

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Харламов Роман Викторович

КУРСОВАЯ РАБОТА

Измерение ВАХ СВЧ диода ВПД407 и выбор его рабочей точки

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18309

Научный руководитель:

к. ф-м. н. И. А. Иванов

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

Симонов А. А.

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

Итоговая оценка

к.т.н. Астрелин В.Т.

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019

Аннотация

Целью работы являлось измерение ВАХ детекторного СВЧ диода и оптимальный выбор его рабочей точки. Для выполнения был выбран диод ВПД407. ВАХ, полученная в результате измерений хорошо согласуется с теорией. Был подан ток смещения, из-за чего чувствительность детектора была повышена. Однако при обработке результатов обнаружилось наличие контактной разности потенциалов, из-за чего чувствительность детектора имеет порог около нуля в измеряемом диапазоне.

Ключевые слова: СВЧ диод, вольт – амперная характеристика, рабочая точка, чувствительность диода.

Оглавление

Введение.....	4
Теоретическая часть.....	4
1 Вольт – амперная характеристика	6
2 Рабочая точка.....	7
Заключение	9
Список литературы	9

Введение

Сверхвысокочастотный диод — полупроводниковый диод, предназначенный для работы в диапазоне СВЧ. Одной из областей его применения является детектирование сигналов. Исходя из амплитуды регистрируемого сигнала производят так называемый выбор рабочей точки, регулировать которую можно подачей дополнительного постоянного тока на диод.

Целями работы являлись получение ВАХ исследуемого диода и осуществление выбора его оптимальной рабочей точки.

Теоретическая часть

В данной работе использовался СВЧ диод с барьером Шоттки. Для лучшего понимания стоит обозначить некоторые особенности его устройства.

В основе работы данного диода лежит переход М-П, получаемый вакуумным напылением металла на полупроводник, называемый переходом с барьером Шоттки. ДБШ выполняются из кремния или арсенида галлия n типа, высота потенциального барьера у которых составляет 0,27 – 0,9В. Обычно в качестве металлического электрода используется молибден, золото, алюминий и другие металлы, работа выхода которых для образования выпрямляющего контакта должна быть больше работы выхода кремния.

Рассмотрим конструкцию данного диода с кремнием в качестве полупроводника. На пластину низкоомного кремния (n+ область) наращивается тонкий (несколько микрометров) эпитаксиальный слой более высокоомного

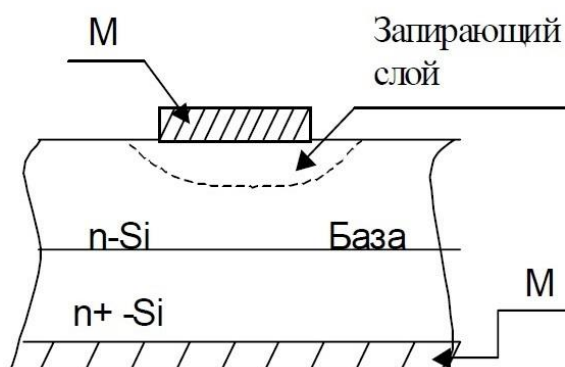


Рисунок 1.

кремния с концентрацией примесей порядка 10^{16} см^{-3} (n- область) (рис.1). На поверхность этого слоя методом вакуумного испарения осаждается слой металла. Площадь перехода обычно очень мала (10 – 20мкм в диаметре) для диодов сантиметрового диапазона и уменьшается

до нескольких микрометров для диодов миллиметрового диапазона. Барьерная ёмкость не превышает 1 пФ.

Особенности физических процессов в ДБШ заключаются в отсутствии инжекции неосновных носителей в базу. Запирающий слой образуется в результате обеднения приконтактного слоя полупроводника основными носителями зарядов. Поэтому при подключении прямого напряжения (плюс на металле) прямой ток возникает в результате движения основных носителей зарядов из полупроводника в металл через пониженный потенциальный барьер перехода. Таким образом, в базе диода не происходит накопления и рассасывания неосновных носителей.

Основным фактором, влияющим на длительность переходных процессов, является процесс перезаряда барьерной емкости $C_{\text{БАР}}$. Её значение, ввиду крайне малой площади перехода, не более 1 пкФ. Очень малы также и омические сопротивления электродов: металла и полупроводниковой подложки. Вследствие этого время перезаряда емкости $C_{\text{БАР}}$, а, следовательно, и длительность переходных процессов также очень малы и составляют десятые доли наносекунды. Эти свойства позволяют использовать ДБШ в наносекундных переключающих схемах, а также на рабочих частотах вплоть до 300 ГГц.

К минусам ДБШ можно отнести повышенный (относительно обычных кремниевых р-п-диодов) обратный ток, возрастающий с ростом температуры кристалла.

Одним из основных параметров детекторных СВЧ-диодов является чувствительность по напряжению. Оно определяется отношением приращения напряжения на нагрузке СВЧ диода к вызвавшей это приращение мощности СВЧ сигнала на входе диодной камеры с СВЧ диодом в рабочем режиме.

Для повышения чувствительности по напряжению, которая зависит от выбора рабочей точки, иногда используют прямое смещение диода током от внешнего источника. [1]

1. Вольт – амперная характеристика

Статическую ВАХ аппроксимируют выражением $I = I_s \left(\exp \frac{eU}{mkT} - 1 \right)$ [2],

где I_s – ток насыщения при обратном смещении на диоде;

e – заряд электрона;

m – коэффициент неидеальности ВАХ;

U – напряжение на диоде;

k – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура.

Таким образом, имея сравнительно небольшой участок вольт-амперной характеристики диода, можно определить I_s и m .

Ниже приведена ВАХ исследуемого диода.

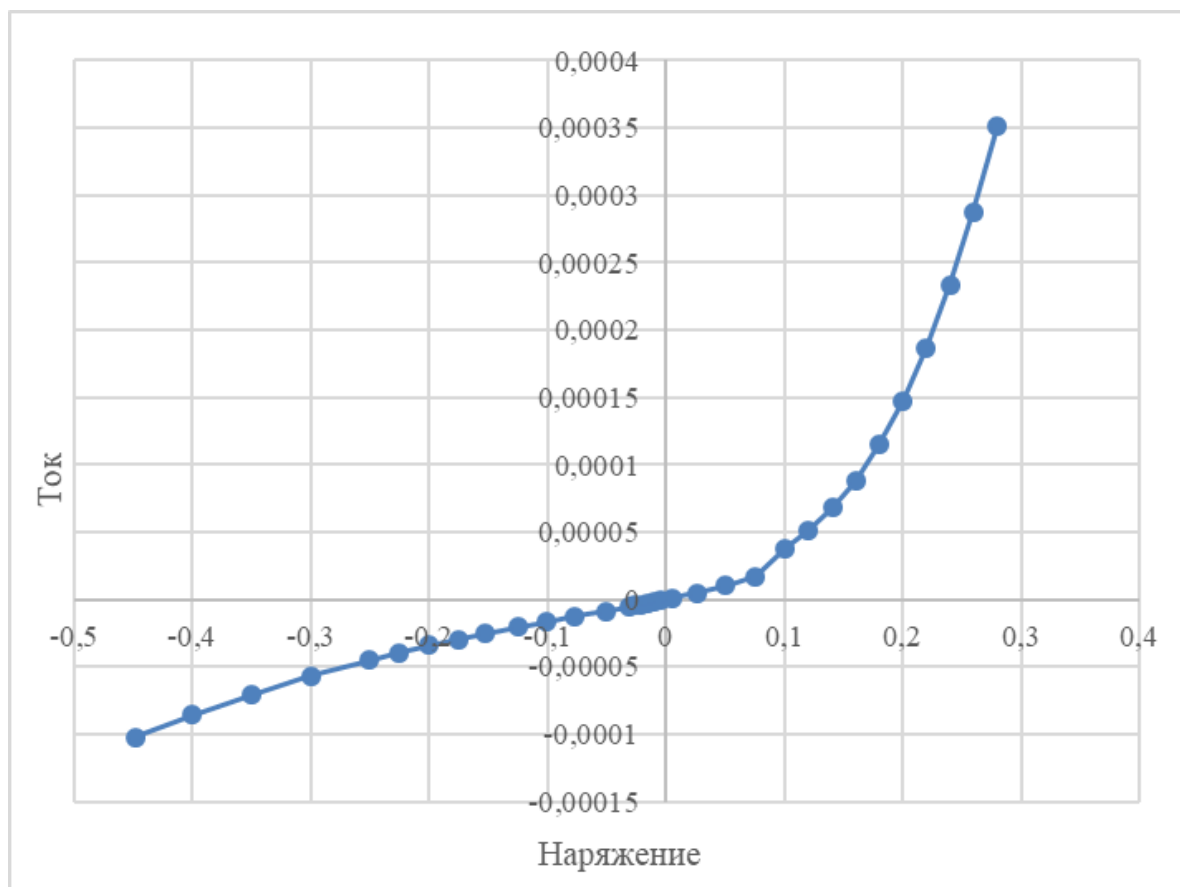


Рис.2 ВАХ ВПД407 (Зависимость тока [А] от напряжения [В] на диоде)

Используя выражение (1) можно, варьируя параметры I_s и m , добиться максимального совпадения 2-х графиков в обычном и логарифмическом масштабах. Для этого находим ток обратного насыщения такой, чтобы при прибавлении его к экспериментальным данным ВАХ в логарифмическом масштабе выразится в прямую:

$$\ln(I + I_s) = \ln\left(\exp\left(\frac{eU}{mkT}\right)\right) = eU/mkT.$$

Далее, подбирая коэффициент m , добиваемся наибольшей аппроксимации исходных данных теоретической прямой.

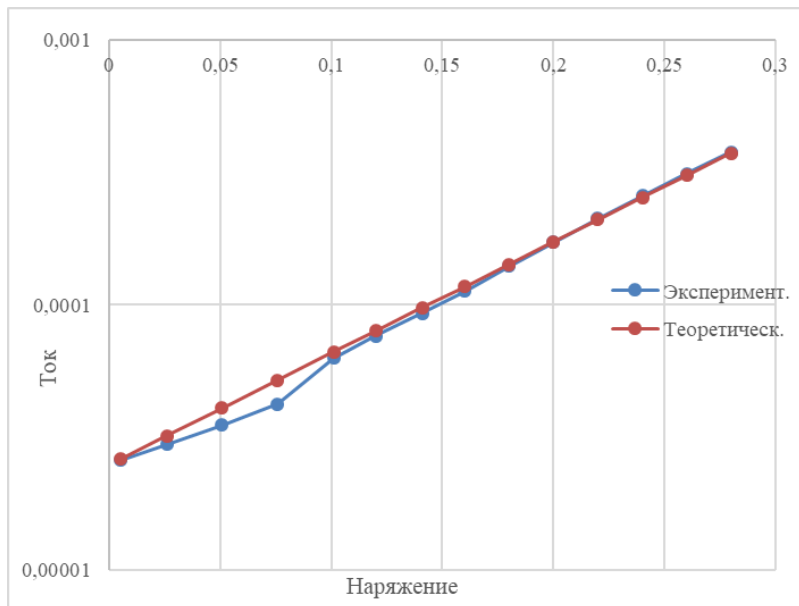


Рис. 3 Экспериментальная и теоретическая ВАХ в логарифмическом масштабе. Ток – [А]; напряжение – [В].

Для исследуемого диода получено: $m = 4$, $I_s = 25\text{мкА}$.

Из-за относительно большой величины коэффициента неидельности мы наблюдаем наличие значительного тока на прямой ветке ВАХ при малых напряжениях.

2. Рабочая точка

Измерение проводились на установке, представленной на рисунке 4.

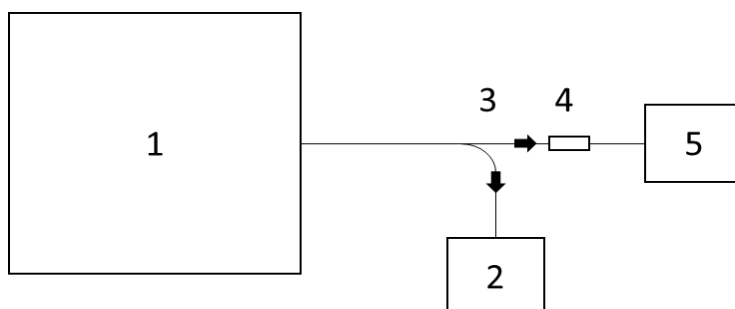


Рисунок 4

1 – генератор (характеристики в приложении); 2 – калиброванный детектор; 3 разветвитель на 50% подаваемой мощности; 4 – глушитель обратных волн; 5- детектор с исследуемым диодом.

Сигнал, подаваемый с генератора, делился пополам на разветвителе. Калиброванный детектор имеет линейную зависимость напряжения от мощности вплоть до полутора вольт. Таким образом, он служит индикатором, по которому мы можем судить о величине мощности на детекторе (5). Для детектора (2) 0 В соответствует 0 мВт, 1,5 В – 2 мВт.

Измерения проводились в 2 этапа: с прямым смещением током $I = 60 \mu\text{A}$ и без смещения.

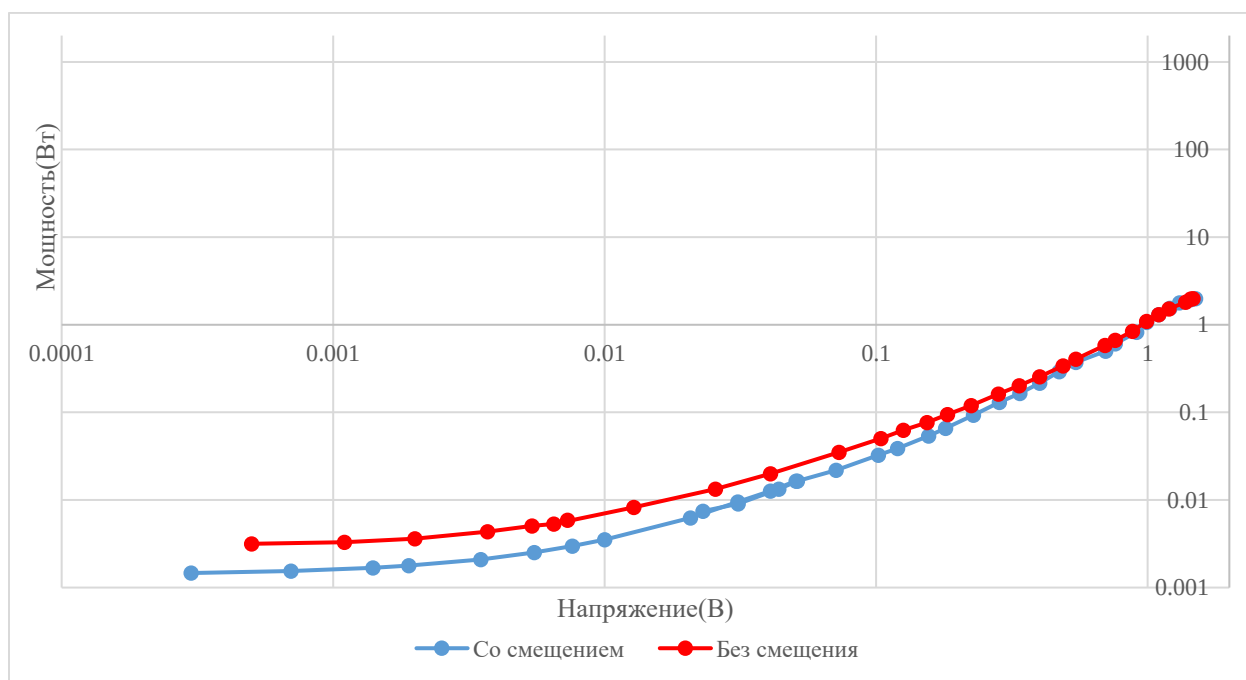


Рисунок 5. Зависимость мощности на диоде от напряжения в логарифмическом масштабе.

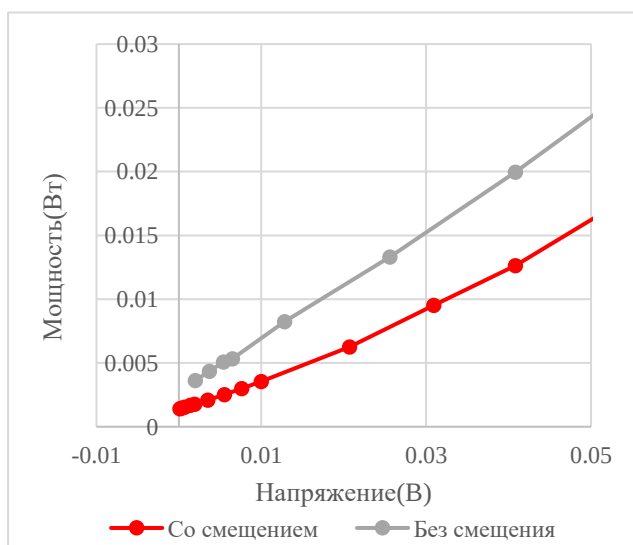


Рисунок 6. Зависимость мощности на диоде от напряжения около нуля.

Видно, что смещение рабочей точки увеличило чувствительность детектора по напряжению.

Однако, обе прямые не проходят через ноль, что говорит нам о наличии дополнительного ЭДС, противодействующего нашему сигналу.

Единственным объяснением происходящего, в ходе проверки оборудования, является наличие контактной разности потенциалов, что является изъяном установки. Таким образом, подавая ток смещения, мы не только увеличили чувствительность, но и уменьшили ток, приносимый этой разностью.

Заключение

Выбранный нами ток смещения хоть и сделал детектор более чувствительным, но всё же не позволил нам достичь нуля (красная линия на рис.6). Объясняется это, как уже упоминалось выше, наличием изъяна в измерительной системе: контактной разности потенциалов. Отсюда следует, что для большего увеличения чувствительности нужно было использовать больший ток смещения.

Все погрешности в данной работе носят, ввиду специфики измерения, систематический характер и определяются всецело погрешностью приборов, которая составляет около 1%.

Список литературы

1. Нойкин Ю.М. Детекторный СВЧ диод: Учебно-методическое пособие к специальному лабораторному практикуму "Полупроводниковые приборы СВЧ". Часть II. - Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2008. - 35 с.
2. Пасынков В. В., Чиркин Л. К. П19 Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. 6-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2002. – 480 с., ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература)