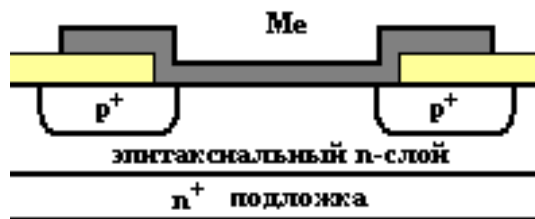


ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники
и наноэлектроники

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ № 3—4
по дисциплине «Физические основы электроники»
для студентов направления 11.03.04
«Электроника и наноэлектроника»,
профиля «Электронное машиностроение»
очной формы обучения



Воронеж 2015

Составители: д-р техн. наук С.А. Акулинин,
ст. преподаватель С.А. Минаков

УДК 621.382

Методические указания по выполнению лабораторных работ № 3—4 по дисциплине «Физические основы электроники» для студентов направления 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника», профиля «Электронное машиностроение» очной формы обучения/ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. С.А. Акулинин, С.А. Минаков. Воронеж, 2015. 22 с.

Методические указания содержат краткие теоретические и практические сведения о МДП-транзисторе, диоде Шотки.

Предназначены для оказания помощи студентам при выполнении лабораторных работ и закреплении теоретических сведений по дисциплине «Физические основы электроники».

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле ФОЭ2.doc.

Ил. 5. Библиогр.: 1 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. К.А. Разинкин

Ответственный за выпуск зав. кафедрой
д-р физ.-мат. наук, проф. С.И. Рембеза

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет», 2015

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ПАРАМЕТРОВ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ

Цель работы: экспериментальное изучение основных зависимостей некоторых параметров и характеристик МОП-транзисторов. Сопоставление экспериментальных и расчетных данных параметров и характеристик МОП-транзисторов.

2. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

1. Рассчитать стоковые характеристики МОП-транзистора $I = f(U_c)$ при $U_z = 8$ и 12 В. Напряжение U_c менять от 0 до 20 В через каждые 2 В.

2. Рассчитать передаточную характеристику МОП-транзистора $I_c = f(U_z)$ при $U_c = 10$ В. Напряжению U_z давать значение до 20 В.

3. Найти крутизну характеристики для крутой и пологой частей при $U_z = 10$ В. Исходные данные выдаются преподавателем.

Теоретическая часть

Полевой транзистор со структурой металл - оксид - полупроводник (МОП) представляет собой прибор, управляемый напряжением, который имеет очень высокое входное сопротивление ($10^{12} - 10^{14}$ Ом), независящее от величины и полярности входного напряжения. Устройство МОП-транзистора с каналом p -типа изображено на рис. 1. В подложке из кремния n -типа путем диффузии сформированы две сильно легированные области p -типа (сток и исток), располо-

женные на расстоянии 5 - 30 мкм друг от друга. На поверхности кремния между стоком и истоком расположен тонкий (800 - 2000 Å) слой изоляционного материала, на который нанесен слой металла (затвор). Рассмотрим принцип действия МОП-транзистора с индуцированным каналом. При заземленных стоке и истоке затвор управляет зарядом в канале - области, расположенной у поверхности подложки между стоком и истоком. При подаче на затвор отрицательного напряжения (для *n*-подложки) свободные электроны подложки вытесняются на прилегающей к затвору области и в ней образуется обедненный слой. По достижении определенной степени обеднения увеличение смещения на затворе вызывает движение к поверхности кремния подвижных дырок. В результате накопления дырок меняется тип проводимости (инверсия проводимости). При этом области *p*-типа окажутся соединенными между собой инверсионным слоем (каналом). Подавая на затвор сигнал, можно модулировать количество носителей в канале, так что затвор по существу регулирует ток, протекающий в канале. Повышение напряжения на стоке при постоянном напряжении на затворе меняет условие в области канала.

Ток стока, вызывает падения напряжения вдоль канала, которое стремится противодействовать полю, создаваемому в слое окисла смещением затвора. Когда падение напряжения достигает такой величины, при котором поле уменьшается на столько, что инверсионный слой больше не возникает, канал переходит в состояние перекрытия (режим отсечки) и ток стока стремится к постоянной величине, независящей от напряжения на стоке (состояние насыщения). Инверсионный слой имеет наибольшую величину у истока и стремится к нулевой толщине в точке перекрытия. Падение напряжения на слое окисла между затвором и точкой канала, в которой происходит перекрытие, называют пороговым напряжением $U_{пор}$.

Иначе, это напряжение на слое окисла под затвором, необходимое и достаточное для формирования в канале инверсионного слоя.

Семейство вольт-амперных характеристик тока стока для различных напряжений на затворе приведено на рис. 2. Входное и выходное напряжения имеют один и тот же знак. На рис. 2 видно, что величина, на которую изменяется выходной ток при данном приращении на затворе, возрастает по мере роста напряжения на затворе (при $U_z > U_{пор}$). Выходной ток пропорционален квадрату входного напряжения, иначе МОП-транзистор является прибором с квадратичной характеристикой.

Если на семействе выходных характеристик провести линию постоянного напряжения стока и начертить зависимость между током стока I_c и входным напряжением U_z , то полученная кривая носит название передаточной характеристики. Если данные этой кривой представить в форме $\sqrt{I_c}/U_z$, то эта зависимость представляет собой прямую линию. Продолжая эту прямую до пересечения с осью абсцисс $I_c=0$, можно найти величину порогового напряжения $U_{пор}$. Вольт-амперные характеристики делятся на крутую и пологую области.

Вывод уравнения характеристики для крутой области базируется на идеализированной схеме прибора (рис.1). Выражение для тока в канале можно записать следующим образом

$$I_k = W \int j_k(x, y) dx \quad (1)$$

где W - ширина канала по оси z . Согласно закону Ома

$$j_k(x, y) = \sigma(x) E_y = q \mu_p p(x) E_y \quad (2)$$

так что

$$I_k = W \int q \mu_p p(x) E_y dx$$

или

$$I_k = W q \mu_p E_y \int p(x) dx \quad (3)$$

Здесь предполагается, что μ_p - величина постоянная, не зависящая от X . Так как $E_y = -(dU/dy)$, то

$$-I_k = W \mu_p \frac{dU}{dy} q \int \rho(x) dx \quad (4)$$

где $q \int \rho(x) dx$ представляет собой подвижный заряд на единицу площади поперечного сечения канала. Найдем эту величину. Для обеспечения электрической нейтральности МОП-структуры сумма всех зарядов должна равняться нулю, то есть $Q_k + Q_m = Q_z + Q_{ис} + Q_b$, где Q_z - заряд на затворе; $Q_{ис}$ - заряд, накопленный в окисле и локализованный на поверхности раздела Si-SiO₂; Q_k - заряд, накопленный вблизи поверхности кремния; Q_b - заряд, обедненного слоя. Сумма $Q_z + Q_{ис}$ соответствует всем зарядам вне полупроводника, а сумма $Q_k + Q_m$ - всем зарядам внутри полупроводника (на единицу площади). Таким образом, заряд в канале равен

$$-Q_k = Q_z + Q_{ис} + Q_m \quad (5)$$

Заряд, индуцированный затвором, можно связать с напряжением на затворе при помощи закона Гаусса:

$$\int_3 E_n dS = \frac{Q_{\text{общ}}}{\varepsilon} \quad (6)$$

В уравнении (6) E_n считается постоянной для данного расстояния по оси y , а дифференциал dS равен дифференциалу площади затвора $w dy$, так что соотношение между полем и зарядом в канале принимает вид

$$\varepsilon_m E_n W dy = Q_{\text{общ}} \quad (7)$$

Величина E_n определяется выражением

$$E_n = dUn/dx, \quad (8)$$

где dUn - напряжение на слое окисла; dx -толщина окисла. При этом напряжение на слое окисла равно разности потенциалов затвора и канала. Потенциал в канале зависит от расстояния в направлении оси y потенциал изменяется от U_c у истока до нуля у истока). Подставляя (8) в (7) получим

$$Q_3 = [U_3 - U(y)]C \quad (9)$$

Уравнение (9) выражает связь между удельным зарядом под затвором и произведением удельной емкости затвора на падение напряжения в слое окисла. Подставив в(5) заряд затвора, определенный из выражения (9)

$$Q_k = -[U_3 - U(y)]C - (Q_{nc} + Q_n) \quad (10)$$

Уравнение (10) является математическим выражением для подвижного заряда. Это - тот заряд, который обеспечивает проводимость канала между стоком и истоком. Заметим, что $Q_n = q \int p(x) dx$; в правой части стоит неизвестный интеграл из уравнения (4). Подставляя (10) в (4), получим

$$-I_k = W\mu_p \frac{dU}{dy} \{-[U_3 - U(y)]C - (Q_{nc} + Q_n)\} \quad (11)$$

Вынесем C за скобки

$$I_k dy = W\mu_p C dU \{[U_3 - U(y)]C + (Q_{nc} + Q_n)/C\} \quad (12)$$

Теперь можно проинтегрировать уравнение (12) от 0 до L по длине канала и от 0 до U_c по напряжению

$$I_k \int_0^L dy = W\mu_p C \left[U_3 \int_0^{U_c} dU - \int_0^{U_c} U(y) du + \frac{Q_{nc} + Q_m}{C} \int_0^{U_c} dU \right]$$

$$I_k L = W\mu_p C (U_3 U_c - \frac{1}{2} U_c^2 + \frac{Q_{nc} + Q_m}{C} U_c)$$

Так как $C = Co/wh$, то

$$I_k = -\frac{C_0 \mu_p}{L^2} \left[-(U_3 - U_{пор}) U_c + \frac{1}{2} U_c^2 \right] \quad (13)$$

где $U_{пор} = - (Q_{nc} + Q_m)C$. Уравнение (13) можно также записать в виде

$$I_k = -\beta \left[-(U_3 - U_{пор}) U_c + \frac{1}{2} U_c^2 \right] \quad (14)$$

где $\beta = W\mu_p/L$ - постоянная транзистора (удельная крутизна). Ток в канале связывается с током стока простым соотношением (рис. 1)

$$I_k + I_c = 0 \quad \text{или} \quad I_k = -I_c$$

Таким образом, уравнение для тока стока (крутая область вольт-амперной характеристики) имеет вид

$$I_c = -\beta \left[(U_3 - U_{\text{пор}}) U_c - \frac{1}{2} U_c^2 \right] \quad (15)$$

Это уравнение вольт-амперной характеристики справедливо только в случае, если $U_c \ll U_3 - U_{\text{пор}}$. При $U_c > U_3 - U_{\text{пор}}$ прибор переходит в область насыщения тока или перекрытия канала. Уравнение (15) несправедливо и в области малых токов, когда $U_3 \approx U_{\text{пор}}$. Из рис. 2 видно что по мере увеличения U_c ток стока увеличивается сначала линейно, затем скорость его возрастания уменьшается, и при достаточно больших U_c ток стока стремится к постоянной величине. Это связано с перекрытием канала вблизи стока. Определим приближенно границу между крутой и пологой областями характеристики. Предположим, что заряд в канале в момент перекрытия равен нулю, поэтому приравниваем к нулю правую часть уравнения (10)

$$[U_3 - U(y)]C = -(Q_{nc} + Q_n) \quad (16)$$

Поскольку наибольший потенциал в канале наблюдается у стокового конца, заменим $U(y)$ на U_c . После простых преобразований уравнение (16) приводится к виду $U_c = U_3 - U_{\text{пор}}$

$$U_{\text{пор}} = - \frac{|Q_{nk} + Q_n|}{C} \quad (17)$$

Уравнение (17) является математическим выражением границы между крутой и пологой областями характеристик. Справа от граничной линии прибор работает в пологой области и $U_c > U_3 - U_{\text{пор}}$ слева от этой линии прибор работает в крутой области, при которой $U_c < U_3 - U_{\text{пор}}$. В области насыщения выходные характеристики могут быть получены

путем подстановки выражения (17) в уравнение (15). После преобразования получим

$$I_c = -\frac{\beta}{2}(U_3 - U_{пор})^2 \quad (18)$$

Уравнение (18) справедливо при $U_c > U_3 - U_{пор}$, и оно отражает квадратичную зависимость тока стока от напряжения на затворе и то, что ток стока не зависит от напряжения на стоке. В реальном МОП-транзисторе ток стока зависит от напряжения на стоке из-за модуляции длины канала и его сопротивления. Уравнение (18) справедливо лишь в случае фиксированного напряжения на стоке. Оно описывает передаточную функцию квадратичного вида. Рассмотрим эту зависимость в виде $\sqrt{|I_c|} = f(U_3)$. Уравнение (18) можно записать в виде

$$\sqrt{|I_c|} = \sqrt{\frac{\beta}{2}}U_3 - \sqrt{\frac{\beta}{2}}U_{пор} \quad (19)$$

Оно совпадает с уравнением прямой $y = mx + b$, где m – наклон прямой; b - константа. Если в уравнении (19) величина $\sqrt{|I_c|} = 0$, то напряжение на затворе становится равным пороговому напряжению. Продолжив кривую до точки $\sqrt{|I_c|} = 0$, можно определить приближенное значение порогового напряжения непосредственно по оси U_3 , зная наклон прямой, можно найти постоянную β , так как наклон прямой равен $\sqrt{\frac{\beta}{2}}$.

Кроме рассмотренного способа экстраполяции пороговое напряжение можно найти путем измерения напряжения на затворе, при котором ток стока равен небольшой величине $I_c = 10$ мкА. Найдя $U_{пор}$, можно найти постоянную β либо по наклону прямой, либо из уравнения (18) при постоянном

напряжении на стоке. Зная $U_{пор}$ и β , можно определить ток стока для любого заданного напряжения на затворе. Способ определения порогового напряжения методом экстраполяции показан на рис. 3.

Усилительное свойство МОП-транзистора определяется переходной проводимостью или крутизной, которая характеризуется зависимостью выходного тока от входного напряжения. Крутизна определяется как отношение малого приращения тока стока к приращению напряжения на затворе, которое обусловлено изменением тока

$$S = \frac{dI_c}{dU_3} [U_c \sim 0] \quad (20)$$

Дифференцируя уравнение для тока стока (15) по напряжению на затворе получим значение крутизны характеристики для крутой области

$$S = -\beta U_c \quad (21)$$

Здесь предполагается, что β не зависит от напряжения на затворе. В действительности же $\beta = \mu \epsilon_A - W/t_n L$ где μ - подвижность носителей, не зависящая от напряжения на затворе. С учетом этого

$$S = -\beta(U_3) U_c - \left| \frac{d\mu/U_3}{dU_3} \right| * \left| \frac{E_n W}{t_n L} \right| [U_3 - U_{пор}] U_c - \frac{U_c^2}{2} \quad (22)$$

Дифференцируя уравнение для тока стока (18) по напряжению на затворе, получим значение крутизны для пологой области характеристики

$$S = \frac{\partial \left[\frac{\beta}{2} (U_3 - U_{\text{пор}})^2 \right]}{\partial U_3} = -\beta (U_3 - U_{\text{пор}}) \quad (23)$$

Существует два способа увеличения крутизны S . Во-первых, можно увеличить напряжение смещения на затворе, во-вторых, увеличение отношения ширины канала к его длине повышает величину β . Измерение параметров МОП-транзисторов осуществляется на тестере статических параметров Л2-56.

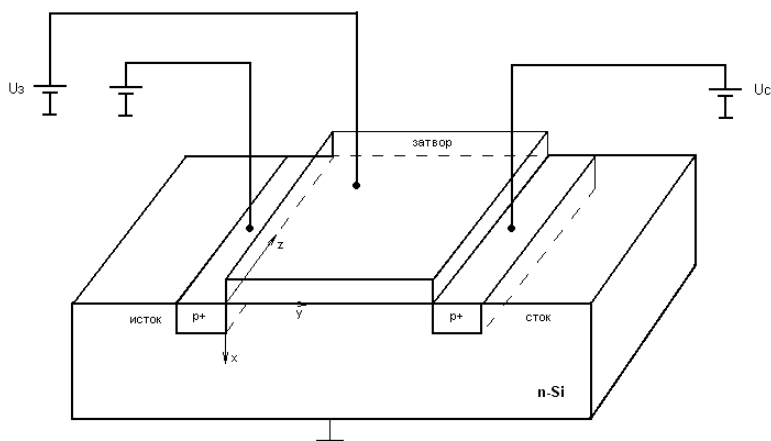


Рис. 1. Схематическое устройство МОП-транзистора

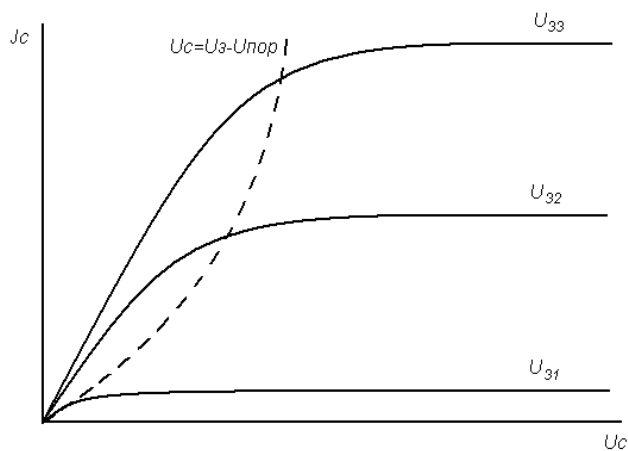


Рис.2. Стоковые (выходные) вольт-амперные характеристики МОП-транзистора с индуцированным каналом

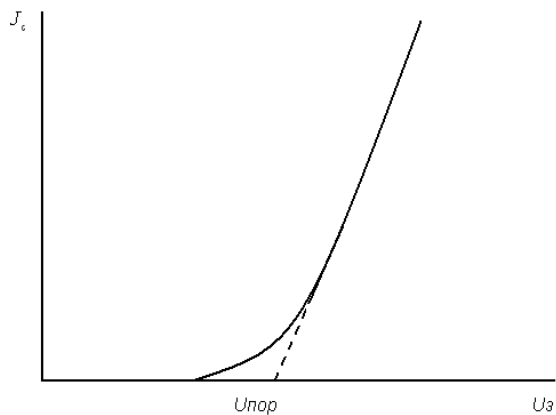


Рис. 3. Определение порогового напряжения по передаточной характеристике

Лабораторное задание

1. Снять зависимость $I_c = f(U_z)$ при $U_c = 10$ В. По построенной зависимости найти пороговое напряжение при $I_c = 10$ мкА.

2. Методом экстраполяции найти точное значение порогового напряжения.

3. Снять семейство характеристик $I_c = f(U_c)$ при $U_z = \text{const}$.

4. Построить семейство стоковых характеристик и определить по ним линию границ между крутой и пологой частями вольт-амперной характеристики. Сравнить снятые и рассчитанные вольт-амперные характеристики.

5. Найти значение удельной крутизны по экспериментальным данным и сравнить с рассчитанным значением удельной крутизны.

6. Графически найти значение крутизны для крутой и пологой частей вольт-амперной характеристики при $U_c = \text{const}$.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве и принципе работы МОП-транзистора.

2. Объясните вольт-амперные характеристики МОП-транзистора.

3. Поясните понятие порогового напряжения и способы его нахождения.

4. Чем характеризуются усилительные свойства МОП-транзистора?

5. Что характеризует удельная крутизна? Как можно улучшить усилительные свойства МОП-транзистора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИЗУЧЕНИЕ ВАХ ДИОДА ШОТТКИ

Цель работы:

Изучение свойств контакта металл-полупроводник, снятие вольт-амперных характеристик.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Механизмы инжекции носителей заряда в сильных электрических полях

Термоэлектронная инжекция

Термоэлектронной инжекцией называют инжекцию равновесных горячих свободных носителей через потенциальный барьер на границе раздела полупроводник–диэлектрик, пониженный электрическим полем. Рассмотрим чему равен этот ток (его обычно называют током термоэлектронной эмиссии по механизму Шоттки).

Выделим в фазовом пространстве координат и скоростей элемент объема dr , равный $dr/vr = dV_x dV_y dV_z dx dy dz$. Учтем, что в соответствии с принципами неопределенности, минимальный объем, который может занимать электрон в фазовом пространстве квазиимпульсов и координат равен $(dR_{pr})_{\min} = h * h * h$. Согласно принципу Паули, в каждом таком состоянии может находиться не более двух электронов с разными спинами. То-

гда число состояний dz для электронов в единице объема ($dx dy dz$) в фазовом пространстве $\{V, R\}$ в предположении изотропности эффективных масс, будет

$$dz = 2 \cdot \frac{dP_x dP_y dP_z}{h^3} = \frac{2m^*{}^3}{h^3} dV_x dV_y dV_z. \quad (1)$$

Для условий термодинамического равновесия функция распределения носителей по энергиям будет функцией Ферми-Дирака.

Для горячих носителей $\frac{\hbar^2 k^2}{2m} \gg kT$, которые играют основную роль в рассматриваемом процессе функция распределения хорошо аппроксимируется распределением Больцмана:

$$f_0(E, T) = \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right), \quad (2)$$

где E_c – энергия электрона, E_f – энергия Ферми, T – температура.

Число равновесных электронов в единице объема dn , обладающей энергией E и скоростями в диапазоне от V_x, V_y, V_z до $V_x + dV_x, V_y + dV_y, V_z + dV_z$, будет:

$$dn = f_0(E, T) dz = \frac{2m^*{}^3}{h^3} \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right) dV_x dV_y dV_z. \quad (3)$$

Изменение высоты потенциального барьера на границе металл–диэлектрик при приложении электрического поля E будет равно (эффект Шоттки):

$$\Delta\Phi_{hd}(E) = q\sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon\epsilon_0}} = \beta\sqrt{E}, \quad (4)$$

где $\beta = q\sqrt{\frac{qE}{4\pi\epsilon\epsilon_0}}$ называется постоянной Шоттки.

Рассмотрим ток термоэлектронной эмиссии, обуславливающий инжекцию через потенциальный барьер, пониженный полем. Пройти через барьер могут только электроны, энергия которых больше, чем высота потенциального барьера, имеющие компоненту скорости v и направляющую по оси x . Тогда плотность тока термоэлектронной эмиссии будет:

$$j = q \int_{\langle\tau\rangle} V_y dn = \frac{2qm^*{}^3}{h^3} \int_{\langle\tau\rangle} v_y \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right) dV_x dV_y dV_z. \quad (5)$$

При переходе от интегрирования по фазовому объёму к интегрированию по скоростям V_x, V_y, V_z ; С учётом того, что кинетическая энергия любого электрона, участвующего в переносе заряда.

$$E_k = \frac{mV_{x\min}^2}{2} \geq \Phi_{hd}(E) = -E_i + E_0 - \beta\sqrt{E}, \quad (6)$$

получаем:

$$j = \frac{2m^{*3}}{h^3} \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right) \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{m^*V_y^2}{2kT}\right) dV_y \times \quad (7)$$

$$\times \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{m^*V_z^2}{2kT}\right) dV_z \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{m^*V_x^2}{2kT}\right) dV_x.$$

Решая уравнение (7) с учетом (6) получаем:

$$j = \frac{4\pi q m^* k^2 T^2}{h^3} \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right) \exp\left(\frac{\beta\sqrt{E}}{kT}\right). \quad (8)$$

Уравнение (8) описывает ток термоэлектронной инжекции из полупроводника в диэлектрик через барьер, пониженный электрическим полем.

Рассмотрим контакт металл - полупроводник. В случае контакта возможны различные комбинации (р- и n-типы полупроводника) и соотношения термодинамических работ выхода из металла и полупроводника. В зависимости от этих соотношений в области контакта могут реализоваться три состояния. Первое состояние соответствует условию плоских зон в полупроводнике, в этом случае реализуется нейтральный контакт. Второе состояние соответствует условию обогащения приповерхностной области полупроводника (дырками в р-типе и электронами в n-типе), в этом случае реализуется омический контакт. И, наконец, в третьем состоянии приповерхностная область полупроводника обеднена основными носителями, в этом случае в области контакта со стороны полупроводника формируется область пространственного заряда ионизированных доноров или акцепторов и реализуется блокирующий контакт, или барьер Шоттки.

В полупроводниковых приборах наибольшее применение получили блокирующие контакты металл - полупроводник или

барьеры Шоттки. Рассмотрим условие возникновения барьера Шоттки. Ранее было показано, что ток термоэлектронной эмиссии с поверхности любого твердого тела определяется уравнением Ричардсона:

$$j_T = AT^2 \exp\left(-\frac{\Phi}{kT}\right) \quad (9)$$

Для контакта металл - полупроводник n-типа выберем условие, чтобы термодинамическая работа выхода из полупроводника $\Phi_{п/п}$ была меньше чем термодинамическая работа выхода из металла Φ_{Me} . В этом случае согласно уравнению (9) ток термоэлектронной эмиссии с поверхности полупроводника $j_{п/п}$ будет больше, чем ток термоэлектронной эмиссии с поверхности металла:

$$\Phi_{Me} > \Phi_{п/п}; \quad j_{Me} < j_{п/п}.$$

При контакте таких материалов в начальный момент времени ток из полупроводника в металл будет превышать обратный ток из металла в полупроводник и в приповерхностных областях полупроводника и металла будут накапливаться объемные заряды - отрицательные в металле и положительные в полупроводнике. В области контакта возникнет электрическое поле, в результате чего произойдет изгиб энергетических зон. Вследствие эффекта поля термодинамическая работа выхода на поверхности полупроводника возрастет. Этот процесс будет проходить до тех пор, пока в области контакта не выравняются токи термоэлектронной эмиссии и соответственно значения термодинамических работ выхода на поверхности.

На рис. 1 показаны зонные диаграммы различных этапов формирования контакта металл - полупроводник. В условиях равновесия в области контакта токи термоэлектронной эмис-

сии выравнивались, вследствие эффекта поля возник потенциальный барьер, высота которого равна разности термодинамических работ выхода: $\phi_k = \Phi_{Me} - \Phi_{п/п}$.

Для контакта металл - полупроводник р-типа выберем условие, чтобы термодинамическая работа выхода из полупроводника $\Phi_{п/п}$ была больше, чем термодинамическая работа выхода из металла Φ_{Me} . В этом случае ток термоэлектронной эмиссии с поверхности полупроводника $j_{п/п}$ будет меньше, чем ток термоэлектронной эмиссии с поверхности металла. При контакте таких материалов в начальный момент времени ток из металла в полупроводник р-типа будет превышать обратный ток из полупроводника в металла, и в приповерхностных областях полупроводника и металла будут накапливаться объемные

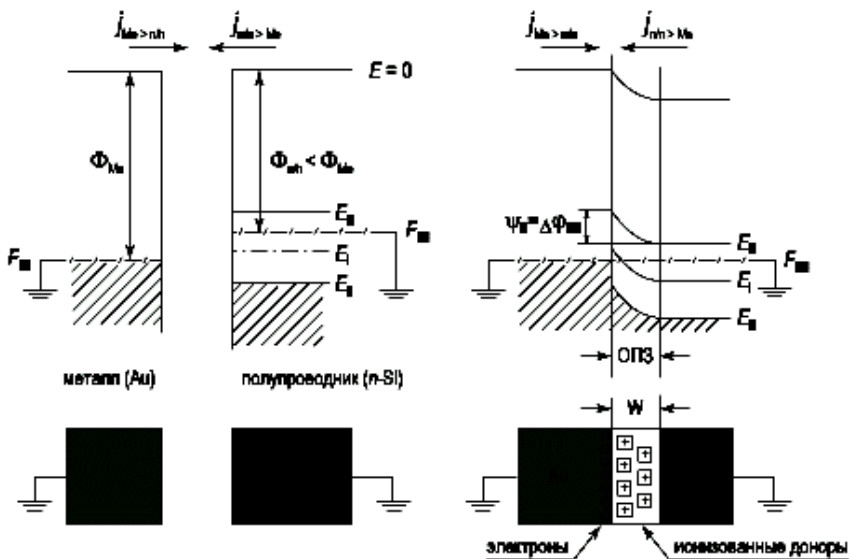


Рис. 1. Зонная диаграмма, иллюстрирующая образование барьера Шоттки

заряды - положительные в металле и отрицательные в полупроводнике.

В дальнейшем картина перехода к равновесному состоянию и формирования потенциального барьера для контакта металл - полупроводник р-типа аналогична рассмотренной выше для контакта металл - полупроводник n-типа.

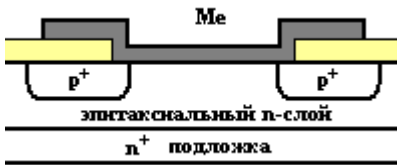
Конструктивно диод Шоттки представляет собой выпрямляющий контакт металл-полупроводник.

Р-области на рис. 2 - это охранные кольца, которое служит для увеличения области обеднения и уменьшения напряженности поля в полупроводнике, т.е. соответственно, увеличения напряжения пробоя по периферии прибора.

Величина тока насыщения j_s может быть рассчитана по диодной теории

$$j_s = \frac{1}{4} q n_0 e^{-\frac{q\phi_k}{kT}} \sqrt{\frac{8kT}{m^* \pi}} \quad (10)$$

или в соответствии с диффузионной теорией:



$$j_s = q \mu_n E_{\max} n_0 e^{\frac{q\phi_k}{kT}} \quad (11)$$

Рис. 2

Здесь ϕ_k - контактная разность потенциалов, равная

разности работ выхода из металла и полупроводника. К преимуществам диодов Шоттки можно отнести:

- малое время восстановления при работе в импульсном режиме т.к. максвелловское время релаксация τ для основных носителей заряда - мало и имеет порядок пикосекунд
- его вольтамперная характеристика проходит выше, чем у р-п перехода, т.е. при одинаковых прямых смещениях диод Шоттки уже открыт, а р-п переход еще нет.

Последнее обстоятельство позволяет использовать его в ИМС семейства ГТЛШ, включив его параллельно коллекторному переходу. Тем самым предотвращается переход транзистора в режим насыщения и увеличивается быстродействие ИМС

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Снять вольт-амперную характеристику диода Шоттки при прямом и обратном смещениях по схеме на рис. 3.

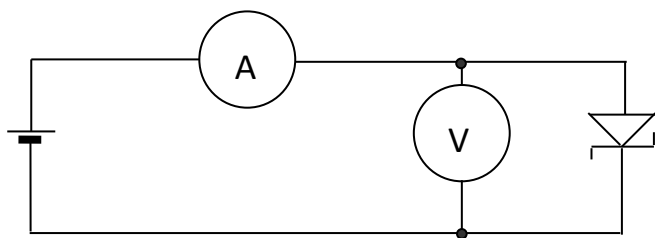


Рис. 3

1. Постройте вольт-амперную характеристику, снятую при различных температурах.

2. Вычислите при одинаковом напряжении и различных температурах следующие параметры:

а) статические и динамические сопротивления при прямом и обратном напряжении;

б) коэффициент выпрямления;

Сравните сопротивление и коэффициент выпрямления при различных температурах. Сделайте выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем объясняется искривление энергетических зон у поверхности полупроводника?

2. Что такое дебаевская длина экранирования?

3. Нарисуйте зонную диаграмму выпрямляющего контакта металла с полупроводником n -типа.

4. Почему при контакте металла и полупроводника контактное поле в основном проникает в полупроводник и практически не проникает в металл?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Епифанов Г.И. Твердотельная электроника / Г.И. Епифанов, Ю.А. Монс. М.: Высш. шк., 1986. 267 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 3.....	1
Лабораторная работа № 4.....	14
Библиографический список.....	22

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ № 3—4
по дисциплине «Физические основы электроники»
для студентов направления 11.03.04
«Электроника и нанoeлектроника»,
профиля «Электронное машиностроение»
очной формы обучения

Составители:

Акулинин Станислав Алексеевич
Минаков Сергей Алексеевич

В авторской редакции

Компьютерный набор С.А. Минакова

Подписано к изданию 28.12.2015

Уч.-изд. л. 1,3.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»

394026 Воронеж, Московский пр., 14