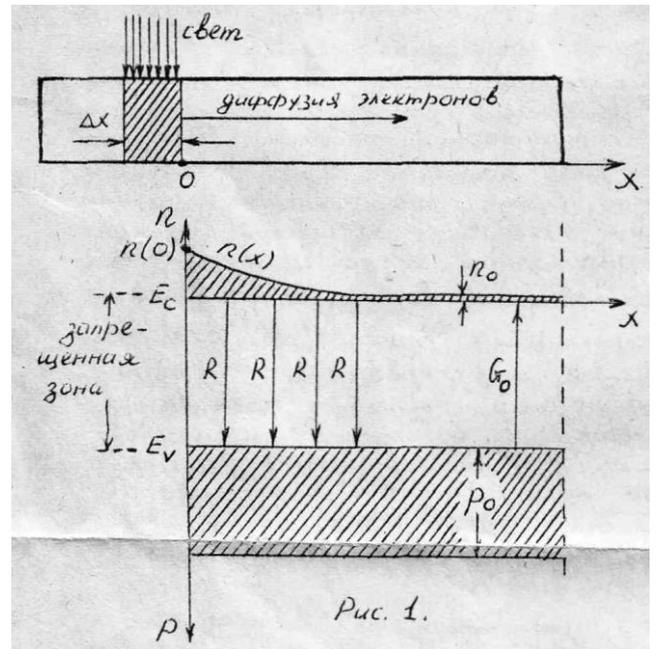


Лабораторная работа №3

“Определение диффузионной длины и времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках”

Цель работы: определение диффузионной длины и времени жизни неосновных носителей заряда. Метод основан на измерении пространственного распределения концентрации неравновесных носителей заряда, возбужденных светом. Измерения проводятся на образцах германия при комнатной температуре.

Теория: Рассмотрим диффузию неосновных избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике. Допустим, что имеется полупроводник p -типа ($p_0 \gg n_0$, где p_0 и n_0 – концентрации дырок и электронов в темноте, при отсутствии освещения). Поперечные размеры полупроводника значительно меньше его длины, рис. 1. Очень узкая область полупроводника (Δx порядка долей миллиметра) освещается светом, здесь происходит световая генерация электронов и дырок, причем $\Delta n = \Delta p$. Концентрация основных зарядов p_0 остается много большей концентрации избыточных носителей Δn ($p_0 \gg \Delta n = \Delta p$). Время жизни электронов в зоне проводимости τ_n . Для неосновных носителей (электронов) $\Delta n \ll n_0$. Поэтому $p \approx p_0 = \text{const}(x)$, а $n \approx \Delta n$. Благодаря наличию градиента концентрации электронов возникнет их диффузия в неосвещенную область полупроводника. Для сохранения электронейтральности вслед за электронами потянется такое же количество дырок. По мере продвижения вглубь полупроводника, рис. 1, электроны будут рекомбинировать с дырками. Скорость рекомбинации:



$$R = \gamma np = \gamma p_0 \Delta n = \frac{\Delta n}{\tau_n}, \quad (1)$$

Где γ – коэффициент рекомбинации, $\tau_n = \frac{1}{\gamma p_0}$ – время жизни электронов (неосновных носителей заряда).

Концентрация избыточных электронов Δn может быть определена в результате решения уравнения непрерывности:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G - R + \frac{1}{q} \text{div } j_n = -R + \frac{1}{q} \frac{dj_n}{dx}, \quad (2)$$

так как в неосвещенной части полупроводника скорость генерации $G = G_0 = R$, q – заряд электрона. Плотность

электронного диффузионного тока $j_n = qD_n \frac{dn}{dx}$, где D_n – коэффициент диффузии электронов. Тогда

$\frac{dj_n}{dx} = qD_n \frac{d^2n}{dx^2}$. В стационарном случае $\frac{\partial n}{\partial t} = 0$ и из уравнений (2) и (1) получим дифференциальное уравнение для Δn :

$$D_n \frac{d^2n}{dx^2} = \frac{\Delta n}{\tau_n} \quad \text{или} \quad D_n \frac{d^2\Delta n}{dx^2} = \frac{\Delta n}{\tau_n}. \quad (3)$$

Решение этого уравнения следующее:

$$\Delta n(x) = \Delta n(0) \cdot \exp\left(-\frac{x}{L_n}\right), \quad \text{где } L_n = \sqrt{D_n \tau_n}. \quad (4)$$

$\Delta n(0)$ – концентрация избыточных электронов у границы света и тени (при $x = 0$, рис. 1). При удалении от световой полоски Δn уменьшается экспоненциально с расстоянием. L_n называется *диффузионной длиной* неосновных носителей заряда (у нас – электронов). Это то расстояние, на котором концентрация этих носителей уменьшается в $e = 2,72$ раз.

Методика измерений. Для определения диффузионной длины неосновных носителей заряда необходимо провести измерение распределения концентрации неравновесных (избыточных) носителей вдоль образца. Эти измерения могут быть выполнены с помощью выпрямляющего точечного контакта. Из курса «Микрооптоэлектроника» известна формула для плотности тока j через контакт металл–полупроводник (барьер Шоттки):

$$j = j_s \left[\exp\left(\frac{qV_G}{kT}\right) - 1 \right],$$

где V_G – приложенное к образцу напряжение, j_s – плотность тока насыщения. Для диффузионной теории выпрямления $j_s = q\mu_n n_s E_{\max}$, где n_s – плотность электронов в полупроводнике около контакта, E_{\max} – напряженность электрического поля около контакта. По диодной теории (когда длина свободного пробега электронов велика) $j_s = \frac{1}{4} qV_T n_s$, где V_T – тепловая скорость электронов. В запирающем направлении ($V_G < 0$), если $|V_{\text{об}}| \ll \frac{kT}{q}$, то

$\exp\left(\frac{qV_G}{kT}\right) \approx 1 + \frac{qV_G}{kT}$, получим для тока через контакт $j = j_s$. То есть в любом случае ток через контакт пропорционален концентрации неосновных носителей n_s вблизи контакта.

Поэтому, если вблизи такого контакта концентрация неосновных носителей изменяется за счет создания дополнительной концентрации Δn_s , то приращение Δj тока через контакт будет пропорционально Δn_s . Этот точечный контакт (он называется коллектором) для германия представляет собой электролитически заточенную вольфрамовую проволоку, рис. 2 (К – коллектор). На рис. 2 показана упрощенная схема (полная электрическая схема экспериментальной установки выдается при выполнении лабораторной работы). Перемещая зонд-коллектор вдоль образца, можно снять зависимость концентрации неосновных носителей заряда от расстояния x до границы света и тени. Поверхность образца освещается пучком света в виде узкой полоски.

Для того, чтобы отделить ту часть коллекторного тока (Δj), которая вызвана избыточными носителями Δn , применяется модулированное освещение. Свет модулируется вращающимся диском с прорезями. Частота прерывания света выбирается с учетом того, что концентрация избыточных носителей должна успевать достигать своего установившегося (стационарного) значения за время освещения образца и спадать до нуля ($\Delta n = 0$) в интервале между двумя импульсами света. Это условие выполняется при длительности освещения и затемнения $\ll \tau_n$ – время жизни электронов (неосновных носителей заряда).

Возникающий при освещении образца ток j регистрируется в цепи коллектора К, рис. 2. Сопротивление R_n служит нагрузкой в цепи коллектора. С него снимается переменная составляющая U , которая измеряется ламповым вольтметром V или подается на осциллограф. Именно переменная составляющая тока (или напряжения U) пропорциональна концентрации избыточных носителей заряда и, следовательно,

$$\ln U \propto \ln \Delta n = \text{const} - \frac{x}{L_n} \quad \text{или} \quad \lg U \propto \lg \Delta n = \text{const} - 0,434 \frac{x}{L_n}. \quad (5)$$

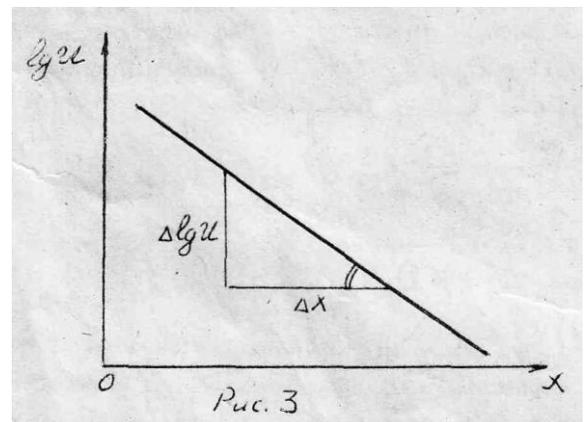
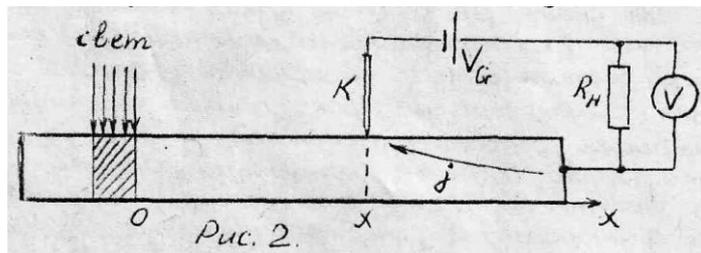
Из рис. 3 следует, что

$$L_n = 0,434 \frac{\Delta x}{\Delta \lg U}. \quad (6)$$

Зная диффузионную длину L_n из уравнения (4) определим время жизни неравновесных носителей заряда (в нашем примере – электронов):

$$\tau_n = \frac{L_n^2}{D_n}. \quad (7)$$

В германии $D_n = 93 \text{ см}^2/\text{с}$ (при комнатной температуре). Для образца n -типа (основные носители – электроны, неосновные – дырки) по таким же формулам (6) и (7) находим L_p и τ_p . В германии коэффициент диффузии дырок $D_p = 44 \text{ см}^2/\text{с}$.



Порядок выполнения лабораторной работы N 3

Определить диффузионную длину неосновных носителей заряда на образце CdSe (селенид кадмия).

Рекомендуется следующий порядок выполнения работы.

1. Включить источник питания, милливольтметр, осциллограф, модулятор.
2. Задать напряжение на образце 30 В.
3. Определить положение световой полосы на образце по отношению к электродам.
4. Пользуясь регулятором сдвига предметного столика определить диапазон координат измерения – напряжение должно измениться в диапазоне от max до min.
5. При выключенной лампе (отсутствии световой полосы) измерить уровень шумов на образце.
6. Включить лампу – источник света для формирования световой полосы на образце.
7. Провести измерение распределения напряжения U по образцу, изменяя расстояние x между коллектором и границей светового пятна через 0,1 мм.
8. Измерения необходимо провести не менее трех раз. Результаты измерений оформить в виде таблицы.
9. Выключить лампу.
10. По данным таблицы построить график зависимости логарифма напряжения $\lg(U)$ от расстояния x . По наклону прямолинейного участка графика определить диффузионную длину неосновных носителей заряда.
11. Воспользовавшись осциллограммой, определить время жизни неосновных носителей заряда.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое генерация и рекомбинация?
2. Что такое диффузионный и дрейфовый токи? Формула диффузионного тока
3. Диффузионная длина, ее связь с подвижностью
4. Методика эксперимента определения диффузионной длины. Установка.
5. Время жизни, определение и формула
6. Определение времени жизни по релаксационной кривой