

Работа 4 – 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ СЕЛЕНОВОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА

Цель работы: Изучение устройства и работы селенового фотоэлемента, его применение для определения освещенности, проведение градуировки фотоэлемента в единицах освещенности, определение интегральной чувствительности фотоэлемента, расчет ошибок измерения.

Оборудование: Оптическая скамья, рейтеры с фотоэлементом и эталонной лампой, микроамперметр.

Теория

Работа селенового фотоэлемента основана на фотоэффекте в запирающем слое, который возникает в системе, состоящей из двух полупроводников с различным типом проводимости.

Устройство селенового фотоэлемента следующее. На железную пластинку специальным способом наносится тонкий слой селена, обладающего p - проводимостью (дырочной). Затем на слой селена напыляется тончайшая пленка специально подобранного металла M , прозрачная для световых лучей. В процессе напыления металла на селен некоторые его атомы диффундируют внутрь селена на малую глубину, образуя пленку селена с примесью, которая обладает n - проводимостью (электронной). Таким образом, в селеновом фотоэлементе образуются два соприкасающихся полупроводника с электронной и дырочной проводимостью. В p – полупроводнике имеются свободные дырки, обладающие положительными зарядами, т.к. дырка – это отсутствие электрически отрицательного заряда. В n – полупроводнике имеются свободные электроны.

При соприкосновении p и n – полупроводников в результате процесса диффузии какое-то количество дырок перейдет в n -полупроводник, а некоторое число электронов перейдет в p –

полупроводник. В результате этого процесса положительный заряд p – проводника уменьшится, а перенос электронов в p – проводник дополнительно уменьшит положительный заряд. Поэтому в p –полупроводнике возникает избыток отрицательного заряда. Аналогичные процессы происходят и в n –полупроводнике. Следовательно, n – полупроводник приобретает положительный заряд.

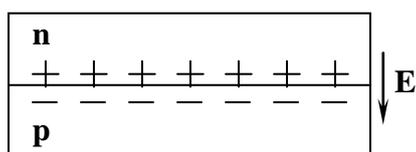


Рис. 1 а.

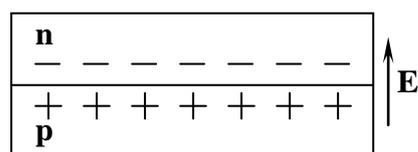


Рис. 1 б.

На границе соприкосновения таких полупроводников в слое малой толщины, когда на фотоэлемент не попадает свет, образуется электрическое поле, направленное от электронного полупроводника к дырочному, мешающее движению носителей тока в одном направлении и способствующее их движению в другом. Этот слой называется запирающим (рис. 1 а).

Свет, свободно проходя через пленку металла M и попадая на поверхность селена с примесью - в n - полупроводник, вследствие фотоэффекта образует дополнительные заряды: электроны и дырки. Дырки свободно диффундируют через n - p - переход, а электроны остаются в n - полупроводнике. Таким образом, в чистом селене и пластинке железа образуется избыток положительных зарядов, а в селене с примесью и пленке металла M возникает избыток отрицательных зарядов (рис. 1 б). В результате под действием света между пластинкой железа и пленкой металла M образуется разность потенциалов, которая и может наблюдаться, если между этими электродами включить гальванометр.

Сила тока в этой цепи i в определенных пределах оказывается прямо пропорциональной величине светового потока Φ , падающего на активную поверхность фотоэлемента:

$$i = k\Phi \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности в этой формуле k - получил название *интегральной чувствительности фотоэлемента*. Он

показывает величину возникающего фототока при падении на активную зону фотоэлемента светового потока в 1 лм.

$$K = \frac{i \text{ мкА}}{\Phi \text{ лм}} \quad (2)$$

Интегральная чувствительность хороших фотоэлементов может достигать 500 мкА/лм.

Высокая чувствительность селеновых фотоэлементов в сочетании с тем обстоятельством, что их спектральная чувствительность близка к спектральной чувствительности глаза человека (кривая видности), привела к широкому использованию этих приборов для определения освещенности.

В самом деле, т.к. освещенность определяется как световой поток Φ , равномерно распределенный на площади S , т.е.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (3)$$

то из ф. (1)

$$i = KSE \quad (4)$$

Таким образом, между силой фототока и освещенностью имеет место прямая пропорциональная связь (K и S - есть постоянные для данного фотоэлемента). Поэтому, если эту связь определить, то по показателям гальванометра (микроамперметра), можно определять освещенность в данном месте непосредственно в люксах.

Описание установки

Экспериментальная установка схематически изображена на рис. 2. На оптической скамье **1** с миллиметровыми делениями, установлена лампочка накаливания **2**, и фотоэлемент **3**, к которому присоединен микроамперметр **4**.

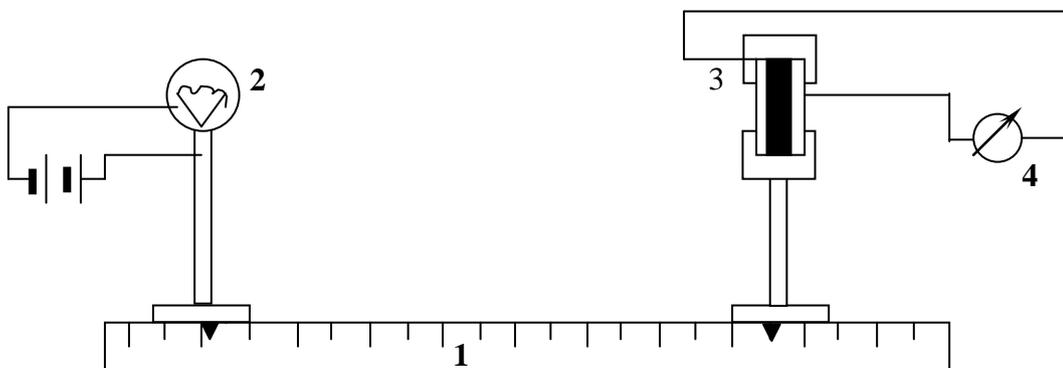


Рис. 2.

Упражнение 1

Определение зависимости $E = f(i)$

Свет от эталонной лампочки **2** с известной силой света I , направляется на фотоэлемент. Меняя расстояние R между лампочкой и фотоэлементом определяют силу фототока i с помощью микроамперметра A и пользуясь формулой:

$$E = \frac{I}{R^2}, \quad (5)$$

вычисляют значение освещенности для взятых расстояний R .

При каждом новом выбранном расположении R производится трехкратное измерение силы фототока i при нарушении и повторном установлении расстояния R . Это значение усредняется и этим усредненным значением пользуются для построения графика зависимости между током i в микроамперах и освещенностью E в люксах. Для построения графика устанавливают 5 разных расстояний R

между лампой и фотоэлементом. Результаты измерений заносятся в таблицу 1.

Рассеянный свет в комнате на величину фототока не влияет, т.к. он устраняется блендой, помещенной на фотоэлемент.

Таблица 1.

$R_{i, m}$	i_1	i_2	i_3	i_{cp}	E

Пользуясь таблицей, наносят точки на график с координатами i_{cp} - E и проводят прямую зависимость таким образом, чтобы возможно большее число точек легло на эту прямую, а остальные точки равномерно располагались по обе стороны прямой примерно на одинаковых расстояниях.

Определение ошибок измерений

При построении экспериментального графика всегда возникает некоторый разброс точек. Поэтому ошибку в измерении интересующей величины (в нашем случае освещенности) можно найти так. Нужно измерить отклонение каждой экспериментальной точки от линии графика по направлению параллельному оси определяемой величины (освещенности) и найти среднее значение этого отклонения. Эта величина и будет соответствовать ошибке измерения. Результаты этих измерений и заносятся в таблицу 2.

Таблица 2.

ΔE_1	ΔE_2	ΔE_3	ΔE_4	ΔE_5	ΔE_{cp}

Упражнение 2

Определение интегральной чувствительности фотоэлемента и ее ошибки

Величина интегральной чувствительности фотоэлемента из формулы (4) равна:

$$k' = \frac{i}{SE} \quad (4a)$$

Для определения этой величины с прямой графика для достаточно больших значений освещенности берутся значения силы фототока: i в мкА и освещенности E в лк. Величина площади поверхности активной зоны S в m^2 определяется экспериментально.

Ошибка в определении этой величины, как и любая ошибка косвенных измерений, находится как сумма частных производных по всем величинам, взятым со знаком "+", каждая из которых умножается на абсолютную ошибку той величины, по которой берется производная, т.е.:

$$\Delta k = \frac{\partial k}{\partial i} \Delta i + \frac{\partial k}{\partial S} \Delta S + \frac{\partial k}{\partial E} \Delta E \quad (6)$$

Величины i , S , E , которые входят в окончательный результат ф. (6) берутся теми же, что и для ф. (4a). Значение Δi находится по классу точности микроамперметра. Значение ΔS определяется как косвенное измерение с учетом того факта, что измерение диаметра активной зоны фотоэлемента производится с точностью половины минимального деления линейки, т.е. $\Delta l = 0,5 \text{ мм}$. Значение ΔE берется из таблицы 2. Окончательный результат записывается в виде :

$$k = (k' \pm \Delta k) \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$$

Относительная ошибка определяется из выражения

$$\varepsilon = \frac{\Delta k}{k} \cdot 100\% \quad (7)$$

Упражнение 3

Зависимость распределения светового потока вокруг источника света

Так как используемые источники света не являются точечными, то в разных направлениях лампа излучает различные световые потоки, которые имеют простую связь с освещенностью, определяемую по ф. (3). Поэтому для определения распределения светового потока вокруг лампочки поступают следующим образом :

1. Фотоэлемент устанавливают на среднем расстоянии из тех, которые использовались при градуировке фотоэлемента.

2. Лампу с помощью специального приспособления вращают вокруг своей оси таким образом, чтобы была получена максимальная освещенность. В таблицу 3 заносят показание лимба, которое затем принимается за нулевое значение, и силу фототока.

3. Поворачивают лампу на 30^0 от первоначального (нулевого) положения и определяют силу фототока.

4. Повторяют эти измерения при последующем повороте лампы через 30^0 вплоть до угла 360^0 . Результаты измерений заносят в таблицу 3.

5. Для каждого угла поворота сила фототока определяется по трем независимым измерениям, из которых определяется среднее значение. Для этого нарушают и затем снова восстанавливают положение угла на измерительном лимбе.

6. Пользуясь градуировочным графиком, полученным в упражнении 1, определяют значения освещенностей и по ф. 3 рассчитывают величины световых потоков. Результаты вычислений так же заносят в таблицу 3.

7. По данным таблицы 3 вычерчивают диаграмму распределения светового потока вокруг источника света. Для этого из произвольной точки проводят радиусы — векторы под углами 0^0 , 30^0 , 60^0 , 90^0 и т.д., и на них откладывают отрезки пропорциональные соответствующим значениям светового потока. Концы отрезков соединяют плавной кривой, которая и является распределением светового потока вокруг источника света.

Таблица 3.

$\angle\alpha$		0°	30°	60°	90°	300°	330°	360°
i	1								
	2								
	3								
i_{cp}									
E									
Ф									

Литература:

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Наука, 1976.
2. Бутиков Е.И. Оптика.– М. Высшая школа, 1986.
3. Хитун В.А. и др. Практикум по физике.– М. Высшая школа 1972.