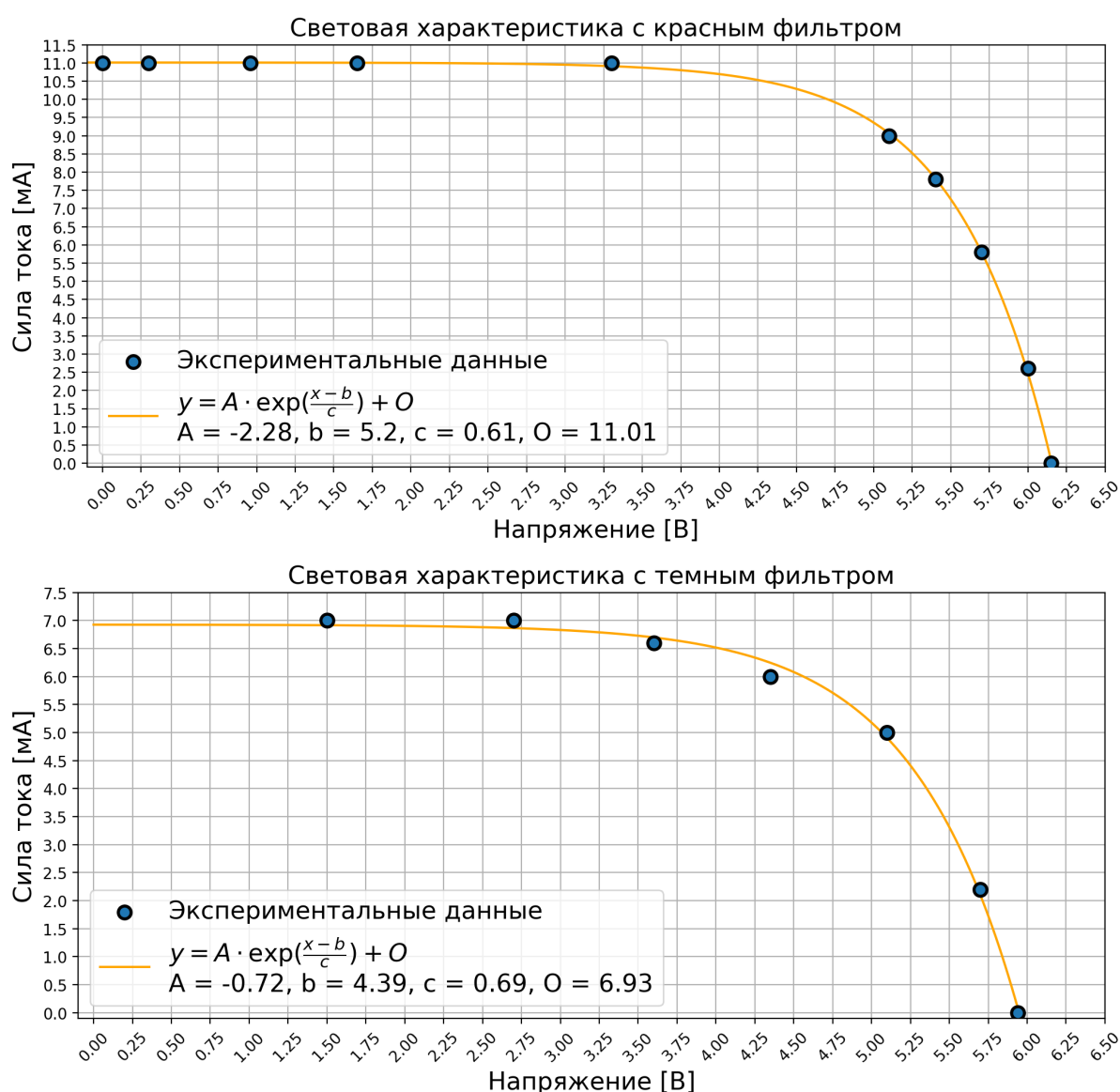


Рис. 7: Зависимости  $I = f(U)$  для световых характеристик, снятых при использовании красного и затемняющего фильтров.

На рисунке 7, изображены ВАХ снятые при использовании оптических фильтров. Опре-

делим  $I_{к.з.}$  и  $U_{х.х.}$  пользуясь описанной выше методикой:

$$I_{к.з.}^{красный} \sim 11\text{мА} \quad U_{х.х.}^{красный} \sim 6.2\text{В}$$

$$I_{к.з.}^{темный} \sim 6.93\text{мА} \quad U_{х.х.}^{темный} \sim 5.95\text{В}$$

Построим график зависимости  $\ln(I_{к.з.})$  от  $U_{х.х.}$  (смотрите рисунок 8). Параметры прямой, проходящей через точки позволяют определить  $I_s$ .

$$I_s = e^b \sim 0.05 \text{ мА} \quad (7)$$

$$A = \frac{1}{0.025a} \sim 20 \quad (8)$$

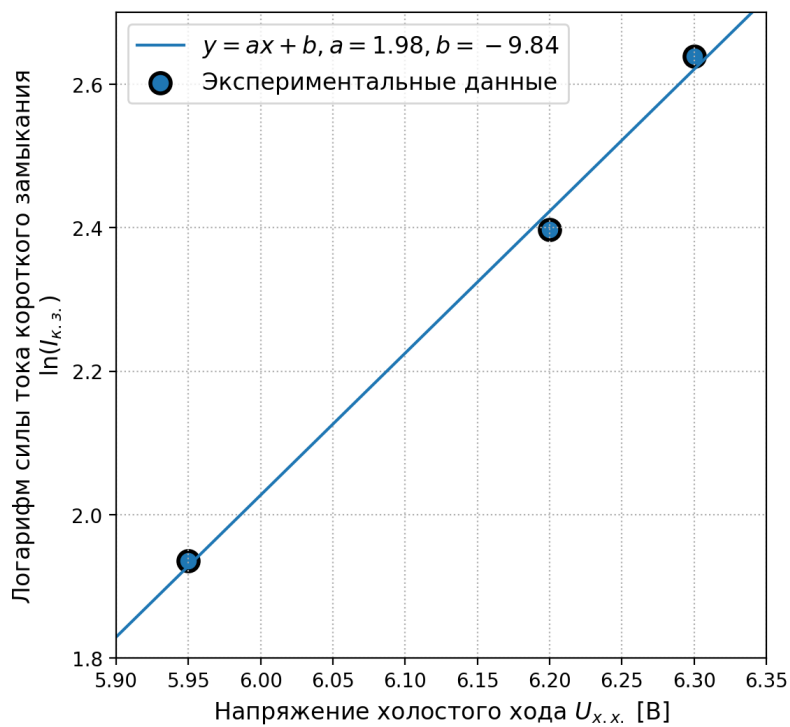


Рис. 8: Зависимость логарифма силы тока короткого замыкания от напряжения холостого хода

## Вывод