МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. Н. Головяшкин, А. А. Вольсков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЙ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ

Методические указания к лабораторным работам

ПЕНЗА 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

А. Н. Головяшкин, А. А. Вольсков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЙ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ

Методические указания к лабораторным работам

Пенза
Издательство ПГУ
2024

УДК 621. 384 (075.8)
Г61

Рецензент
кандидат технических наук,
генеральный директор
Научно-производственного предприятия «Сонар» (г. Пенза)
А. Ю. Доросинский

Головяшкин, Алексей Николаевич.

Г61 Исследование параметров и характеристик полупроводниковых компонентов с помощью измерений барьерной емкости : метод. указания к лабораторным работам / А. Н. Головяшкин, А. А. Вольсков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2024. – 36 с.

Представлено описание лабораторных работ по курсу «Твердотельная электроника». Изложена методика исследования параметров и характеристик полупроводниковых активных компонентов с помощью измерений барьерной емкости *p-n*-переходов. Приведены краткие сведения по физике полупроводниковых компонентов, методике измерений барьерной емкости *p-n*-переходов, построению и анализу получаемых вольт-фарадных характеристик диодных и транзисторных структур.

Приведены необходимые справочные данные для проведения расчетов и обработки экспериментальных результатов, а также рекомендации по оформлению отчета выполненных лабораторных работ.

Издание подготовлено на кафедре «Нано- и микроэлектроника» и предназначено для обучающихся по направлениям подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

УДК 621. 384 (075.8)

© Пензенский государственный
университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

БАРЬЕРНАЯ ЕМКОСТЬ *P-N*-ПЕРЕХОДОВ 4

ОПИСАНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ 10

Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНЫХ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ 12

Лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С УПРАВЛЯЮЩИМ *P-N*-ПЕРЕХОДОМ С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ 15

Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ 19

Лабораторная работа № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР ПОЛЕВЫХ МДП-ТРАНЗИСТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ВОЛЬТ-ФАРАДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ ИСТОКОВОЙ И СТОКОВОЙ ОБЛАСТЕЙ 24

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 29

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ 30

ПРИЛОЖЕНИЕ 32

БАРЬЕРНАЯ ЕМКОСТЬ *P-N*-ПЕРЕХОДОВ

Барьерная емкость *p-n*-перехода проявляется при приложении к *p-n*-переходу изменяющегося во времени напряжения. При этом через *p-n*-переход проходит ток. Та доля тока, которая не связана с движением подвижных носителей заряда через *p-n*-переход, и определяет барьерную емкость. Таким образом, барьерная емкость связана с током смещения (как и обычная емкость).

На рис. 1 схематично показано изменение заряда двойного заряженного слоя *p-n*-перехода $dQ_{\text{ОЗ}}$ при изменении его границ $d\delta_p$ в *p*-области и $d\delta_n$ в *n*-области, при этом суммарная толщина *p-n*-перехода $\delta = \delta_p + \delta_n$ может как увеличиваться, так и уменьшаться. Таким образом, барьерная емкость $C_{\text{бар}}$ плоского одномерного *p-n* перехода может быть рассчитана по формуле плоского конденсатора:

$$C_{\text{бар}} = \varepsilon\varepsilon_0 S / \delta, \qquad (1)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость полупроводникового материала; ε_0 – диэлектрическая постоянная; S – площадь *p-n* перехода.

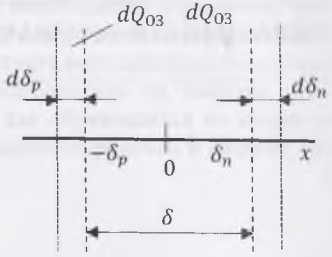

Рис. 1. Изменение толщины *p-n*-перехода и объемного заряда при изменении напряжения на *p-n* переходе

Такой результат не является очевидным, так как распределение зарядов в плоском конденсаторе и в электронно-дырочном переходе не одинаково. Причина совпадения формул – в характере изменения заряда *p-n*-перехода: при изменении напряжения на *p-n*-переходе заряд изменяется потому, что сдвигаются границы *p-n*-перехода. Заряды, обусловливающие барьерную емкость, сосредоточены в двух тонких слоях, расположенных на расстоянии один от другого (рис. 1), что очень напоминает поверхностные заряды на металлических обкладках конденсатора.

Однако барьерная емкость и обычный конденсатор имеют принципиальное различие, которое будет изложено ниже.

Для расчетов на практике используются две модели: модель резкого *p-n*-перехода и модель плавного *p-n*-перехода. В свою очередь резкие *p-n*-переходы разделяются на симметричные и несимметричные.

Толщина резкого симметричного перехода определяется выражением $\delta = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0\left(N_{ap}+N_{dn}\right)\left(\varphi_{kon}-U\right)}{qN_{ap}N_{dn}}}$, подставив которое в (1), получим уравнение для расчета барьерной емкости

$$C_{bar} = S\sqrt{\frac{q\varepsilon\varepsilon_0 N_{ap}N_{dn}}{2\left(N_{ap}+N_{dn}\right)\left(\varphi_{kon}-U\right)}}, \qquad (2)$$

где N_{ap} *и* N_{dn} – концентрации легирующей примеси акцепторов в *p*- и доноров в *n*-области соответственно; φ_{kon} – контактная разность потенциалов; U – внешнее постоянное напряжение, приложенное к *p-n*-переходу.

Для резкого *p-n*-перехода, когда концентрация легирующей примеси в одной из областей много больше, чем в другой, выражения для расчета толщины и, соответственно, барьерной емкости упрощаются:

$$C_{bar} = S\sqrt{\frac{q\varepsilon\varepsilon_0 N}{2\left(\varphi_{kon}-U\right)}}, \qquad (3)$$

где N – концентрация примесей в слаболегированной области (в диодных структурах эту область называют базой).

Толщина плавного *p-n*-перехода с линейным распределением концентрации примесей определяется выражением $\delta = \sqrt[3]{\frac{12\varepsilon\varepsilon_0\left(\varphi_{kon}-U\right)}{qa}}$, и после подстановки в (1) получим уравнение для расчета барьерной емкости

$$C_{bar} = S\sqrt[3]{\frac{qa\left(\varepsilon\varepsilon_0\right)^2}{12\left(\varphi_{kon}-U\right)}}, \qquad (4)$$

где a – градиент эффективной концентрации примесей ($N_д - N_a$).

Как видно из полученных результатов, при разных распределениях примесей имеют место разные вольт-фарадные характеристики (ВФХ) *p-n*-переходов. Это дает возможность оценивать характер распределения

Учебное издание

Головяшкин Алексей Николаевич,
Вольсков Андрей Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОНЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЙ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ

Редактор *Е. А. Дергунова*
Технический редактор *Ю. В. Анурова*
Компьютерная верстка *Ю. В. Ануровой*

Подписано в печать 29.07.2024.
Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 2,09.
Заказ № 343. Тираж 30.

Издательство ПГУ
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru