Федеральное агентство связи

Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и

Информатики

**Межрегиональный центр переподготовки специалистов**

# Лабораторная работа №3

# По дисциплине: физические основы оптической связи (ДВ 1.2)

Уважаемый Антон Игоревич,

лабораторная работа не зачтена.

В отчете не сняты спектральные характеристики для кремниевого ЛФД, InGaAs p-i-n ФД, а также не снято семейство вольт-амперных характеристик для InGaAs ЛФД.

Доработайте отчет, пожалуйста.

Гавриленко О.Б.

**Выполнил**: Надтока А.И.

**Группа**: МБТ-83

**Проверил**: Гавриленко О.Б.

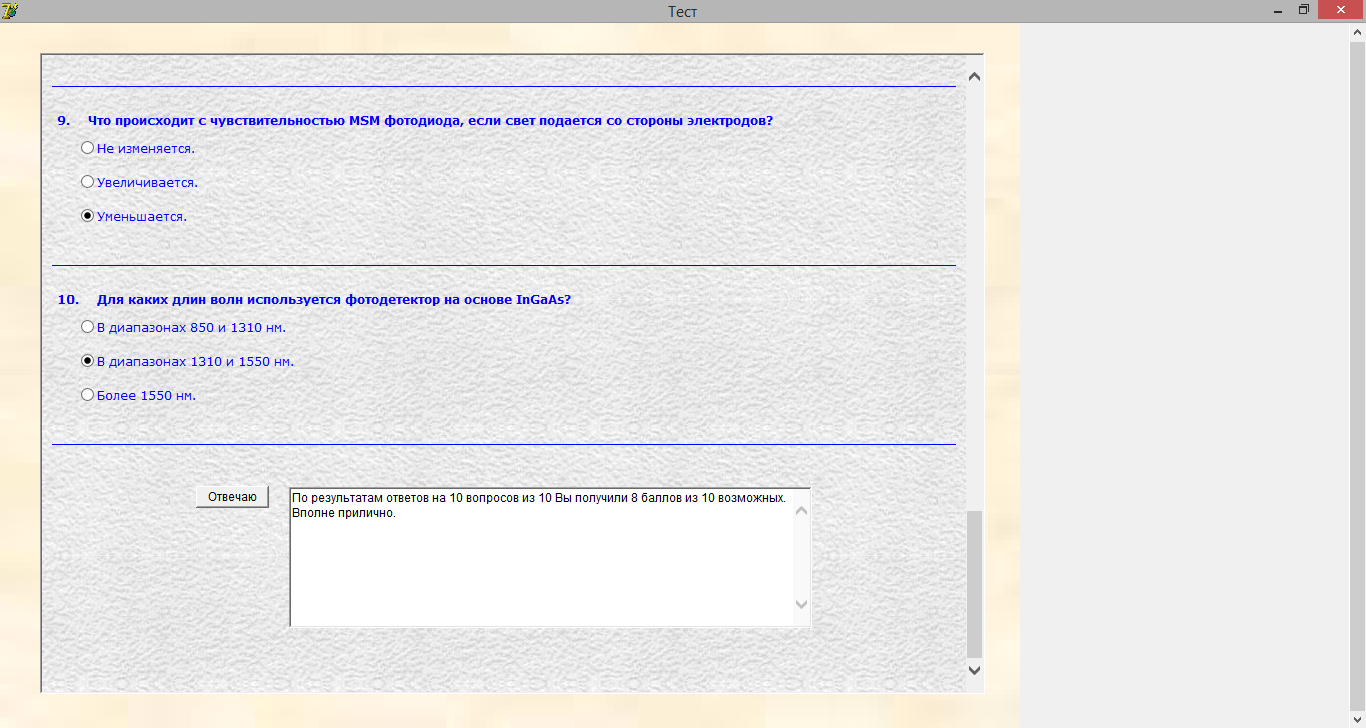
Новосибирск, 2020

**ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОДИОДОВ.**

1. **Цель работы:**

Целью работы является знакомство с принципом действия p-i-n ФД и лавинного фотодиода (ЛФД); исследование их спектральных и вольт-амперных характеристик.

**Допуск:**



**Подготовка к работе.**

В процессе подготовки к лабораторной работе необходимо изучить теоретические сведения, обратив особое внимание на принципы действия фотодиодов (p-i-n фотодиода, фотодиода с барьером Шоттки, ЛФД), конструкции и их основные характеристики.

**Схема установки.**

Лабораторная установка состоит из следующих основных частей: светоизлучающий диод СИД (источник инфракрасного оптического излучения); кремниевый фотодиод ФД; сопротивление нагрузки, включенное последовательно с ФД; источник переменного напряжения; формирователь ступенчатого тока СИД; усилители; электронный осциллограф.

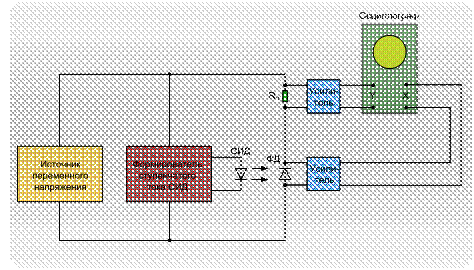


Рисунок 1. Схема установки для исследования характеристик фотодиода*.*

Источник переменного напряжения периодически изменяет направление тока, протекающего через ФД. Синхронно с этими изменениями формируется ступенчатый ток СИД и, следовательно, ступенчато изменяется мощность излучения. Напряжение на нагрузочном сопротивлении Rн пропорционально току ФД. Напряжения на ФД и нагрузочном сопротивлении усиливаются с помощью усилителей и подаются соответственно на входы X и Y осциллографа. Таким образом, на экране осциллографа отображается семейство вольт-амперных характеристик исследуемого ФД. Параметром этого семейства является мощность оптического излучения, падающего на чувствительную поверхность ФД. Семейство характеристик переносится с экрана осциллографа на бумагу. Далее определяются другие характеристики и параметры, соответствующие различным режимам работы ФД.

1. Постройте спектральную характеристику чувствительности одного фотодиода (на ваш выбор). Определите широкополосность фотодиода (или полосу пропускания). Полосу пропускания определяют на уровне 0,707∙SM, где SM – максимальная чувствительность фотодиода на длине волны λ0.

Таблица 1.1 – Полученные значения чувствительности и длин волн для кремниевого (Si) p-i-n фотодиода.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| λ, нм | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 850 | 960 | 1000 | 1100 |
| S, мА/Вт | 4 | 10 | 19 | 28 | 38 | 53 | 62 | 60 | 17 |



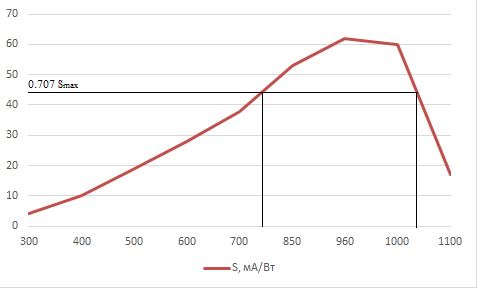


Рисунок 1.1. Спектральная характеристика кремниевого (Si) p-i-n фотодиода.

Полоса пропускания кремниевого (Si) p-i-n фотодиода от 760 нм до 1040 нм.

1. Используя полученные значения напряжений и токов, постройте семейство вольт – амперных характеристик одного из фотодиодов (на ваш выбор). Характеристику темнового тока постройте в той же системе координат. Для каждой вольт - амперной характеристики семейства определите величину фототока короткого замыкания Iк.з., продолжив линейный участок обратной ветви ВАХ до пересечения с осью I.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U, В | -30 | -25 | -23 | -20 | -17 | -15 | -10 | -5 | -2 | 0 |  |
| IФ, мкА | -2.6 | -2.5 | -2.4 | -2.3 | -2.05 | -2.0 | -1.8 | -1.2 | -0.5 | -0.3 | PИ=0 мкВт |
| IФ, мкА | -21.8 | -21.3 | -20.9 | -20.2 | -19.3 | -18.4 | -15 | -9.7 | -4.5 | -2 | PИ=40 мкВт |
| IФ, мкА | -41.2 | -40 | -39.4 | -38.1 | -36 | -34.6 | -28.6 | -17.2 | -8.5 | -4 | PИ=80 мкВт |

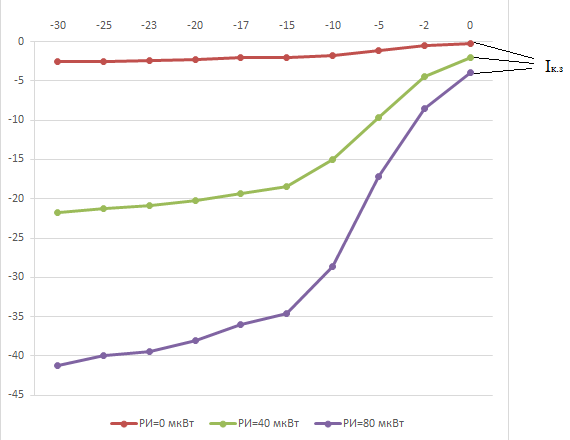


Рисунок 2.1. Вольт-амперная характеристика для кремниевого (Si) p-i-n фотодиода.

Точки пересечения вольт – амперных характеристик с осью токов соответствуют значениям фототоков короткого замыкания Iк.з.(Rн = 0).

 при Ри=0 мкВт

 при Ри=40 мкВт

 при Ри=80 мкВт

1. Исследуйте спектральную характеристику чувствительности на разных длинах волн. Сделайте выводы.

На рис. 3.1 показана спектральная характеристика чувствительности InGaAs p-i-n фотодиода. Область применения этого фотодиода от 800 до 1800 нм.

Чувствительность имеет максимальное значение на длине волны 1550 нм.

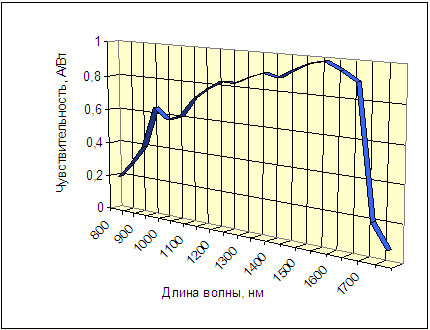


Рисунок 3.1 – Спектральная характеристика чувствительности InGaAs p-i-n фотодиода.

Этот тип диодов используется как фотодетектор для больших длин волн (в диапазонах 1310 и 1550 нм).

**Поясните, почему спектральная характеристика фотодиода имеет экстремальный характер, т.е. с увеличением длины волны до λ0 растет, а при λ>λ0 - резко падает.**

Так как энергия фотона обратно пропорциональна λ, идеальный фотодиод с невысокой степенью рекомбинации, генерируя одну электронно-дырочную пару на фотон, обусловливает пропорциональную длине волны чувствительность к оптическому излучению. При верхней критической длине волны энергия фотона становится ниже энергии запрещенной энергетической зоны, вызывая более или менее резкое падение чувствительности фотодиода.

1. Контрольные вопросы.
2. *Что такое фотодиод?*

Фотодиод – прибор, электрические свойства которого изменяются под действием падающего на него излучения.

1. *Как устроен p-i-n фотодиод?*

В p-i-n фотодиоде между областями с проводимостями р+ (база) и n+ (коллектор) расположен слой i (слой поглощения фотонов) собственной проводимости полупроводника (i – intrinsic). Фотоны вводятся в детектор через окно, имеющее тонкий слой просветляющего покрытия (толщина около l /4) с показателем преломления n=√nПП, согласующим разные среды – стекловолокно (nОВ » 1,46) и полупроводник (nПП » 3,5). В базе и коллекторе повышена концентрация носителей зарядов. В слое поглощения может создаваться некоторый примесный фон.

1. *Какие характеристики имеет фотодиод?*

Величина фототока; Чувствительность фотодиода; Быстродействие фотодиода; Темновой ток;

1. *Какое из приведенных утверждений правильное?*

*а) Электронно-дырочный переход - это слой, обедненный носителями заряда;*

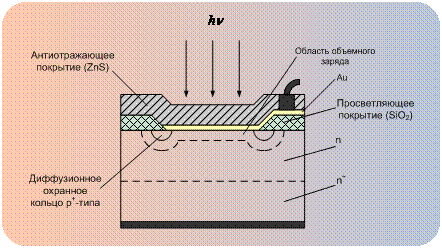
*б) Электронно-дырочный переход - это слой, обогащенный носителями заряда;*

Правильное утверждение *“а”.*

1. *Поясните работу устройства фотодиода с барьером Шоттки.*

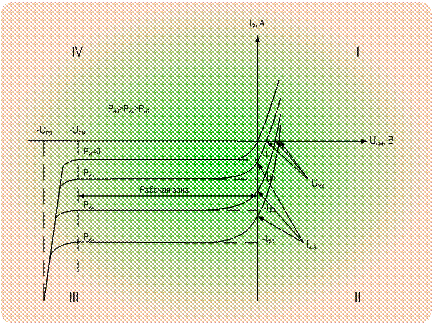
В MSM (metal – semiconductor – metal) фотодиодах поглощающий слой помещен между двумя слоями металла, образуя барьер Шоттки на каждой поверхности раздела металл – полупроводник, который препятствует прохождению электронов от металла к полупроводнику. Барьер Шоттки является эквивалентом p-i-n фотодиода в коротковолновой области спектра (λ < 0,55 мкм), где все излучение поглощается в области пространственного заряда.

На поверхности кристалла кремния нанесена тонкая (около 0,01 мкм) пленка золота (Au), покрытая тонкой (около 0,05 мкм) пленкой диэлектрика (сернистого цинка (ZnS)), образующей так называемое просветляющее покрытие. Вследствие различия коэффициентов преломления кpемния, золота и сернистого цинка луч света с определенной длиной волны, отражаясь от границ раздела этих пленок, проникает с очень малыми потерями через металлическую пленку в кристалл кремния. Так, например, при прохождении светового потока, полученного гелий – неоновым лазером (λ ≈ 0,63 мкм), теряется лишь 5% мощности.



Если энергия фотона Eф = h∙ν, то в кристалле кремния, у его поверхности, наблюдается собственное поглощение. Так же как в p-i-n фотодиодах пары электрон – дырка, генерируемые при поглощении света, перемещаются к металлическим контактам и создают фототок, который является мерой поступающей оптической мощности.

1. *Нарисуйте ВАХ p-i-n фотодиода. Объясните каждый участок вольт - амперной характеристики этого фотодиода.*



Семейство вольт-амперных характеристик p-i-n фотодиода

Вольт – амперные характеристики фотодиода в квадранте I соответствует включению в прямом направлении. Если открыть фотодиод, то через него потечет прямой ток (ток диффузии), значительно превышающий фототок. Фотоуправление током через диод становится невозможным (квадрант I – это нерабочая область для фотодиода).

Квадрант II отражает работу в фотогальваническом режиме. По оси напряжения можно определить фото-ЭДС (Uxx) при различной интенсивности принимаемого светового потока Ф и при Rн = ∞ . Точки пересечения вольт – амперных характеристик с осью токов соответствуют значениям фототоков короткого замыкания Iк.з.(Rн = 0). Промежуточные значения сопротивления нагрузки определяются линиями нагрузки, которые для разных значений R выходят из начала координат под разным углом. При заданном значении тока по вольт – амперной характеристике можно выбрать оптимальный режим работы фотодиода в фотогальваническом режиме.

Квадрант III характеризует включение прибора в фотодиодном режиме (к p-n переходу прикладывается обратное напряжение). В рабочем диапазоне обратных напряжений фототок практически не зависит от обратного напряжения и сопротивления нагрузки.

Прямая зона ВАХ является рабочей зоной фотодиода, в этой области через фотодиод протекает фототок IФ. Значение тока от параметров внешней цепи (U, Rн) практически не зависит.

Величина Uпр – напряжение электрического пробоя фотодиода.

1. *Что такое спектральная характеристика фотодиода?*

Длинноволновая граница фоточувствительности определяется значением ширины запрещенной зоны Eg, а спад в коротковолновой области спектра объясняется тем, что коэффициент поглощения растет, и большая часть излучения поглощается в приповерхностном слое базы, где фэф мало и меньшая часть генерированных светом носителей доходит до p - n-перехода.

Следовательно, положение коротковолновой границы фоточувствительности зависит от ширины базы и скорости поверхностной рекомбинации. Уменьшая значения этих величин, можно существенно сдвигать коротковолновую границу фоточувствительности в сторону меньших длин волн. Вид спектральной характеристики реального фотодиода определяется в основном зависимостью коэффициента собирания ч от длины волны.

Значение ч определяется структурой фотодиода, диффузной длиной неосновных носителей, коэффициентом поглощения света, шириной запрещенной зоны полупроводника. Для повышения чувствительности в длинноволновой области спектра необходимо увеличивать диффузионную длину неосновных носителей в исходном материале.

Повышение коротковолновой чувствительности можно обеспечить создание объемного заряда вблизи поверхности фотоприемника, как это имеет место, например, в поверхностно-барьерных структурах. Изменение чувствительности и сдвиг максимума спектральной характеристики происходят при переходе от вентильного режима работы к фотодиодному за счет расширения области объемного заряда и увеличения эффективности собирания носителей.

Применение специальных покрытий дает возможность уменьшить коэффициент отражения до 5…10%, а, следовательно, увеличить чувствительность.

Для разработки устройства, позволяющего определять спектральные характеристики источников излучения без использования монохроматора, соберем схему питания, представляющую собой несложную электрическую цепь, состоящую из генератора тока, фотодиода ФД, сопротивления R (рисунок 1). Используя сопротивление, мы тем самым изменяем напряжение на фотодиоде, что непосредственно должно привести к увеличению спектральной чувствительности в длинноволновую область. Снимем показания мультиметра аналогично первому опыту. Данные измерений отобразим на графике (рисунок 2) зависимости напряжения фотодиода от угла поворота барабана монохроматора.

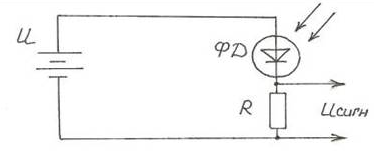


Рисунок 1 - Схема включения фотодиода

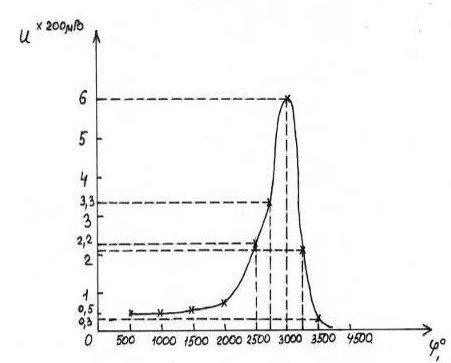


Рисунок 2 - Спектральная характеристика фотодиода

Проанализировав полученную зависимость, заметим, что желаемого смещения максимума спектральной чувствительности в сторону больших длин волн не происходит. В ходе проделанной работы приходим к выводу, что смещение максимума спектральной чувствительности происходит при определенных условиях, а именно в области более низких температур фотоприемника, следовательно, необходимо уменьшить температуру фотодиода, используя специальные охлаждаемые датчики.

1. *На каком фотоэффекте основан принцип действия фотодиодов?*

Фотодиоды работают на основе фотогальванического эффекта.

1. *В чем отличие ЛФД от p-i-n фотодиода?*

При работе p-i-n ФД на дальние расстояния мощность на входе приемника очень мала, а значит тепловой шум будет преобладать над дробовым с точки зрения влияния на параметры приемника (). Пренебрегая  получим SNR становиться:

 (1)

Таким образом, SNR пропорционально *P2in*, когда ограничивающим фактором являются тепловые шумы. Также важно увеличивать сопротивление нагрузки. В этом причина, почему большинство приемников используют высокоимпедансный или трансимпедансный усилители.

Оптические приемники с APD (ЛФД) обеспечивают более высокий SNR при одинаковой поступающей мощности. Улучшение обусловлено внутренним усилением, которое увеличивает фототок в число раз М - коэффициент умножения, так что

 (2)

где *S*APD – чувствительность ЛФД, увеличенная в *М* раз по сравнению с p-i-n фотодиодом (*S*APD=*MS*). SNR увеличилось бы в *М2* раз, если бы шум приемника при этом не изменялся. К несчастью, шум приемника с APD также возрастает и улучшение SNR заметно уменьшается.

Практически, SNR приемников с APD (ЛФД) можно записать как:

 (3)

(учитывая оба типа шума). При ограничении тепловым шумом () SNR становится:

 (4)

и увеличивалось бы пропорционально *М2* по сравнению с приемниками с p-i-n фотодиодами (см. уравнение (1)).

.