

## **Исследование устройства полупроводникового фотоэлемента**

**Цель работы:** ознакомиться с устройством и действием полупроводникового фотоэлемента; исследовать зависимость напряжения на выводах фотоэлемента от его освещенности.

**Оборудование:** полупроводниковый фотоэлемент, лампа накаливания, соединительные провода.

**Дополнительное оборудование:** выпрямитель ВС-4,5, вольтметр лабораторный.

### **Теоретическое введение**

Итак, для начала нужно понять, что такое полупроводниковый фотоэлемент, но для этого понадобится вспомнить как работает такой прибор, как выпрямитель (полупроводниковый).

В настоящее время широкое распространение в технике, особенно в радиотехнике, получили полупроводниковые выпрямители из германия, кремния и других полупроводников. Характер проводимости германия можно изменять, вводя в него небольшое число примесных атомов того или другого рода. Если, например, на одной из поверхностей германия с электронной проводимостью расплавить небольшой кусок индия, то тонкий поверхностный слой, в который проникнут на некоторую глубину атомы индия, станет дырочным полупроводником и в толще германия создается р-п переход, который будет иметь выпрямляющее свойство (одностороннюю проводимость). На рисунке 1 показано устройство одного из типов таких германиевых выпрямителей, а на рисунке 2 - его вольтамперная характеристика, т.е. кривая, изображающая зависимость силы тока через выпрямитель от приложенного к нему напряжения. Видно, что в пропускном направлении ток равен 1 А уже при напряжении 0,75 В, т.е. сопротивление германия очень мало. В запирающем же направлении ток очень мало (0,05 мА) и практически не зависит от напряжения вплоть до напряжения около 400 В, когда наступает пробой.

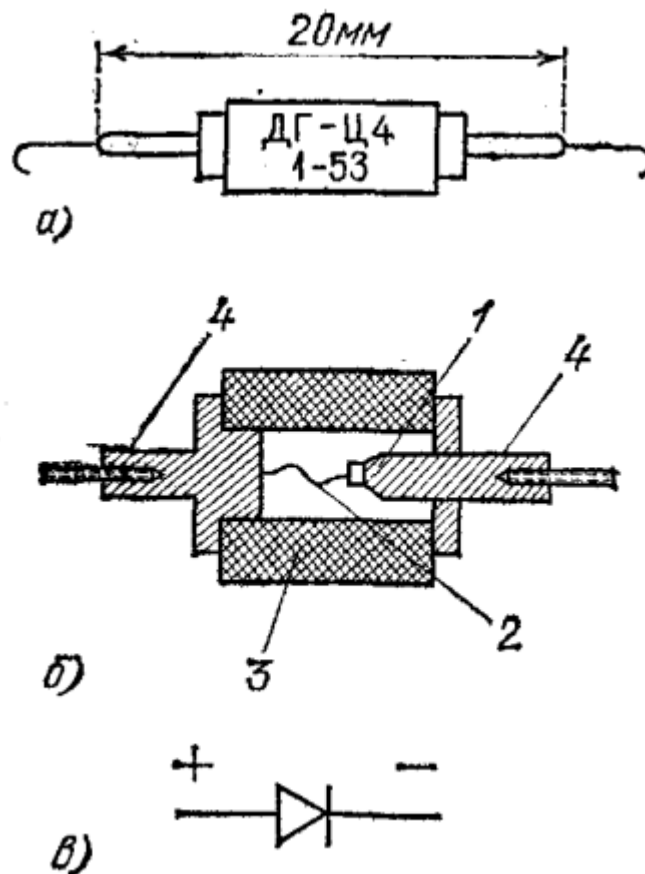


Рисунок 1 – Германиевый выпрямитель: а) общий вид; б) сечение, 1 – германиевая пластинка, 2 – вольфрамовая пружинка с острием, 3 – керамический цилиндр, 4 – латунные держатели; в) условное изображение

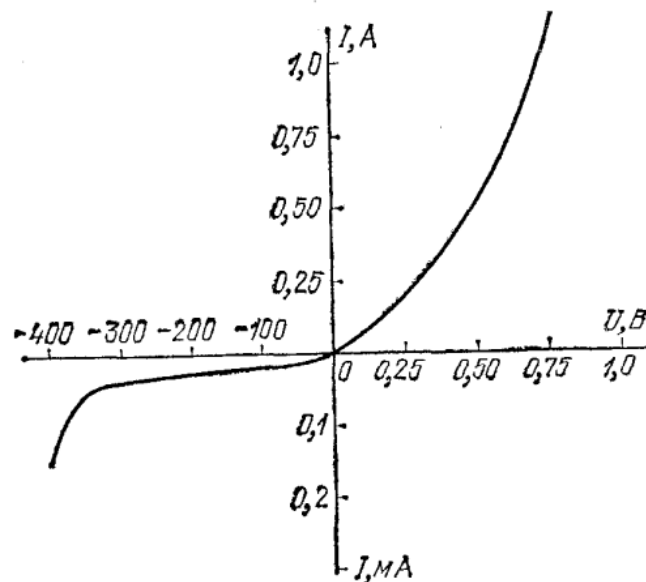


Рисунок 2 – Вольтамперная характеристика германиевого выпрямителя

Итак, теперь необходимо разобрать сам полупроводниковый фотоэлемент. Если в каком-нибудь полупроводниковом выпрямителе сделать внешний электрод настолько тонким, чтобы он был прозрачен для света, то при

освещении полупроводника в цепи, в которую он включен, возникает электрический ток (рисунок 3).

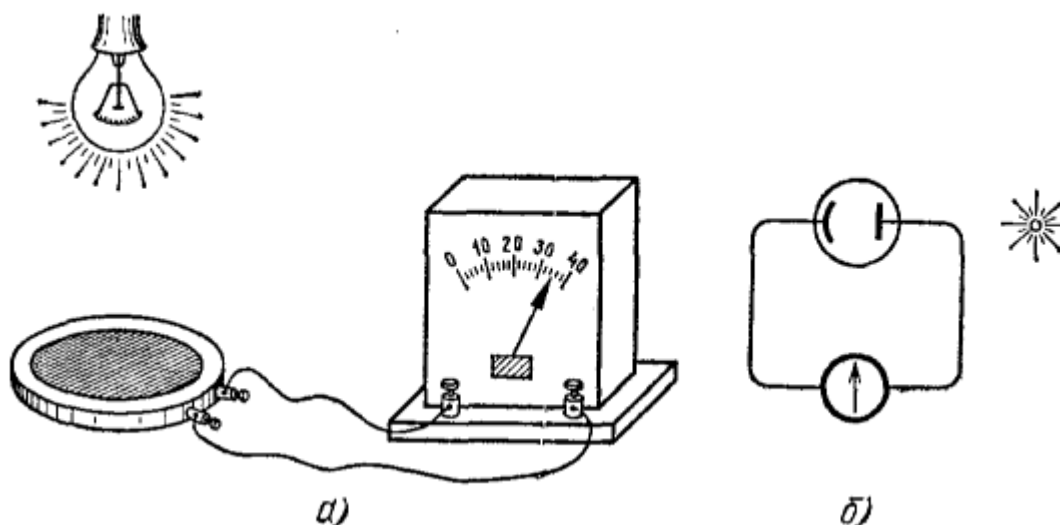


Рисунок 3 – При действии света на полупроводниковый фотоэлемент цепи возникает ток: а) общий вид установки; б) схема опыта

Таким образом, в этих случаях свет является источником ЭДС, т.е. пластинка полупроводника представляет собой генератор электрического тока, в котором световая энергия преобразуется в электрическую.

При сильном освещении полупроводниковые фотоэлементы могут давать довольно значительную ЭДС (до 1 В) и довольно большой ток. КПД лучших фотоэлементов превышает 20%. Поэтому стала реальной возможность их использования в качестве достаточно экономичных источников тока. Эти источники называют солнечными батареями, так как их можно использовать для прямого преобразования энергии излучения Солнца в электрическую. Кремниевые солнечные батареи используются, в частности, для обеспечения энергией искусственных спутников Земли и космических кораблей. Полупроводниковые фотоэлементы широко применяются также для измерения интенсивности света и для целей автоматики, сигнализации и телеуправления.

### Задача

На рисунке показана вольтамперная характеристика фотоэлемента, на катод которого действует свет с длиной волны 450 нм. Найдите мощность действующего на катод излучения, считая, что каждый сотый из падающих фотонов вырывает с катода электрон.

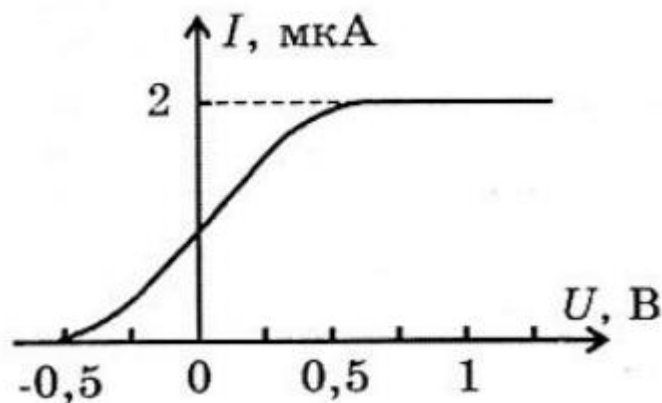


Рисунок 4 – К задаче

### Ход работы

Основной частью такого фотоэлемента является пластина, изготовленная из полупроводника с электронной проводимостью (n-типа). На пластину нанесена полупрозрачная пленка полупроводника с дырочной проводимостью (р-типа). Оба полупроводника имеют электрический контакт с выводами, которыми их подключают к внешней цепи. В области соприкосновения двух полупроводников разного типа проводимости возникает особая зона, так называемый р-n переход. Для этой зоны характерно наличие электрического поля, которое препятствует движению через нее основных носителей зарядов: электронов из полупроводника n-типа и дырок из полупроводника р-типа. Поле р-n перехода направлено от полупроводника n-типа к полупроводнику р-типа.

Рассматривая р-n переход с энергетических позиций, принято говорить, что в его области образуется потенциальный барьер. Для полупроводников на основе кремния величина этого барьера составляет 0,5 - 0,6 В.

Кванты света, попадая в зону р-n перехода со стороны пленки, в силу явления внутреннего фотоэффекта порождают в области, где действует его поле, электронно-дырочные пары свободных зарядов. Под действием электрического поля перехода электроны отклоняются в сторону полупроводника n-типа, а дырки в полупроводник р-типа. В том и другом полупроводнике начинают накапливать электрические заряды разных знаков. Заряды создают собственное поле, направленное против поля р-n перехода. В момент, когда оба поля сравняются по величине, дальнейшее разделение зарядов прекратится. При энергетическом подходе это будет означать, что потенциальный барьер перехода стал равен разности потенциалов на выводах фотоэлемента. Другими словами, на выводах фотоэлемента при освещении его полупрозрачного слоя может возникнуть разность потенциалов величиной не

более 0,5 0,6 В (у фотоэлементов на основе селена - примерно 0,2 В.) Если к фотоэлементу подключить внешнюю цепь, по ней потечет электрический ток. Фотоэлемент будет при этом выполнять роль источника тока, преобразующего энергию света в энергию электрического тока.

Эксперимент проводят, используя дополнительное оборудование лабораторного комплекта по электродинамике.

Работу рекомендуется проводить в два этапа.

На первом этапе экспериментально устанавливается наличие у фотоэлемента р-п перехода. В ходе второго учащиеся определяют на качественном уровне зависимость напряжения на выводах фотоэлемента от интенсивности попадающего на него светового потока.

**Для выполнения первого этапа** работы с помощью соединительных проводов собирается электрическая цепь (рисунок 5), в которой последовательно с источником тока соединяют фотоэлемент и лампу накаливания. Собранную электрическую цепь подключают к лабораторному выпрямителю так, чтобы к фотоэлементу было приложено напряжение в обратной полярности. Положительный вывод фотоэлемента помечен на корпусе точкой или знаком «+». Фотоэлемент полностью закрывают от света. Убеждаются, что лампа не горит. Затем фотоэлемент подключают к выпрямителю в прямой полярности и наблюдают свечение лампы накаливания. На основании наблюдений делают вывод об односторонней проводимости фотоэлемента.

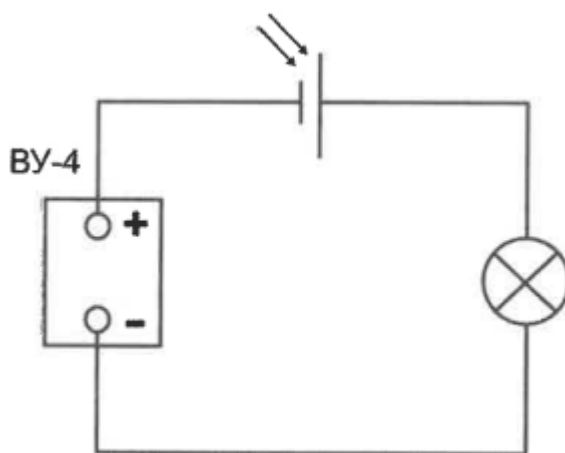


Рисунок 5 – Первый этап

**Для выполнения второго этапа работы** к выводам фотоэлемента подключают вольтметр (рисунок 6). Лампу накаливания подключают к выпрямителю и располагают перед фотоэлементом на расстоянии 10 см. Медленно приближая лампу к фотоэлементу, наблюдают изменение интенсивности освещения его поверхности и соответствующее изменение

показаний вольтметра (Результаты заносят в таблицу). Установив лампу вплотную к фотоэлементу, определяют максимальное значение напряжения, возникающее на его выводах. По итогам выполнения второго этапа работы делают заключение о том, какой проводник (кремний или селен) использован при изготовлении фотоэлемента.

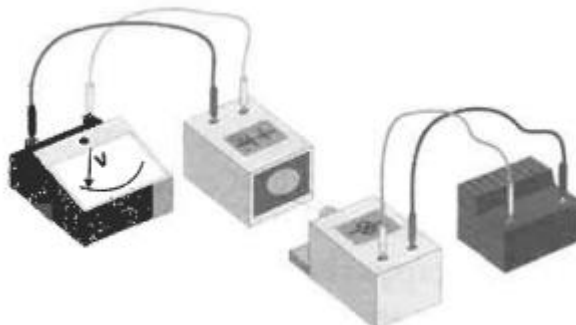


Рисунок 6 – Второй этап

х, см	U, В

Где х – расстояние между лампой и фотоэлементом,

U – показания вольтметра.

### Контрольные вопросы

1. В каких областях техники и применения находят применение полупроводниковые фотоэлементы? Укажите на конкретные примеры использования солнечных батарей на основе таких элементов.
2. Можно ли от одного элемента получить напряжение 0,5 В? 10 В? 100 В?
3. Какие материалы чаще всего используются для создания полупроводниковых фотоэлементов? Каким образом добавление примесей в полупроводник может изменить его свойства?

### Дополнительные материалы

1. [https://www.youtube.com/watch?v=u3wKrttkavA&pp=ygU70L\\_QvtC70YP\\_Qv9GA0L7QstC-0LTQvdC40LrQvtCy0YvQtSDRhNC-0YLQvtGN0LvQtdC80LXQvdGC0Ys%3D](https://www.youtube.com/watch?v=u3wKrttkavA&pp=ygU70L_QvtC70YP_Qv9GA0L7QstC-0LTQvdC40LrQvtCy0YvQtSDRhNC-0YLQvtGN0LvQtdC80LXQvdGC0Ys%3D)