

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра конструирования узлов и деталей радиоэлектронной аппаратуры  
(КУДР)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ  
НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА МЕТОДОМ МОДУЛЯЦИИ ПРОВОДИМОСТИ

РУКОВОДСТВО  
к лабораторной работе по курсу  
«Физические основы микро- и наноэлектроники»  
для студентов, обучающихся по направлению  
11.03.03 - «Конструирование и технология электронных средств»

РАЗРАБОТЧИК  
доценты каф. КУДР  
М.М. Славникова

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Свободными носителями заряда в полупроводнике являются электроны и дырки, участвующие в электропроводности. Возникновение свободных носителей заряда связано с ионизацией атомов, образующих кристаллическую решетку полупроводника. В условиях теплового равновесия скорость возникновения (генерации) свободных носителей равна скорости их исчезновения (рекомбинации). Концентрация носителей заряда, соответствующая тепловому равновесию, называется равновесной.

Под действием света, ионизирующих излучений или сильных электрических полей концентрация свободных носителей в полупроводнике может превышать равновесную. После прекращения такого воздействия неравновесная концентрация уменьшается (стремится к равновесной) из-за преобладания рекомбинации. Если неравновесная (избыточная) концентрация мала в сравнении с равновесной, то скорость уменьшения пропорциональна этой неравновесной концентрации

$$\frac{\partial \Delta n}{\partial t} = -\frac{\Delta n}{\tau} \quad (1.1)$$

где  $\frac{1}{\tau}$  - вероятность рекомбинации носителей за одну секунду. Знак "минус" указывает на уменьшение концентрации носителей заряда во времени. Интегрирование выражения (1.1) дает

$$\Delta n = \Delta n(0) \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \quad (1.2)$$

где  $\Delta n$  - концентрация неравновесных носителей после прекращения внешнего воздействия,  $\Delta n(0)$  - концентрация неравновесных носителей в момент прекращения внешнего воздействия.

Параметр  $\tau$  называют временем жизни неравновесных носителей заряда. Время жизни характеризует скорость рекомбинации неравновесных носителей и определяется как время, в течение которого их концентрация уменьшается в  $e = 2,72$  раз. Для одного и того же материала величина  $\tau$  может изменяться в широких преде-

лах (обычно от  $10^{-2}$  до  $10^{-9}$  с) в зависимости от концентрации примесей, наличия дефектов, состояния поверхности полупроводника.

Время жизни влияет на ряд характеристик  $p$ - $n$  переходов и приборов на их основе, в частности, на величину обратных токов и инерционность. Зависимость обратного тока от времени жизни неосновных носителей гиперболическая, т.е. с уменьшением времени жизни обратный ток перехода растет. Соотношение, определяющее предельную частоту  $f_{np}$  работы диода:

$$f_{np} = \frac{1}{2\tau} \quad (1.3)$$

показывает, что для разработки безынерционных приборов требуется полупроводниковый материал с малым временем жизни неосновных носителей заряда.

Основной задачей данной работы является измерение времени жизни неравновесных неосновных носителей заряда в полупроводнике.

## 2. МЕТОД МОДУЛЯЦИИ ПРОВОДИМОСТИ

Существует несколько методов измерения времени жизни - световые и импульсные. Из импульсных методов наиболее распространенным является метод модуляции проводимости. В этом методе используется явление изменения (модуляции) сопротивления базовой области  $p$ - $n$  перехода или точечного контакта металл - полупроводник при введении неосновных носителей.

Носители вводятся в базовую область через  $p$ - $n$  переход посредством импульса прямого тока длительностью  $t_u$ . Сопротивление базовой области в результате этого уменьшается, что приводит к уменьшению падения напряжения на образце (рис. 2.1). Через некоторое время достигается стационарное значение падения напряжения, соответствующее стационарной неравновесной концентрации. После окончания первого импульса число неравновесных носителей заряда уменьшается вследствие рекомбинации, что приводит к увеличению сопротивления образца.

Спустя некоторое время задержки  $t_3$  к образцу прикладывается второй импульс тока. Если время задержки  $t_3 < \tau$ , то амплитуда импульса напряжения на

образце под действием второго импульса тока будет меньше, чем под действием первого, т. к. не все неравновесные носители успеют рекомбинировать. Зависимость разности амплитуд первого ( $V_1$ ) и второго ( $V_2$ ) импульсов напряжения  $\Delta V = V_1 - V_2$  дается выражением

$$\Delta V = C \exp\left(-\frac{t_3}{\tau}\right), \quad (2.1)$$

где  $C$  соответствует  $\Delta n(0)$  в (1.2).

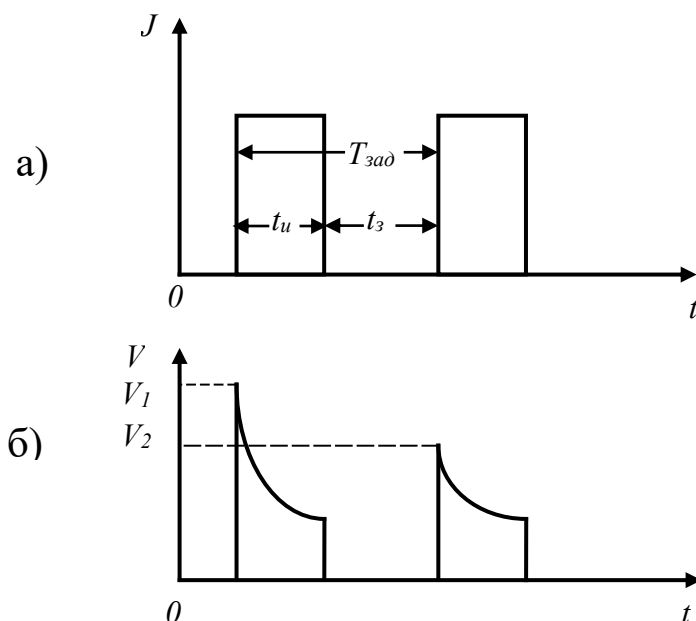


Рисунок 2.1 Импульсы прямого тока (а) и соответствующие им импульсы падения напряжения на образце (б).

Логарифмируя (2.1), получим уравнение прямой, наклон которой в координатах  $\ln(\Delta V) = f(t_3)$  определяет время жизни:

$$\tau = \frac{\Delta t_3}{\Delta \ln(\Delta V)} \quad (2.2)$$

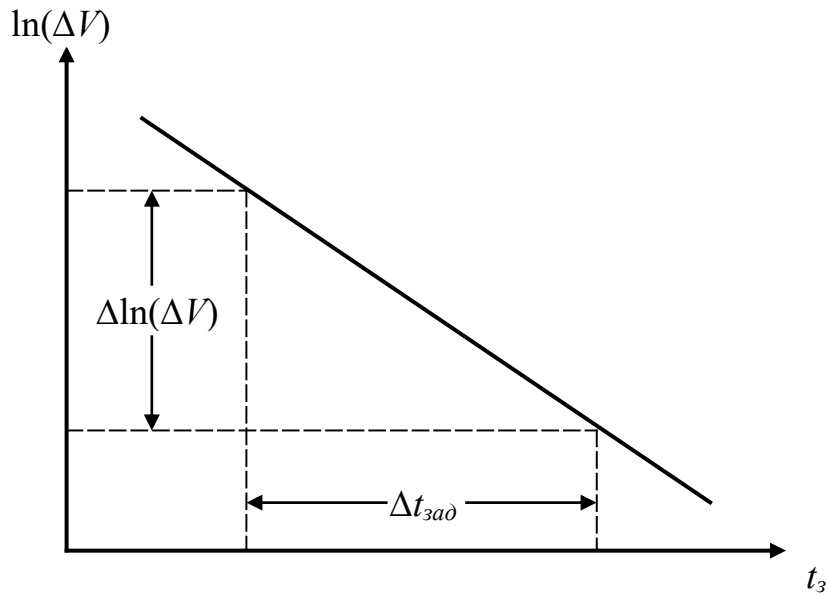


Рисунок 2.2 Зависимость логарифма разности амплитуд импульсов падения напряжения от времени задержки.

### 3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Функциональная схема установки для измерения времени жизни методом модуляции проводимости показана на рис. 3.1.

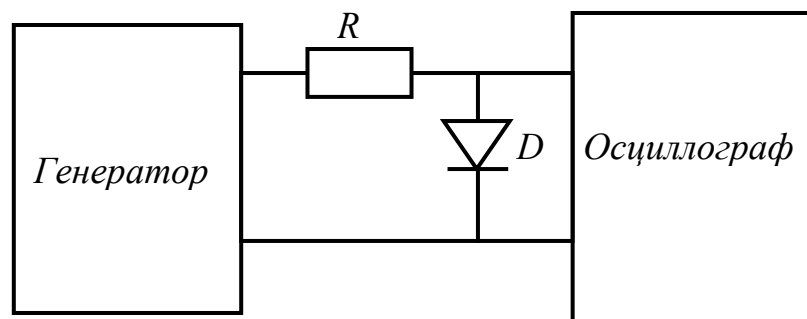


Рисунок 3.1 Функциональная схема установки для измерения времени жизни методом модуляции проводимости.

Сдвоенные прямоугольные импульсы с выхода генератора через сопротивление  $R$  подаются на объект исследования  $D$ . В качестве объекта исследования в работе используются полупроводниковые диоды. С помощью осциллографа наблюдается падение напряжения на диоде. Осциллограф синхронизирован с генератором импульсов. Время задержки

$$t_3 = T - t_u. \quad (2.2)$$

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 4.1. Собрать схему установки согласно рис. 3.1.
- 4.2. Получить на экране осциллографа картину как на рис. 2.1,б. Длительность инжектирующего импульса выбрать так, чтобы наблюдалось насыщение падения напряжения на образце  $V_1$ , а время задержки  $t_3 > 3 \tau$  (в этом случае  $V_1 = V_2$ ).
- 4.3. Уменьшая  $t_3$  получить зависимость  $\Delta V(t_3)$  для предложенных образцов. Результаты занести в таблицу.
- 4.4. Построить графики  $\ln(\Delta V(t_3))$ .
- 4.5. По наклону линейной зависимости  $\ln(\Delta V(t_3))$  определить время жизни.
- 4.6. Оформить отчет.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Как показать на зонной диаграмме полупроводника процессы генерации и рекомбинации?
- 5.2. С чем может быть связано появление неравновесных носителей заряда в полупроводнике?
- 5.3. Что называют временем жизни неравновесных носителей заряда? Каков физический смысл этого параметра?
- 5.4. Какие факторы и почему влияют на время жизни носителей в полупроводнике?
- 5.5. Как определяется время жизни в данной работе?

5.6. Объяснить зависимость обратного тока  $p-n$  - перехода от времени жизни основных носителей.

## 6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

6.1. Практикум по полупроводникам и полупроводниковым приборам / Под редакцией К. В. Шалимовой/, - М.: Высшая школа, 1968.

6.2. Епифанов Г.И. Физические основы микроэлектроники, - М.: Советское радио, 1971.