

**ИЗУЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ФОТОЭФФЕКТА В ФОТОДИОДЕ**

Выполнил студент гр. \_\_\_\_\_

Ф.И.О. \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_

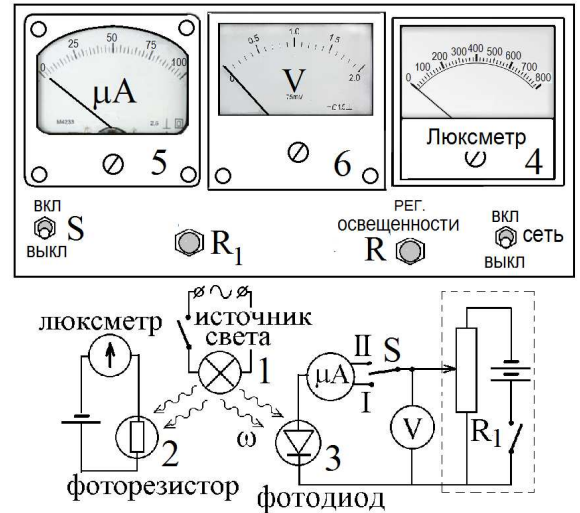
дата \_\_\_\_\_

(обязательна после окончания эксперимента)

Цель работы: ознакомиться с явлением внутреннего фотоэффекта и с работой полупроводникового фотодиода, определить его характеристики.

Описание установки

Источник света (1) освещает полупроводниковый фотодиод (3) и фоторезистор (2), величина тока в котором пропорциональна освещенности. Включает освещенность переключатель S. Величину освещенности, которую показывает люксметр (4), можно менять регулятором R. Напряжение на фотодиоде, которое можно менять регулятором R, измеряет вольтметр 6. Двухканальный микроамперметр (5) измеряет величину фототока. Тумблер S меняет режим работы микроамперметра. В положении S – выкл включается первый каскад, и ток измеряется в интервале 0-10 мкА. В положении S – вкл включается второй каскад и интервал измерения микроамперметра 0-200 мкА. При включении установки в сеть на фотодиод подаётся обратное напряжение.



Порядок выполнения работы

1. Разобраться в назначении и расположении измерительных приборов и регулировок на панели установки. Определить цену деления каждого прибора.
2. Включить установку в сеть, тумблер S поставить в положение “выкл”. Включится 1-й каскад измерения тока (0-10 мкА). Регулятором R установить нулевую освещенность  $E=0$ .
3. С помощью регулятора  $R_1$  установить значения напряжения  $U$  на фотодиоде, указанные на лабораторной установке. Для этих значений измерить зависимость темнового тока  $I$ , текущего через фотодиод, от напряжения  $U$ . Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

$E=0$ лк	$U, В$												
	$I, мкА$												
$R_{ст} =$		Ом				$R_{диф} =$		Ом					

4. Тумблер S поставить в положение “вкл”. При этом включится 2-й каскад измерения тока (0-200 мкА). Провести аналогичные измерения величины тока  $I$  при тех же значениях напряжения  $U$ , что и в п.3, при четырех разных значениях освещенности  $E$ , указанных на лабораторной установке. Величину освещенности  $E$  изменять регулятором R. Данные измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

$E, лк$	$U, В$												
$E_1 =$	$I, мкА$												
$E_2 =$	$I, мкА$												
$E_3 =$	$I, мкА$												
$E_4 =$	$I, мкА$												

5. Оставить тумблер S в положении “вкл”. Потенциометром  $R_1$  установить величину напряжения  $U = 0 В$ . При этом часть схемы, выделенная на рисунке пунктиром, отключается, на фотодиод не подаётся внешнее напряжение и вольтметр V играет роль балластного сопротивления, включенного последовательно с микроамперметром  $\mu A$ , который начинает выполнять роль вольтметра, измеряющего падение напряжения на фотодиоде, т.е. величину фотоЭДС  $\mathcal{E}_ф$ . Шкала микроамперметра, включенного по 2-му каскаду будет иметь пределы измерения 0-500 мВ.

6. Меняя ручкой R величину освещенности через равные интервалы, измерить соответствующие

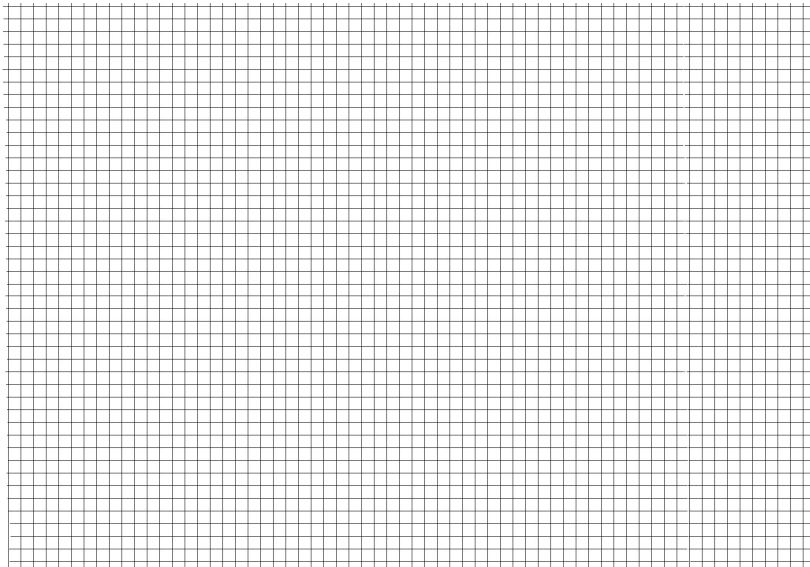
значения  $\mathcal{E}_\phi$  по шкале микроамперметра и занести их в таблицу 3.

Таблица 3.

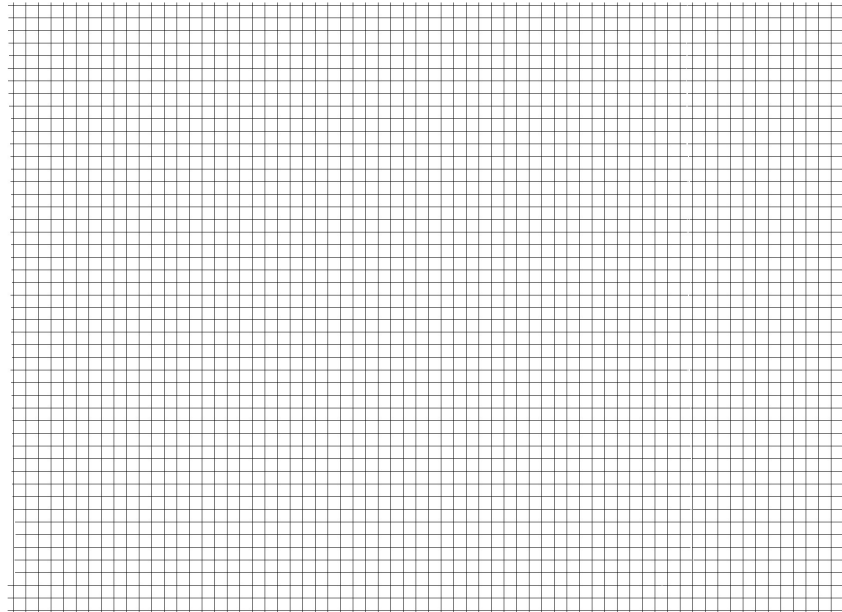
$U=0$	$E$ , лк										
	$\mathcal{E}_\phi$ , мВ										
$k =$		А/лк		$\lambda =$		мВ/лк					

7. Выключить установку.

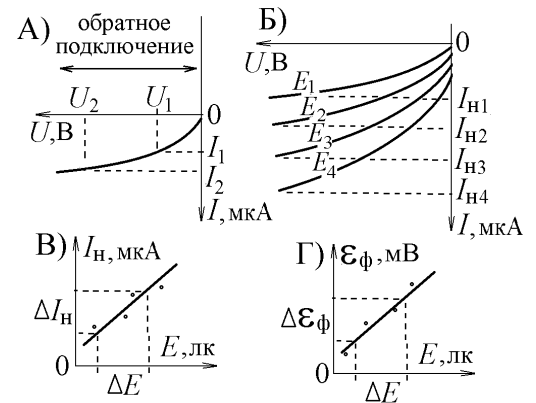
8. По данным таблицы 1 построить график темновой характеристики фотодиода  $I = f(U)$  при  $E = 0$  (см.рис.А).



Темновая характеристика фотодиода  $I = f(U)$  при  $E = 0$



Световая характеристика фотодиода  $I = f(U)$



9. На графике выбрать интервал, где зависимость  $I = f(U)$  приблизительно линейна (см.рис.А), и по формулам  $R_{ст} = \frac{U_1}{I_1}$  и  $R_{диф} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1}$  вычислить статическое и дифференциальное сопротивление фотодиода. Результат занести в таблицу 1.

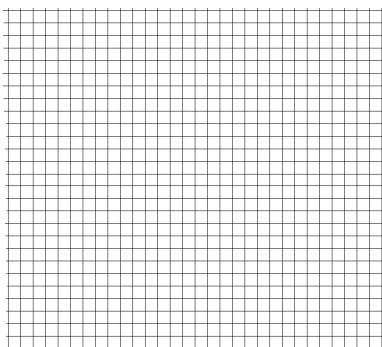
10. По данным таблицы 2 на одном листе построить семейство графиков зависимости  $I = f(U)$  для разных значений освещенности  $E = E_1, E_2, E_3, E_4$  (световая характеристика фотодиода). Так как на фотодиод подается **обратное** напряжение  $U$ , то вид графиков получится таким, как изображено на рис.Б.

11. На этих графиках определить величины тока насыщения  $I_n$  для каждого значения  $E$ . Построить график зависимости  $I_n = f(E)$  и по этому графику, как показано на рис.В, определить чувствительность фотодиода  $k = \Delta I_n / \Delta E$ .

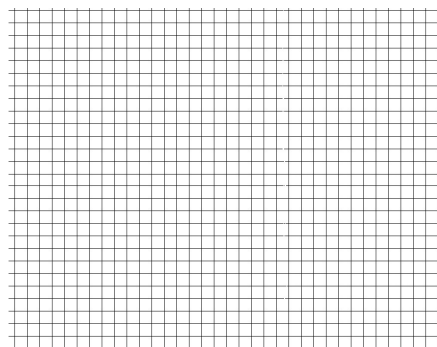
12. По данным таблицы 3 построить график зависимости величины фотоЭДС  $\mathcal{E}_\phi$  от освещенности фотоэлемента  $\mathcal{E}_\phi = f(E)$  (см.рис.Г). По этому графику определить величину градуировочного коэффициента фотоЭДС

$$\lambda = \Delta \mathcal{E}_\phi / \Delta E.$$

Результаты занести в таблицу 3.



Зависимость  $I_n = f(E)$



Зависимость  $\mathcal{E}_\phi = f(E)$

### Контрольные вопросы к лабораторной работе № 51 Б

1. Какие энергетические зоны называются зоной проводимости и валентной зоной? Чем отличаются электроны, находящиеся в этих зонах?
2. Что такое квазичастица-дырка? Как она образуется и как перемещается по кристаллической решётке полупроводника?
3. Чем отличаются примесные полупроводники *n*- и *p*-типа? Нарисуйте для них энергетические диаграммы. Что является основными и неосновными носителями заряда в этих полупроводниках?
4. Как образуется запирающий слой в месте контакта *p*- и *n*-полупроводников? Объясните направление запирающего поля в нём.
5. Что называется прямым и обратным включением полупроводникового фотодиода? Почему в данной работе на него надо подавать обратное напряжение?
6. В чем заключается явление внутреннего фотоэффекта? Чем внутренний фотоэффект отличается от внешнего?
7. Что из себя представляет используемый в работе фотоэлемент? Почему слой *n*-полупроводника в нём должен быть очень тонким?
8. Нарисуйте и объясните вольт-амперную характеристику полупроводникового фотодиода. Какой измеряемый в работе ток называется темновым?
9. Что происходит с вольтамперной характеристикой при увеличении освещенности? Объясните вид графиков  $I = f(U)$ .
10. Каким образом в данной работе измеряется освещенность, создаваемая источником света? Чем фоторезистор отличается от фотодиода?
11. Как рассчитать статическое и дифференциальное сопротивление фотодиода? Как найти величину его чувствительности к освещению?
12. Каким образом полупроводниковый фотоэлемент преобразует энергию света в электрическую энергию тока?
13. Какая величина называется фотоЭДС? Как она зависит от освещенности фотоэлемента? Сделайте и объясните вывод её выражения  $\mathcal{E}_\phi = \frac{k_B T}{e} \left( 1 + \frac{I_\phi}{I_{\text{неосн}}} \right)$ .
14. Почему в режиме вентильного фотоэффекта возникает ток утечки и от чего зависит его величина?

Теоретические сведения к данной работе можно найти в учебных пособиях:

1. Савельев И.В. Курс общей физики в 3-х тт. – СПб., М., Краснодар: Лань, 2008. – Т. 3: §§9, 43, 45-47.
2. Колмаков Ю. Н., Левин Д.М., Семин В.А. Основы физики конденсированных сред и физики микромира: Ч.1, – изд. ТулГУ. 2014, §§6.4, 6.5.